

UNIVERZITET U BEOGRADU
BIOLOŠKI FAKULTET

Nataša V. Nikolić

LAMPENFLORA I SEZONSKA DINAMIKA
BIOFILMA U ODABRANIM TURISTIČKIM
PEĆINAMA SRBIJE

Doktorska disertacija

Beograd, 2024.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF BIOLOGY

Nataša V. Nikolić

LAMPENFLORA AND SEASONAL DYNAMICS
OF BIOFILMS IN SELECTED TOURIST CAVES
IN SERBIA

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024.

Mentori:

dr **Gordana Subakov Simić**, redovni profesor,

Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

dr **Slađana Popović**, naučni saradnik

Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

Članovi komisije:

dr **Jelena Krizmanić**, vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

dr **Dragana Predojević**, docent

Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

Dr **Jelena Knežević**, naučni saradnik

Institut za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“

Datum odbrane: _____

Doktorska disertacija uspešno je realizovana zahvaljujući podršci Katedre za algologiju i mikologiju Instituta za botaniku i botaničke bašte „Jevremovac“, pri Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Ovom prilikom želim da izrazim svoju najdublju zahvalnost svim članovima katedre za njihovu pomoć, podršku i nezaboravne trenutke provedene u zajedničkom radu.

Zahvalnost dugujem svojoj mentorki, prof. dr Gordani Subakov Simić, pre svega na ukazanom poverenju, ohrabrenju i korisnim savetima koji su omogućili da ovaj projekat dosegne pun potencijal. Profesorkina podrška i stručno vođstvo su bili ključni u svakoj fazi moje disertacije.

Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj mentorki, dr Slađani Popović, divnoj osobi, čija je predanost nauci bila inspiracija. Njena strpljivost, posvećenost, nesebična pomoć i stalna dostupnost su bili osnova da produbim svoje interesovanje za svet cijanobakterija i eukariotskih algi. Slađana je bila ključna u svakom koraku ovog projekta, vođenjem i usmeravanjem koji su nas doveli do izuzetnih rezultata. Ona nije samo bila mentor, već i nezamenljiv inspirator u oblikovanju vizije projekta, čija su razmišljanja duboko uticala na kvalitet naših otkrića.

Takođe se zahvaljujem prof. dr Jeleni Krizmanić na nesebičnoj pomoći prilikom identifikacije silikatnih algi, kao i na korisnim savetima i sugestijama koji su učinili ovaj rad kvalitetnijim i boljim. Zahvaljujem se i koleginicama dr Danijeli Vidaković i dr Olgi Jakovljević.

Zahvalnost upućujem i svojim dragim koleginicama, dr Dragani Predojević i dr Jeleni Knežević koje su odvojile vreme da pročitaju disertaciju i svojim komentarima i sugestijama poboljšaju njen kvalitet.

Zahvaljujem se i svim koleginicama i kolegama sa katedre, čija je saradnja, prijateljstvo i kolegijalnost učinila ovaj put znatno svetlijim i ispunjenijim.

Disertaciju posvećujem svojoj kćerki Lani i suprugu Branislavu, koji su moji „vetar u leđa“. Hvala vam od srca na ljubavi, beskrajnoj podršci, razumevanju, i ohrabrenju kada mi je bilo potrebno. Hvala vam na divnim uspomename koje smo kreirali tokom ove nezaboravne avanture i što uvek mogu da računam na vas.

Autor

Lampenflora i sezonska dinamika biofilma u odabranim turističkim pećinama Srbije

Sažetak

Predmet ove doktorske disertacije je analiza fototrofne zajednice aerofitskih cijanobakterija i eukariotskih algi iz odabranih turističkih pećina Srbije, iz biofilma u ulaznoj zoni pećina i lampenflore, kroz tri sezone (proleće, leto, jesen).

Ekološki parametri su u ulaznoj zoni pećina bili pod uticajem faktora spoljašnje sredine, dok su u pećini bili relativno stabilni. Odstupanja u vrednostima su posledica pozicije mesta uzorkovanja, sezone, veličine pećinskog ulaza, morfologije pećine, karakteristika mikrostaništa. Neorganska materija je dominirala u većini uzoraka, dok su udeli organske materije i vode bili viši u dobro razvijenim i želatinoznim biofilmovima, u kojima je takođe određena viša koncentracija hlorofila *a*.

Ukupno je zabeleženo 179 taksona iz razdela Cyanobacteria (cijanobakterije), Chlorophyta (zelene alge) i Bacillariophyta (silikatne alge): najviše u Stopića (116), a najmanje u Lazarevoj pećini (23). U razdelima se izdvajaju sledeći rodovi: Cyanobacteria – *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Leptolyngbya*, *Phormidium*, *Scytonema*; Chlorophyta – *Chlorella*, *Klebsormidium*, *Stichococcus*; Bacillariophyta – *Humidophila*. Cyanobakterije su dominirale u ulaznoj zoni pećina, a zelene alge u uzorcima lampenflore. Cyanobakterije pozitivno korelišu sa temperaturom vazduha, silikatne alge sa relativnom vlažnošću i intenzitetom svetlosti i zelene alge sa relativnom vlažnošću vazduha.

Iz Lazareve pećine je izolovana zelena alga *Chlorella* sp., koja je u laboratorijskim uslovima tretirana sa tri biocida (vodonik-peroksid, komercijalni algicid i jedinjenje na bazi hlora), od kojih je najveću efikasnost imalo jedinjenje na bazi hlora.

Ključne reči: aerofitske cijanobakterije, aerofitske eukariotske alge, biofilm, biocidi, *Chlorella* sp., lampenflora, turističke pećine

Naučna oblast: Biologija

Uža naučna oblast: Algologija i mikologija

Lampenflora and seasonal dynamics of biofilm in selected tourist caves from Serbia

Abstract

The focus of this PhD thesis was the analysis of phototrophic, aerophytic communities of cyanobacteria and eukaryotic algae from selected tourist caves in Serbia, including biofilms from the cave entrances and lampenflora from the inside of the caves, over three seasons (spring, summer, autumn).

Ecological parameters at the entrance were influenced by the external climate, while they remained relatively stable inside the cave. The variations in values are due to the sampling locations, season, size of the cave entrance, cave morphology, and characteristics of the microhabitats. Inorganic compounds predominated in most samples, while the proportions of organic matter and water were higher in well-developed and gelatinous biofilms, in which higher concentrations of chlorophyll *a* were also determined.

A total of 179 from Cyanobacteria, Chlorophyta (green algae) and Bacillariophyta (diatoms) divisions were recorded, the highest in Stopića (116) and the lowest in Lazar's (23) caves. In the divisions, the following genera are highlighted: Cyanobacteria – *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeothece*, *Leptolyngbya*, *Phormidium*, *Scytonema*; Chlorophyta – *Chlorella*, *Klebsormidium*, *Stichococcus*; Bacillariophyta – *Humidophila*. Cyanobacteria were predominant at the cave entrances, while green algae in lampenflora samples. Cyanobacteria positively correlate with the air temperature, diatoms with relative humidity and light intensity, and green algae with relative humidity.

The green algae *Chlorella* sp., isolated from Lazar's Cave were treated with three biocides (hydrogen-peroxide, commercial algaecide and chlorine-based solution) under laboratory condition, with the chlorine-based solution being the most effective.

Key words: aerophytic cyanobacteria, aerophytic eucaryotic algae, biofilm, biocides, *Chlorella* sp., lampenflora, tourist caves

Scientific field: Biology

Scientific subfield: Algology and mycology

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Aerofitske cijanobakterije i eukariotske alge i fototrofni biofilmovi	1
1.2. Pećine	2
1.2.1. Turističke pećine	2
1.3. Fototrofni mikroorganizmi u pećinama	3
1.4. Posledice prilagođavanja pećina u turističke svrhe i razvoj lampenflore	4
1.5. Posledice razvoja lampenflore u pećinama	7
1.5.1. Mehanizmi uklanjanja lampenflore	8
1.5.2. Prevencija razvoja lampenflore	11
1.6. Turističke pećine u Srbiji.....	11
2. CILJEVI RADA	12
3. MATERIJAL I METODE	13
3.1. Odabrani lokaliteti istraživanja.....	13
3.1.1. Pećina Risovača	13
3.1.2. Stopića pećina.....	14
3.1.3. Potpećka pećina	16
3.1.4. Lazareva (Zlotska) pećina	17
3.1.5. Rajkova pećina	18
3.1.6. Resavska pećina.....	19
3.2. Merenje ekoloških parametara na istraživanim lokalitetima.....	21
3.3. Dinamika i način uzorkovanja.....	21
3.4. Kvantitativna analiza biofilma i lampenflore	27
3.4.1. Određivanje udela vode, organske i neorganske materije u uzorcima biofilma i lampenflore	28
3.4.2. Određivanje koncentracije hlorofila <i>a</i> u uzorcima biofilma i lampenflore	29
3.5. Kvalitativna analiza i identifikacija cijanobakterija i eukariotskih algi.....	29
3.5.1. Priprema privremenih i trajnih mikroskopskih preparata.....	30
3.5.2. Priprema i pravljenje trajnih mikroskopskih preparata silikatnih algi.....	30
3.5.3. Mikroskopiranje i identifikacija cijanobakterija i eukariotskih algi	31
3.6. Izolovanje zelene alge <i>Chlorella</i> sp. iz uzorka lampenflore, kultivacija i njeno tretiranje biocidima.....	31
3.6.1. Priprema hranljivog medijuma za gajenje algi	31
3.6.2. Prikupljanje uzorka lampenflore u cilju gajenja algi u kulturi	33

3.6.3. Gajenje predstavnika lampenflore u laboratorijskim uslovima.....	34
3.6.4. Eksperimenti sa odabranim biocidima na zelenoj algi (<i>Chlorella</i> sp.).....	34
3.7. Konfokalna laserska skenirajuća mikroskopija (CLSM).....	36
3.8. Obrada podataka.....	36
4. Rezultati	38
4.1. Vrednosti ekoloških parametara (temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, intenzitet svetlosti)	38
4.1.2. Vrednosti ekoloških parametara u Lazarevoj pećini.....	38
4.1.3. Vrednosti ekoloških parametara u Rajkovojoj pećini	42
4.1.4. Vrednosti ekoloških parametara u Resavskoj pećini	44
4.1.5. Vrednosti ekoloških parametara u pećini Risovača	47
4.1.5. Vrednosti ekoloških parametara u Stopića pećini	49
4.1.6. Vrednosti ekoloških parametara u Potpečkoj pećini.....	52
4.1.7. Poređenje ekoloških parametara između lokaliteta	55
4.2. Udeo vode, organske i neorganske materije	55
4.2.1. Udeo vode, organske i neorganske materije u Lazarevoj pećini	56
4.2.2. Udeo vode, organske i neorganske materije u pećini Risovača.....	56
4.2.3. Udeo vode, organske i neorganske materije u Rajkovojoj pećini.....	57
4.2.4. Udeo vode, organske i neorganske materije u Resavskoj pećini	58
4.2.5. Udeo vode, organske i neorganske materije u Stopića pećini	59
4.2.6. Udeo vode, organske i neorganske materije u Potpečkoj pećini	60
4.2.7. Prosečan udeo vode, organske i neorganske materije po tačkama i poredjenje parametara između lokaliteta.....	61
4.3. Vrednosti koncentracije hlorofila <i>a</i>	63
4.3.1. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u Lazarevoj pećini	63
4.3.2. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u pećini Risovača	64
4.3.3. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u Rajkovojoj pećini	65
4.3.4. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u Resavskoj pećini	66
4.3.5. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u Stopića pećini.....	67
4.3.6. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u Potpečkoj pećini	68
4.3.7. Prosečne vrednosti koncentracije hlorofila <i>a</i> po tačkama na svim lokalitetima	69
4.4. Taksonomski sastav cijanobakterija i eukariotskih algi.....	71
4.4.1. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Lazarevoj pećini.....	71
4.4.2. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Rajkovojoj pećini.....	72

4.4.3. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u pećini Risovača	75
4.4.4. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Resavskoj pećini	78
4.4.5. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Stopića pećini	81
4.4.6. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Potpečkoj pećini.....	87
4.4.7. Taksonomski sastav cijanobakterija i eukariotskih algi – poređenje svih analiziranih pećina	91
4.5. Statistička obrada podataka.....	95
4.6. Ispitivanje efikasnosti biocida na suzbijanje rasta zelene alge <i>Chlorella</i> sp.....	97
5. Diskusija.....	101
5.1. Ekološki parametri u pećinama	101
5.2. Udeo vode, organske i neorganske materije u uzorcima biofilma i lampenflore	103
5.3. Koncentracija hlorofila <i>a</i> u uzorcima biofilma i lampenflore	104
5.4. Cijanobakterije i eukariotske alge u pećinama.....	104
5.4.1. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u istraživanim pećinama – razdeli, diverzitet i odnos sa ekološkim parametrima.....	105
5.4.2. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u istraživanim pećinama – poređenje ulazne zone i lampenflore.....	106
5.4.3. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u istraživanim pećinama – sezonska dinamika	107
5.5. Efekat biocida na rast zelene alge <i>Chlorella</i> sp.....	108
6. Zaključci.....	111
7. Literatura	113
8. Prilog	127
Изјава о ауторству.....	145
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	146
Изјава о коришћењу.....	147

1. UVOD

1.1. Aerofitske cijanobakterije i eukariotske alge i fototrofni biofilmovi

Aerofitske cijanobakterije i eukariotske alge su grupa fototrofnih mikroorganizama koji naseljavaju različite supstrate izložene vazduhu. Među njima je mnogo pripadnika cijanobakterija koje datiraju od pre 3,5 milijarde godina i često su prvi kolonizatori mnogih supstrata. Njih karakteriše prisustvo brojnih mehanizama kojima se prilagođavaju na najrazličitije uslove sredine koju naseljavaju (Whitton, 2012). Mnogi predstavnici eukariotskih algi, koje datiraju od pre 1 do 1,5 milijarde godina, takođe imaju određene mehanizme koji im pomažu da prežive u ekstremnim uslovima aerofitske sredine (Douzery i sar., 2004; Gustavs, 2010). Najčešće prilagođenosti aerofitskih algi na specifične uslove života su nizak nivo morfološke organizacije (manje dimenzije ćelija čiji je odnos površine i zapremine mali), redukcija životnog ciklusa i izlučivanje ili nakupljanje određenih supstanci u ćelijama (pigmenti, osmotski aktivna jedinjenja) u cilju zaštite od stresnih uslova sredine kojima su izloženi (Albertano, 2012; Cvijan i Fužinato, 2011; Lopez-Bautista i sar., 2007; Piontek i Lechow, 2014; Whitton, 2012). Njihov tačan broj nije poznat jer veliki izazov predstavlja njihova sistematika i taksonomija, ali sve učestalije kombinovanje morfoloških karakteristika sa biohemijskim i molekularnim parametrima bi u budućnosti moglo da doprinese boljem razumevanju ove zajednice (Komárek, 2016; Pentecost i Whitton, 2012; Popović, 2018).

Aerofitske cijanobakterije i eukariotske alge najčešće ulaze u sastav biofilmova koji predstavljaju zajednice različitih mikroorganizama koje se razvijaju na brojnim supstratima. Termin „biofilm“ je prvi put upotrebljen 1978. godine i to za opisivanje bakterijskog biofilma. Biofilme koje često srećemo u prirodi čine dve komponente, fototrofna i heterotrofna. Fototrofnu komponentu čine fotosintetički mikroorganizmi, mada se u složenijim biofilmovima razvijaju i mahovine i lišajevi (Donlan i Costerton, 2002; Saiz-Jiménez, 2012; Popović i sar., 2017). Do određenih mesta mikroorganizmi ili spore mikroorganizama dospevaju pasivno (vetar, voda) ili aktivno (životinje, ljudi). Biofilmovi se formiraju na različitim podlogama, ali ih češće srećemo na supstratima čija je površina prepuna pukotina i neravnina, jer se na takvim mestima zadržavaju nutrijenti i voda, dok sitne pukotine pružaju zaštitu mikroorganizmima, posebno od UV zračenja i isušivanja (Albertano, 2012). Proces formiranja biofilma obuhvata dve faze: reverzibilnu – faza u kojoj se mikroorganizmi za površinu supstrata vezuju slabim Van de Wallsovim i elektrostatickim silama i ireverzibilnu – faza u kojoj mikroorganizmi sintetišu ekstracelularne polimerne supstance (EPS) ili glikokaliks kojim se čvrsto vezuju za određenu površinu (Dunne i sar., 2002; Milanov i sar., 1998). Na formiranje biofilma utiče mnogo faktora koji uključuju vrstu mikroorganizma, osobine supstrata, hemijsku interakciju između mikroorganizama i supstrata, interakciju mikroorganizama sa okolinom, kao i uslove spoljašnje sredine (dostupnost vode, svetlost, temperatura, relativna vlažnost vazduha, dostupnost nutrijenata) (Albertano, 2012; Gorbushina, 2007; Pentecost i Whitton, 2012). Fototrofni biofilmovi mogu biti različiti u smislu izgleda, najviše u odnosu na boju, koja zavisi od kombinacije pigmenata dominantne grupe organizama u biofilmu (Albertano, 2012).

Fototrofi uspešno kolonizuju različite supstrate i različite materijale u aerofitskoj sredini. Najčešće se proučavaju oni koji naseljavaju stene, među kojima razlikujemo epilitske predstavnike koji naseljavaju samu površinu supstrata i endolite. Endolitski predstavnici se dele na hazmoendolite – naseljavaju prirodne pukotine na stenama, kriptoenolite – kolonizuju već postojeće prazne prostore u stenama i euendolite – aktivno razaraju supstrat (Golubić i sar., 1981; Pentecost i Whitton, 2012). Zabeleženi su na svim kontinentima što potvrđuju brojna istraživanja

(npr. Albertano, 2012; Baquedano-Estevez i sar., 2019; Gaylarde i Gayladre, 2000; Golubić, 1967; Lopez-Bautista i sar., 2007; Mulec i Kosi, 2008, 2009; Whitton 2012). Sreću se u različitim staništima, u suvim regionima ili mestima koje karakterišu česte padavine, hladnim ili vrelim pustinjama, urbanim sredinama, objektima kulturne baštine, ali i pećinama - specifičnim hipogejskim staništima (Hoffmann, 2003; Pentecost i Whitton, 2011; Wynn-Williams, 2000; Vincent, 2007 ; Stal, 2007).

1.2. Pećine

Pećine su prirodne šupljine u stenama koje se najčešće nastavljaju u podzemni sistem kanala, a nastale su podzemnim rastvaranjem krečnjaka, gipsa, dolomita ili mermera (metarmofozirani krečnjak) (Milanović, 2012; Popović, 2018). Zabeležene su širom sveta na svim geografskim širinama i dužinama i zauzimaju 15-20% površine Zemlje, ne računajući površine prekrivene ledom (Ford i Williams, 2007). Starost im je procenjena na nekoliko desetina hiljada, do nekoliko desetina miliona godina, pri čemu su i dalje podložne konstantnim promenama. Najveći broj istraženih pećina su one nastale u krečnjaku. Mnoge su zaštićene i nalaze se na UNESCO listi, a veliki broj njih je adaptiran i za turističke posete (Czerwik-Marcinkowska, 2013).

Osnovni delovi koji čine jednu pećinu su: ulaz, izduženi kanal i dvorana koja je nastala širenjem podzemnih kanala. U tom smislu razlikuju se proste pećine – imaju samo jedan kanal, razgranate pećine – čija je osobina prisustvo više kanala u istom nivou i razgranate pećine u više nivoa (pećinski sistemi) – karakteriše ih prisustvo više kanala u više različitih nivoa (White i Culver, 2012). Pećine se mogu klasifikovati na osnovu mnogih različitih kriterijuma, među kojima su hidrološka aktivnost, tip stena, blizina podzemnih voda, morfologija, istorijsko razdoblje kada su formirane, itd. (Gunn, 2004; Engel, 2011).

U jednom pećinskom staništu mogu se razlikovati određene zone (tri ili četiri) u odnosu na osvetljenost prirodnim svetlom. Prema Tobin i saradnicima (2013) razlikuju se ulazna zona pećine, prelazna zona i zona mraka. Kosznik-Kwašnicka i saradnici (2022) izdvajaju ulaznu zonu pećine do koje dopire prirodno svetlo, zonu sumraka u kojoj je intenzitet svetla znatno niži, prelaznu zonu koja predstavlja zonu koja se nalazi između prethodne i sledeće zone potpunog mraka u kojoj svetlo odsustvuje.

1.2.1. Turističke pećine

Zabeleženo je da su pećine posećivane i korišćene još u praistoriji, kada su služile kao sklonište i mesto za obavljanje različitih religioznih rituala. Prva „turistička“ poseta pećini, što je podrazumevalo posetu „iz radoznalosti“, a ne radi „potrebe“, zabeležena je u Mesopotamiji gde je tadašnji kralj Asirije, Tiglat Pileser zahtevao da se njegovo ime ukleše u kamen, tako da se na ulazu u pećinu Šapur, nedaleko od Persepolisa u Iranu, nalazi uklesan spomenik asirskom kralju koji posećuje pećinu (Cigna i Forti, 2013). Kasnije, pre oko 2000 godina, rimski pisac Plinije je opisao pećinu pod nazivom „Pećina Psa“ koju su ljudi posećivali iz radoznalosti. Naime, u pećini su bile povišene koncentracije ugljen-monoksida koji je bio toksičan za male životinje, poput pasa, ali nije imao efekata na ljude (Cigna i Forti, 2013).

U početku, pećine su bile predmet interesovanja naučnika i mladih entuzijasta, ali su vremenom zbog svojih prirodnih lepota postale deo različitih edukativnih i rekreativnih sadržaja koji ne samo da obogaćuju opštu kulturu pojedinaca, već i doprinose ekonomskom razvoju oblasti u

kojoj se nalaze. Prema Chiarini i saradnicima (2022), u svetu je zabeleženo 1200 pećina koje su adaptirane u turističke svrhe, a koje privlače oko 70 miliona turista godišnje, što ujedno znači i zaradu od oko 800 miliona eura godišnje, samo na osnovu ulaznica.

Kako bi se pećinama omogućio adekvatan pristup, obezbedilo nesmetano i sigurno kretanje posetilaca kroz pećinu i poboljšalo njihovo iskustvo i doživljaj ovog jedinstvenog ekosistema, vrši se adaptacija prirodnih pećina u turističke što podrazumeva različite modifikacije staništa. Modifikacije između ostalog uključuju (Cigna, 2016):

- Prilagođavanje pećinskog ulaza – mnoge pećine poseduju stepenište ili rampu iz sigurnosnih razloga, a kod nekih pećina ulaz se modifikuje i proširuje.
- Izgradnju staza – unutar pećina se nalaze staze ili platforme koje zapravo predstavljaju sigurnu putanju za nesmetano i sigurno kretanje posetilaca. Staze su konstruisane od različitih materijala. Najčešće se sreću betonske staze jer su ekonomski isplativije od ostalih, iako je njihovo postavljanje komplikovano na teško pristupačnim mestima, a u slučaju njihovog uklanjanja, demontaža i otpad mogu predstavljati problem (Cigna, 2016). U poslednje vreme se više upotrebljava ojačana plastika koja je jeftinija, lakša za transport, i bezbednija za turiste (Cigna, 2016).
- Instalaciju veštačkog osvetljenja – veštačko osvetljenje se instalira u cilju bezbednosti posetilaca tokom kretanja kroz pećinu, ali i radi isticanja lepote stalaktita, stalagmita i ostalog pećinskog nakita.

1.3. Fototrofni mikroorganizmi u pećinama

Pećine koje su se formirale hiljadama i milionima godina predstavljaju jedinstveno okruženje u kome žive specijalizovane grupe organizama. Imajući u vidu da su pećine hipogejska staništa u kojima određene zone mogu biti osvetljene, bilo da su u pitanju prirodne ili turističke pećine, to znači da ova staništa mogu biti naseljena i fotosintetičkim organizmima, među kojima su cijanobakterije i eukariotske alge. Svetlost je glavni faktor koji utiče na razvijanje i uspostavljanje zajednica fototrofa u pećinama, ali je za njihov razvoj neophodna i voda, koja je u pećinama često dostupna u vidu prokapskih voda. Na njihov razvoj utiču i mnogi drugi parametri među kojima su temperatura, relativna vlažnost vazduha, karakteristike supstrata, mikroklimatski parametri i morfološke karakteristike pećinskog staništa (Czerwik-Marcinkowska, 2013; Lamprinou i sar., 2009; Mulec 2005, 2008; Mulec i sar., 2008; Pentecost i Whitton, 2012; Popović, 2018). Fototrofni mikroorganizmi su u ovim staništima često prvi kolonizatori i iniciraju razvoj fototrofnih biofilmova u koje se kasnije inkorporiraju i drugi organizmi (Albertano, 2012; Popović, 2018). Od značaja je pomenuti da, iako je svetlost u pojedinim delovima pećina dostupno, intenzitet svetla je dosta niži u odnosu na spoljašnju sredinu. Bez obzira na to, mnogi taksoni fototrofnih mikroorganizama uspešno preživljavaju u ovakvim specifičnim uslovima života (Mulec, 2005; Mulec i Kosi, 2009; Nikolić i sar., 2020; Pentecost i Whitton, 2012, Popović i sar., 2023).

Aerofitski fototrofi u pećinama pre svega naseljavaju one delove koji su osvetljeni sunčevom svetlošću, kao što je ulazna zona. U ulaznoj zoni i u delovima pećine koji su osvetljeni dnevnim svetlom, na stenovitom supstratu ili sedimentu, zapažaju se raznovrsni fototrofni biofilmovi u čiji sastav ulaze cijanobakterije i aerofitske eukariotske alge (Nikolić i sar., 2020; Popović i sar., 2020).

Adaptacijom pećina u turističke svrhe, stvoreni su uslovi za razvoj fototrofnih mikroorganizama u zonama pećine u kojima ne bi bili prisutni u prirodnim uslovima, jer je instalirano veštačko osvetljenje. Ova zajednica mikroorganizama nosi posebno ime lampenflora

(Nikolić i sar., 2020; Popović i sar., 2023). Njena pojava može uzrokovati velike probleme u turističkim pećinama, što će detaljnije biti opisano u daljem tekstu.

1.4. Posledice prilagođavanja pećina u turističke svrhe i razvoj lampenflore

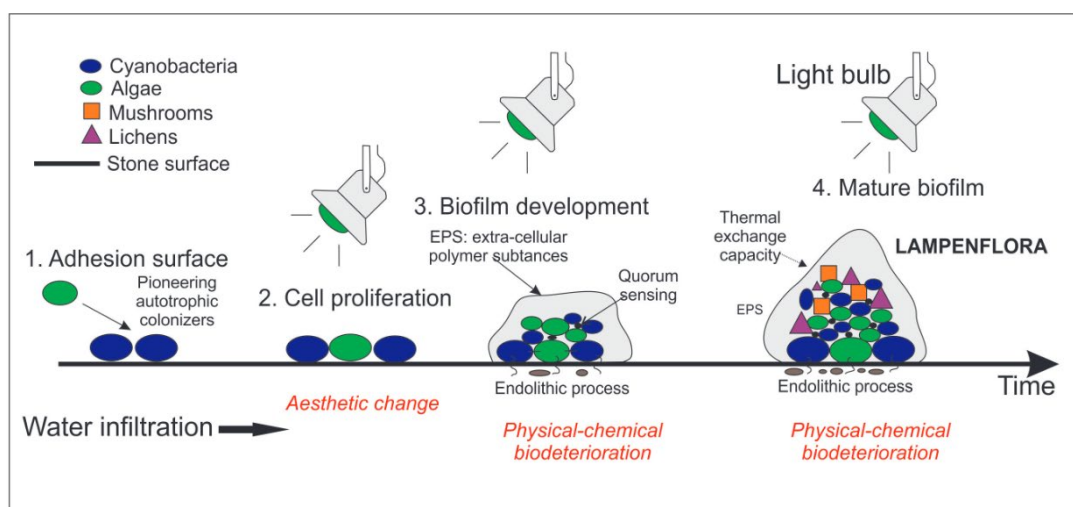
Svaka pećina ima određenu prirodnu ravnotežu ekoloških parametara, imajući u vidu da su temperatura i relativna vlažnost vazduha relativno stabilni i da je kontakt sa spoljašnjom sredinom ograničen. Smatra se da su pećine zatvorena, oligotrofna staništa u kojima je protok energije minimalan (Mulec i Kosi, 2009). Ipak, postojeća ravnoteža u pećinama podložna je promeni i prema Heaton (1986) razlikuju se tri energetske kategorije pećina:

1. visoko energetske pećine u kojima je energija viša od one koja se unosi spolja tako da spoljašnja sredina ne dovodi do značajnijih promena u pećinskom staništu,
2. srednje energetske pećine u kojima je energija slična onoj van pećinskog staništa i u kojima uslovi spoljašnje sredine ne remete već postojeće uslove koji vladaju u pećini
3. nisko energetske pećine koje su podložne promenama i uticajima spoljašnje sredine koji remete prirodnu ravnotežu i dovode do promena unutar pećina.

Prilagođavanje pećina u turističke svrhe, razvoj turizma i uvođenje sve većeg broja posetilaca u ova specifična staništa često vodi do narušavanja već postojeće prirodne ravnoteže. Broj turista na godišnjem nivou zavisi od lokaliteta, ali prema Cigna i Forti (2013) preko 500 pećina u svetu ima više od 50 000 posetilaca godišnje. Istraživanja su pokazala da prisustvo većeg broja posetilaca u pećinama može biti razlog povišene temperature vazduha i koncentracije ugljen-dioksida, a ujedno i snižene vrednosti relativne vlažnosti vazduha (Cigna, 1993; Macedo i sar., 2009). Eksperiment u pećini Grotta di Castellana u Italiji je pokazao da prisustvo 105 ljudi u manjem pećinskom prolazu podiže vrednost temperature vazduha za 0,3 °C u roku od 10 minuta, dok za oporavak, tj. vraćanje temperature na početni nivo treba 30 minuta. Slična situacija je zapažena i u pećini Grotta Grande del Vento, u Italiji, gde je prisustvo 7000 ljudi u toku dana uzrokovalo povećanje temperature vazduha za 0,3-0,4 °C, a sniženje relativne vlažnosti vazduha za 2% (Cigna, 1993). Villar i saradnici (1984) su izmerili da se toplota koju pojedini posetioci oslobađaju kada su prisutni u pećini kreće od 82 do 116 W (ili džul po sekundi) u stanju mirovanja, dok tokom kretanja dostiže vrednost od 170 W. Macedo i saradnici (2009) navode da jedna osoba koja ima telesnu temperaturu 37 °C emituje energiju koliko i sijalica od 200 W. Kao što je pomenuto i koncentracija ugljen-dioksida raste u prisustvu posetilaca što vodi do poremećaja postojeće ravnoteže različitih neorganskih jedinjenja i dalje utiče na okruženje u kome žive organizmi. Tako je Castellani (1988) zabeležio da prisustvo 7000 turista u pećini u toku dana doprinosi gotovo dvostrukom povišenju koncentracije ugljen-dioksida koja se relativno brzo može vratiti u ravnotežu, ali samo ukoliko postoji adekvatno strujanje vazduha, što nije slučaj u svim speleološkim objektima. Treba napomenuti da posetioci ne utiču samo na pomenute ekološke parametre, već svojim prisustvom i kretanjem doprinose povećanoj koncentraciji vijabilnih spora mikroorganizama poreklom iz spoljašnje sredine, a koje inače u ovim staništima ne bi bile prisutne u tolikom broju. Spore se obično prenose pasivnim putem, vodom (što uključuje reke, potoke, prokapne vode, itd.) ili strujanjem vazduha, ali i životinjama ili ljudima. U turističkim pećinama je sve ovo posebno izraženo, a osim pomenutog, posetioci doprinose i povećanom unosu organske materije u vidu čestica koje su rezultat perutanja kože posetilaca i prašine koju unose preko svoje odeće i obuće (Cigna, 2016; Jurado i sar., 2010; Nikolić i sar., 2020).

Veštačko osvetljenje u pećinama doprinosi razvoju zajednice organizama koja se naziva lampenflora. Lampenfloru pre svega čine fototrofni mikroorganizmi, cijanobakterije i eukariotske alge, ali u njen sastav ulaze i drugi organizmi poput mahovina, lišajeva, gljiva i heterotrofnih bakterija (Borderie i sar., 2011, 2014; Cigna i Forti, 2013; Cigna, 2011, 2016; Mulec i Kosi, 2008,

2009; Mulec, 2014; Nikolić i sar., 2020; Popović i sar., 2017, 2023). Nešto ređe zabeleženo je u lampenflori i prisustvo viših biljaka (Cigna, 2011). Proliferacija fototrofa u pećinama je prvi put proučavana u Austriji (Kyrle, 1923; Morton i Gams, 1925) i Francuskoj (De Virville, 1928), a termin lampenflora je prvi put uveden u Nemačkoj šezdesetih godina dvadesetog veka (Dobat 1963, 1969). Mnogi fototrofi, među kojima se najčešće pominju cijanobakterije (Cyanobacteria), zelene (Chlorophyta) i silikatne (Bacillariophyta) alge, su do sada dokumentovani u zajednici lampenflore, ali je njihova zastupljenost često različita i zavisi od lokaliteta i mnogo drugih faktora (Baquedano-Estévez, 2019; Mulec, 2012; Padišak i sar., 1984). Na Slici 1 dat je šematski prikaz formiranja lampenflore, koji uključuje faze kao što su adhezija fototrofa za određenu površinu, razmnožavanje i proliferacija, razvoj i rast biofilma uz produkciju ekstracelularnih polimernih supstanci i formiranje zrelog biofilma kada se zajednici pridružuju i drugi organizmi, kao što su bakterije, gljive, lišajevi, mahovine (Baquedano Estévez i sar., 2019). Zajednica lampenflore, kao i ostali fototrofni biofilmovi, je vrlo dinamična, što se najviše odnosi na sposobnost međucelijske komunikacije putem hemijskih signala poznatih pod nazivom „quorum sensing“ koja ćelijama mikroorganizama omogućava da komuniciraju koordinisano (Baquedano-Estévez i sar., 2019).



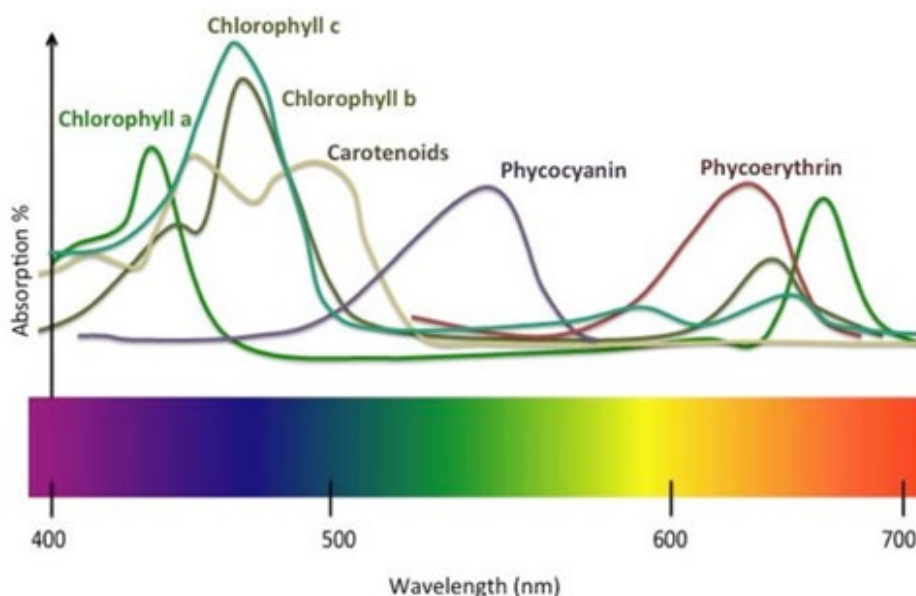
Slika 1. Razvoj i evolucija biofilma u pećinama (izvor Baquedano-Estévez i sar., 2019)

Za proliferaciju fototrofne zajednice najvažniji faktor je svetlo, a zatim dostupnost vode. Na mikroklimu i razvoj lampenflore u pećinama utiču tip i intenzitet svetla kao i tip lampi. Iako je maksimum fotosinteze u plavom (430-490 nm) i crvenom (640-750 nm) delu spektra, zahvaljujući pomoćnim pigmentima, moguća je apsorpcija svetlosti i u drugim delovima spektra (Slika 2). Zelene alge poseduju hlorofil (tip *a* i tip *b*) koji maksimum apsorpcije svetlosti postiže u crvenom i plavom delu spektra, silkatne alge sadrže hlorofil *a* i *c* i pomoćne pigmente karotenoide (Kuczynska i sar., 2015), dok cijanobakterije, pored hlorofila *a* i *b* i karotenoida, poseduju i fikobiline (Baquedano-Estévez i sar., 2019). Upravo zahvaljujući njima, cijanobakterije mogu obavljati fotosintezu u uslovima gde je intenzitet i sastav svetlosti često promenljiv (Popović, 2018; Stowe i sar., 2011). Smith i saradnici (2017) su izveli eksperiment na višim biljkama koji je pokazao da biljke u manjoj meri fotosintetišu i u zelenom delu spektra, zahvaljujući prisustvu pomoćnih pigmenata, odnosno karotenoida. Prema Hashimoto i saradnicima (2015) transfer energije sa karotenoida na hlorofil je uočen i kod algi.

Debljina biofilma i raznovrsnost zajednice lampenflore zavise od intenziteta svetlosti i dužine osvetljavanja. Biofilmovi su manje složeni (imajući u vidu diverzitet organizama) ukoliko su vrednosti intenziteta svetlosti ispod sledećih okvira: 10-50 lux (alge), 50-180 lux (mahovine), 250 lux (lišajevi) (Baquedano-Estévez i sar., 2019). Diverzitet fototrofa u lampenflori opada sa smanjenjem intenziteta svetla (Baquedano-Estévez i sar., 2019), ali bez obzira na to, lampenflora

može preživljavati i pri intenzitetima svetla dosta nižim od navedenih (Bruno i Valle, 2017; Roldán i Hernández-Mariné, 2009), pa čak jedan period opstati i u potpunom mraku. Sa druge strane, izrazito visok intenzitet svetlosti može imati negativne posledice po fototrofe. U različitim istraživanjima je zapaženo da se na mestu izuzetno visokog intenziteta svetla fototrofi ne razvijaju (ili se povlače u stenu) (Popović i sar., 2023), dok se malo dalje razvijaju i regularno formiraju biofilm (Esteban, 2014; Roldán i sar., 2004).

U početku su se za osvetljenje u pećinskim sistemima koristile baklje, lampe na ulje i gas, da bi se kasnije prešlo na izvor osvetljenja koji napaja električna energija. Neadekvatne lampe po današnjim standardima, odnosno lampe koje ne koriste „hladno svetlo“, blago zagrevaju neposrednu okolinu, što može biti uzrok viših vrednosti temperature i nižih vrednosti relativne vlažnosti vazduha na tim mestima (Mulec i Kosi, 2009; Smith i Olson, 2007). Fortijevo istraživanje (1980) je pokazalo da upotreba sijalica sa užarenim nitima od 1 kW na distanci od 50 cm od pećinskog zida dovodi do povećanja vrednosti temperature vazduha sa 15 °C na 25 °C, i sniženja relativne vlažnosti vazduha sa 95-100% na 55-60%. Takve vrste lampi, ne samo da menjaju mikroklimu u neposrednoj blizini, već emituju široki spektar talasnih dužina koje pogoduju razvoju lampenflore. Blago povećanje temperature vazduha doprinosi i većoj produkciji biomase, pa tako Mulec (2012) navodi da povišenje temperature za 2 °C utiče na povećanje biomase i do 30 puta kod roda *Chlorella*. Pošto se od početka 20. veka pećinskom turizmu pridaje sve veći značaj, u pećinama se postepeno menja sistem osvetljenja, pa je sve veća upotreba LED (eng. Light Emitting Diode) i CCL (eng. Cold Cathode Lamp) lampi, koje emituju „hladno“ svetlo. Ono je pogodnije za okruženje, duže traje i ekonomski isplativije (Cigna, 2011).



Slika 2. Apsorpcioni spektri fotosintetičkih pigmenata kod cijanobakterija i eukariotskih algi. Preuzeto iz rada Yarish i saradnici, 2012.

Lampenflora uglavnom preferira vlažnija mesta u pećini, ali u zajednici se mogu nalaziti i organizmi prilagođeni životu na suvljim supstratima, a koji se najčešće nalaze na mestima koja isušuje toplota lampi (Baquedano-Estévez i sar., 2019; Mulec, 2012). Eukariotske alge i cijanobakterije imaju sposobnost adaptacije na periode isušivanja (Pentecost i Whitton, 2012), a prema Johnson (1979) eukariotske alge mogu duže podneti periode isušivanja podloge u odnosu na mahovine ili lišajevе.

1.5. Posledice razvoja lampenflore u pećinama

Mikroorganizmi koji kolonizuju određeni supstrat često se dovode u vezu sa procesom deterioracije i negativnim posledicama kako po objekte kulturnog nasleđa, tako i po objekte geonasleđa (Caneva i sar., 2009; Saiz-Jiménez, 1994). Postoje mnogi primeri neželjene proliferacije mikroorganizama u pećinama, ali u fokusu su najčešće opšte poznate pećine i one koje su čuvane po pećinskoj umetnosti. Tako je opšte poznato da su dejstvom mikroorganizama oštećeni praiistorijski crteži u Lascaux pećini u Francuskoj (Lefèvre i sar., 1974). U ovom kontekstu izdvajaju se pećina Castañar de Ibor koja je 2008. godine zatvorena za turiste usled razvoja gljiva *Mucor circinelloides* i *Fusarium solani* (Jurado i sar. 2010), kao i pećina Altamira koja je za posetioce zatvorena 2002. godine zbog proliferacije fototrofnih mikroorganizama (Saiz-Jiménez i sar., 2011).

Zajednica lampenflore podlogu na kojoj se razvija koristi kao fizičku potporu, ali i u svrhe usvajanja određenih nutrijenata iz samog supstrata (Cigna, 2016; Keshari i Adhikary, 2014; Popović i sar., 2023). Sve pomenuto može voditi do određenih promena na supstratu, među kojima se ističu estetske promene i oštećenja supstrata koja obuhvataju fizičku i hemijsku deterioraciju (Brunet i sar., 1985; Macedo i sar., 2009; Pfendler i sar., 2018).

Estetske promene su posledica prisustva različitih pigmenata kod autotrofne komponente lampenflore. Lampenflora je najčešće zelene boje, usled česte dominacije zelenih algi, ali kako u zajednici mogu biti prisutni i drugi mikroorganizmi među kojima su cijanobakterije, boja može varirati i biti tamno zelena, crna, ljubičasta itd., što sve zavisi od dominantne grupe taksona ili određenog taksona (Popović i sar., 2020). Ektracelularne polimerne supstance (EPS) koje fotosintetički mikroorganizmi sintetišu između ostalog imaju i ulogu adheziva, a pored osnovne funkcije vezivanja i zadržavanja vode, imaju ulogu i u „hvatanju“ čestica prašine i aerosola koje takođe doprinose promeni boje supstrata na kom se lampenflora razvija (Baquedano-Estévez i sar., 2019; Caneva i sar., 2009; Mulec, 2012).

Fizička biodeterioracija podrazumeva strukturne promene u supstratu, pucanje supstrata, kao i gubitak kohezije usled mehaničkog pritiska zbog rasta organizama koji ulaze u sastav lampenflore (Borderie i sar., 2014). Najizraženija fizička oštećenja stene izazvana rastom fototrofa su posledica razvoja endolitskih predstavnika (Albertano, 2012; Baquedano-Estévez i sar., 2019). EPS takođe usled čestog vezivanja i zadržavanja vode i naglog sušenja dovodi do fizičkih oštećenja supstrata (Baquedano-Estévez i sar., 2019).

Hemijska biodeterioracija, koja se još naziva „biokorozija“, nastaje usled metaboličke aktivnosti mikroorganizama (Aley, 2004; Herrera i sar., 2004). Mikroorganizmi izlučuju različite vrste kiselina (oksalnu, limunsku, glukonsku i dr.) koje u dodiru sa vodom koja se sliva niz stene razaraju supstrat i nanose nepopravljiva oštećenja (Aley, 2004; Caneva i sar., 2009; Herrera i sar., 2004). Takođe, poznato je da tokom respiracije fototrofi osobađaju CO₂ koji, mešajući se sa vodom, formira slabu ugljenu kiselinu posebno korozivnu za krečnjak. Biološke aktivnosti mikroorganizama vode do promena u sastavu minerala i promena u strukturi stena (Albertano, 1993; Albertano i sar., 2000).

Problem takođe nastaje i u slučajevima kada predstavnici lampenflore imaju sposobnost precipitacije karbonata, jer to vodi do oštećenja koja su ireverzibilna (Mulec i Glažar, 2011). Razvoj fototrofnih biofilmova takođe povećava količinu organske materije u pećinskim staništima. Dodatno, neki od organizama u lampenflori mogu biti toksični (Jurado i sar., 2010) ili patogeni, pa njihovo prisustvo predstavlja rizik za posetioce i stalne stanovnike pećina. Zabeleženo je da u sastav lampenflore ulaze bakterije, gljive ili cijanobakterije i eukariotske alge koje kod ljudi mogu izazvati alergijsku reakciju, respiratornu infekciju ili infekciju kože (Jurado i sar., 2010).

1.5.1 Mehanizmi uklanjanja lampenflore

Prema brojnim istraživanjima (Borderie i sar., 2014; Cigna, 1993, 2013; Mulec i Kosi, 2009; Smith i Olson, 2007) lampenflora se u pećinama lako i brzo razvija, ali se teško povlači i eliminiše. Čak i zatvaranje pećine na jedan period ne mora biti delotvorno, jer lampenflora može preživeti period mraka i opstati (Piano i sar., 2023; Popović i sar., 2023). Kako bi se razvoj lampenflore stavio pod kontrolu, koriste se određene preventivne mere (Cigna, 2011; 2016). Ukoliko dođe do nagle proliferacije fototrofa, predlažu se i određene metode u cilju njene eliminacije, a koje podrazumevaju uklanjanje lampenflore koristeći mehaničke (fizičke), hemijske i ekološke metode (Hebelka, 2014; Mulec i Kosi, 2009). Mulec i Kosi (2009) predlažu i biološko uklanjanje lampenflore, ali na tu temu nema mnogo istraživanja. Treba napomenuti da nijedna od metoda koje se koriste nije idealna i potpuno efikasna i ne dovodi do potpunog uklanjanja lampenflore, što se naročito odnosi na mesta na kojima su zastupljeni endoliti (Baquedano-Estévez i sar., 2019).

1.5.1.1. Mehaničko uklanjanje lampenflore

Mehanički ili fizički lampenflora se uklanja pomoću četki i vode. Pomenuta metoda je prvi put korišćena u pećinama Australije (Baquedano-Estévez i sar., 2019), kada je zabeležena primetna eliminacija lampenflore. Predstavlja najjednostavniju metodu koja se koristi u svrhe uklanjanja lampenflore, ne podrazumeva otpuštanje štetnih i toksičnih materija u okruženje, ali nije efikasna onoliko koliko se očekivalo. Generalno, nema dugoročnog efekta i nakon primene ove metode lampenflora se ubrzo ponovo javlja na istim mestima. Osim toga, četkanje i mlaz vode pod pritiskom doprinose i rasejavanju mikroorganizama na okolni supstrat koji prethodno možda i nije bio kolonizovan. Uz učestalo ponavljanje, mehaničko uklanjanje lampenflore vodi i do trajnog oštećenja pećinskog nakita i drugih struktura unutar pećina (Hebelka, 2014; Mulec i Kosi, 2009).

1.5.1.2. Uklanjanje lampenflore hemijskim putem

Hemijske metode, kako i samo ime kaže, uključuju upotrebu različitih hemijskih sredstava u borbi protiv lampenflore. U ove svrhe potrebno je koristiti ispitana hemijska sredstva, koja nemaju negativni uticaj na pećinsku faunu i zdravlje ljudi, koja su ekološki prihvatljiva, a od velikog značaja je da imaju i dugoročni efekat. Upotreba neispitanih hemijskih sredstava može dovesti do narušavanja mikrobiološke ravnoteže u pećinama (Baković, 2017). Primer koji potvrđuje pomenuto je upotreba različitih biocida u pećini Lascaux u Francuskoj koja je za posledicu imala prekomerni razvoj gljiva u kombinaciji sa drugim mikroorganizmima, od kojih su neki patogeni (Bastian i sar., 2009;), pa je pećina trajno zatvorena za posetioce.

Istraživanja su pokazala da je upotreba hemijskih sredstava poput DCMU (diuron, N-3, 4-dihlorfenil-N9 dimetil urea) ili jedinjenja koja sadrže brom nepoželjna, jer su ova jedinjenja veoma toksična, dok se selektivni herbicidi poput Atracina ili Simazina smatraju nedovoljno efikasnim (Grobelaar, 2000). Umesto njih, preporučuje se upotreba manje toksičnih jedinjenja, poput 5% natrijum-hipohlorita (NaOCl) (Zelinka et al., 2002), kalcijum-hipohlorita (Ca(OCl)₂) (Iliopoulou-Georgoudaki et al., 1993) ili vodonik-peroksida (H₂O₂). Ipak, cijanobakterije poput *Scytonema julianum* i *Leptolyngbya* sp. mogu opstati u porama supstrata i nakon tretmana ovim jedinjenjima (Iliopoulou-Georgoudaki et al., 1993).

Natrijum-hipohlorit (NaOCl) je efikasan u suzbijanju lampenflore kada se koristi u koncentraciji ne većoj od 5% (Cigna, 2011). U Moravskom Karstu u Češkoj je zabeleženo uspešno uklanjanje lampenflore čak do 80% pri upotrebi ove hemikalije u koncentraciji od 4% (Hebelka, 2014). Međutim, na mestima gde je biofilm bio dobro razvijen, korišćen je rastvor u koncentraciji od 8%. Iako se ovo jedinjenje smatra efikasnim u uklanjanju lampenflore, treba imati u vidu da nije potpuno ekološki prihvatljivo rešenje. Prilikom upotrebe dolazi do oslobađanja gasa hlora koji je toksičan za okolinu i koji ujedno snižava pH na mestu aplikacije i rastvara kalcit (Mulec i Kosi, 2009). Dalje, u reakciji hipohlorita sa amonijakom i drugim azotnim jedinjenjima se mogu osloboditi toksični hloramini ili čak kancerogeni trihlormetan. Takođe, pošto je NaOCl jako oksidaciono sredstvo, osim što eliminiše lampenfloru na mestu aplikacije može i dodatno da izbeli supstrat (Hebelka, 2014). Kako bi se izbegle negativne posledice upotrebe NaOCl , tretiranje lampenflore bi trebalo vršiti pre početka turističke sezone i nakon završene hibernacije slepih miševa, uz upotrebu zaštitne opreme. Takođe, poželjno je ne ulaziti u pećinu bar 12 sati nakon prskanja (Faimon i sar., 2003; Mulec i Kosi, 2009). Tretirana mesta se obilaze 3-5 dana nakon apliciranja NaOCl i po potrebi se postupak ponavlja. Kod supstrata koji je osetljiv prethodno se tretira manja površina radi probe (Hebelka, 2014).

Kalcijum-hipohlorit (Ca(OCl)_2) je takođe jako oksidaciono sredstvo koje se može upotrebiti u suzbijanju lampenflore (Hebelka, 2014; Mulec i Kosi, 2009). Dosadašnja istraživanja su pokazala da se najčešće koristi u koncentraciji od 2% i 4%, ali da sve zavisi od razvijenosti biofilma. Garrido i saradnici (2007) su koristili ovo jedinjenje u koncentraciji od 2% u cilju eliminacije lampenflore u Nejra pećini u Španiji. Tretirano mesto je neko vreme bilo čisto, ali je razvoj lampenflore ponovo primećen nakon pet godina. Upotreba i ovog jedinjenja ima svoja neželjena dejstva. Međutim, iako je efikasno, i ovo jedinjenje ima svoje mane: do 36 sati nakon upotrebe oseća se neprijatan miris, usled oksidacije Fe^{2+} u Fe^{3+} supstrat se može obojiti u crvenkasto, a poput NaOCl može izazvati i izbeljivanje supstrata. Hebelka (2014) predlaže da se nakon upotrebe rastvora poput NaOCl i Ca(OCl)_2 supstrat opere vodom.

U poslednje vreme se umesto jedinjenja koja se smatraju agresivnim po supstrat, predlaže upotreba vodonik-peroksida (H_2O_2) jakog oksidacionog sredstva koje nakon primene u životnu sredinu ne oslobađa štetne materije i ne utiče negativno na supstrat u tolikoj meri kao prethodno pomenuta jedinjenja (Baquedano-Estévez i sar., 2019; Grobbelaar, 2000; Faimon i sar., 2003; Mulec i Kosi, 2009). U istraživanjima sprovedenim u Katerinska pećini u Češkoj Republici (Faimon i sar., 2003), predložena je upotreba 15% rastvora H_2O_2 , i to nakon hibernacije slepih miševa. Zaključeno je da rastvor treba koristiti dva do tri puta nedeljno, pri čemu je potrebno nositi zaštitnu opremu i ne ulaziti u pećinu 4 sata nakon tretmana. Tretirano mesto se obilazi nakon 2-5 dana i tretman se ponavlja dok se lampenflora ne povuče (oko 4-6 puta). Dodatno, supstrat se može isprati vodom nakon 5-30 minuta od nanošenja H_2O_2 (Grobbelaar, 2000). Hebelka (2014) navodi da iako je vodonik-peroksidu potrebno više vremena i više tretmana za eliminaciju lampenflore, za okolinu je manje štetan i smatra se bezbednim sredstvom za korišćenje.

1.5.1.3. Eliminacija lampenflore UV zračenjem

Ultraljubičasti zraci su deo sunčevog spektra sa srednjim talasnim dužinama između rendgenskih zraka i vidljive svetlosti (Borderie i sar., 2011) Prema energetsom kapacitetu i efektu na žive organizme, razlikuju se tri tipa UV zračenja: UV-C (250 nm – 280 nm), UV-B (280 nm – 315 nm) i UV-A (315 nm – 400 nm) (Borderie i sar., 2011). Poslednjih decenija se sve češće proučava efekat UV zračenja na fotosintetičke organizme jer ono oštećuje DNK i fotosintetički aparat, što može imati biocidni efekat.

Kao alternativu upotrebi hemikalija, Dobat (1963) predlaže upotrebu UV zračenja u eliminaciji lampenflore, što su pokušali Van Der Molen i saradnici (1980) kada su kreirali UV lampe za eliminaciju fototrofne zajednice u crkvi u Nemačkoj. Do sada je sprovedeno nekoliko istraživanja (Borderie i sar., 2011, 2014; Pfendler i sar., 2018, 2018a) koja ispituju uticaj UV zračenja na rast i razvoj lampenflore, naročito u Francuskoj. Eksperimenti su sprovedeni kako direktno u pećinama, tako i u laboratorijskim uslovima na određenim kulturama algi. Prema Borderie i saradnici (2014) UV-C zračenje redukuje lampenfloru i izbeljuje hlorofil, pri čemu je efekat izraženiji što je interval izlaganja zračenju duži. Ipak, konstantovana je rekolonizacija supstrata nakon godinu dana.

Iako efikasno, UV-C zračenje nije pravo rešenje za eliminaciju lampenflore. Efikasnost pre svega zavisi od boje i razvijenosti biofilma (Baquedano-Estevez i sar., 2019; Borderie i sar., 2012, 2014; Mulec i Kosi, 2009), ali i od toga da li je pećina povremeno ili stalno otvorena za posetioce. U pećinama koje su povremeno otvorene samo u određenim delovima godine, ovaj način eliminacije lampenflore može biti efikasniji nego u onima koje su otvorene tokom cele godine i u kojima je lampenfloru potrebno tretirati više puta. Dodatno, ova metoda podrazumeva tretiranje onih površina koje su lako dostupne (u blizini staza), dok tretman udaljenih tačaka predstavlja izazov. Iz tog razloga se smatra da, ukoliko udaljena, nedostupna i zasenčena mesta ne mogu da se tretiraju, UV-C zračenje nije ekonomski isplativo (Hebelka, 2014).

Iako ima nedostataka, UV-C zračenje predstavlja bezbednu metodu za eliminaciju lampenflore jer nema negativnih posledica po okolinu (Addesso i sar., 2022; Borderie i sar., 2011; 2014, Pfendler i sar., 2018, 2018a).

1.5.1.4. Biološke metode

Biološke metode eliminacije lampenflore za sada nisu dovoljno istražene. Jedan od predloga jeste upotreba modifikovanih virusa, što podrazumeva introdukovanje određenih vrsta virusa na selektovano područje koji bi kontrolisali rast lampenflore. Drugi način podrazumeva inaktivaciju faktora koji su neophodni za preživljavanje zajednice fototrofa, kao što su signalne ćelije ili ćelije koje učestvuju u metabolizmu gvožđa (Albertano, 2003). Pretpostavlja se da bi ove metode bile efikasne u suzbijanju rasta lampenflore, ali bi mogle imati i određene posledice. Virus bi zaista mogli suzbiti rast lampenflore, ali bi se mogli proširiti i znatno dalje od mesta primene i time potencijalno uticati i na autohtonu floru. Takođe, moguće je da bi došlo i do nagomilavanja organske materije koja potiče od neživih fototrofa, što bi dovelo do razvoja drugih mikroorganizama, pre svega gljiva (Baquedano-Estévez i sar., 2019; Mulec i Kosi, 2009).

1.5.2. Prevencija razvoja lampenflore

Lampenflora je neželjena pojava u turističkim pećinama širom sveta. Ako dođe do njenog prekomernog razvoja, često se vrši sanacija nekom od ekološki prihvatljivih metoda. Međutim, iako su određene metode dostupne i proverene, uvek je bolje delovati preventivno. Preventivno delovanje se pre svega odnosi na adekvatan odabir veštačkog osvetljenja. Neophodno je voditi računa o tipu lampi, kao i o tipu i intenzitetu svetlosti koje te lampe emituju. Jedna od mera se odnosi i na kontrolisanu upotrebu rasvete gde se predlaže da svetla budu upaljena samo onda kada u pećini ima posetilaca ili da se kombinuju sa svetlima koja se pale na senzor. Međutim, Montechiaro i Giordano (2006) ističu da gašenje svetala u jednom periodu može redukovati rast određenih mikroorganizama, ali može i favorizovati rast drugih, gde navode slučaj sa favorizovanjem rasta cijanobakterije *Phormidium autumnale*. Smatra se da bi ograničenje broja posetilaca takođe potencijalno doprinelo redukciji lampenflore. Dodatno, trebalo bi redovno vršiti monitoring ne samo lampenflore, nego i ekoloških parametara u pećinama (Cigna, 2005).

1.6. Turističke pećine u Srbiji

Prema podacima Zavoda za zaštitu prirode Srbije, u grupi od 80 speleoloških objekata, 56 čine pećine (inventar iz 2005. godine) (<https://zzps.rs>). Oko 10% teritorije Srbije je podložno procesu karstifikacije, što omogućava razvoj podzemnih speleoloških objekata.

U istraživanjima koja su sprovedena u periodu od 1999-2004. i 2005-2010. godine, obuhvaćeno je preko 100 speleoloških objekata kojima je otkriven izvestan broj novih vrsta organizama za faunu Srbije, kao i novih vrsta za nauku (<https://zzps.rs>).

Među speleološkim objektima geonasleđa u Srbiji koji su otvoreni za turiste se nalazi 9 pećina: Resavska, Rajkova, Mermerna, Lazareva, Ceremošnja, Ravništarka, Potpećka, Risovača i Stopić pećina. U toku je uređenje još tri pećine, od kojih bi prvo Hadži-Prodanova pećina trebalo da bude otvorena za posetioce (<https://zzps.rs>). Prema podacima Zavoda za zaštitu prirode Srbije, oko 10% teritorije Srbije čine karstni tereni, što omogućava formiranje i površinskog i podzemnog karstnog reljefa - različitih speleoloških objekata (<https://zzps.rs>). Iako u karstu Srbije, imajući u vidu podzemni karstni reljef, preovlađuju kanali malih dimenzija, sreću se i veći speleološki objekti (Milanović, 2012). Inventar geonasleđa Srbije iz 2005. godine obuhvata 80 speleoloških objekata, od kojih je 37 zaštićeno. Mnogi speleološki objekti nalaze se u okviru većih zaštićenih prirodnih dobara, a ostali su posebno zaštićeni i svrstavaju se u spomenike prirode.

2. CILJEVI RADA

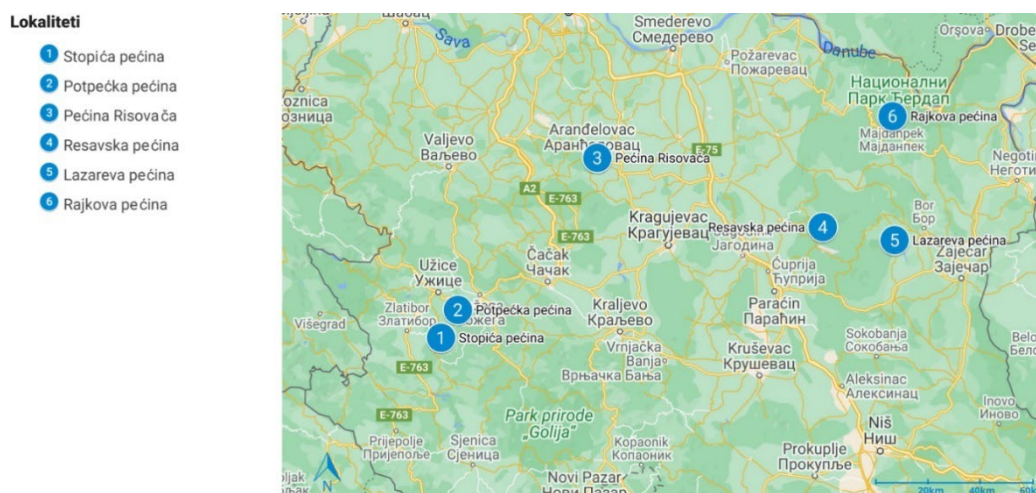
U ovoj doktorskoj disertaciji postavljeni su sledeći ciljevi:

- Merenje ekoloških parametara na svakoj tački uzorkovanja.
- Sezonsko uzorkovanje biofilmova na ulazima odabranih turističkih pećina i lampenflore.
- Određivanje udela vode, organske i neorganske komponente u uzorcima biofilma i lampenflore.
- Određivanje koncentracije hlorofila *a* – primarne produkcije cijanobakterija i eukariotskih algi.
- Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi iz uzoraka biofilma i lampenflore odabranih turističkih pećina.
- Izolacija i kultivacija zelene alge *Chlorella* sp. iz Lazareve pećine.
- Tretiranje zelene alge *Chlorella* sp. odgajene u laboratorijskim uslovima odabranim biocidima.
- Poređenje zajednica biofilma sa ulaza sa zajednicom lampenflore u unutrašnjosti pećina.
- Poređenje dobijenih rezultata po sezonama u okviru jednog lokaliteta i između različitih lokaliteta.
- Statistička analiza dobijenih ekoloških podataka.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Odabrani lokaliteti istraživanja

Uzorci biofilma i lampenflore prikupljeni su iz sledećih 6 pećina: Stopića, Potpečka, Risovača, Resavska, Lazareva (Zlotska) i Rajkova pećina (Slika 3). Pećina Risovača se nalazi u centralnoj Srbiji, Stopića i Potpečka u zapadnoj Srbiji, dok se u istočnoj Srbiji nalaze Resavska, Lazareva i Rajkova pećina. Svih 6 pećina je prilagođeno za turističke posete, pri čemu su Risovača, Stopića, Resavska i Rajkova pećina otvorene tokom cele godine (s tim da se najveći broj posetilaca vezuje za period od proleća do jeseni), dok su Lazareva i Potpečka pećina otvorene u periodu od maja do oktobra.



Slika 3. Turističke pećine Republike Srbije u kojima je izvršeno prikupljanje uzoraka. Izvor: www.googlemaps.com

3.1.1. Pećina Risovača

Pećina Risovača se nalazi na jugoistočnoj periferiji grada Aranđelovca, na desnoj strani rečice Kubršnice ($44^{\circ}30'33,0''$ N; $20^{\circ}58'20,0''$ E). Udaljena je od Beograda 75 km. Pećina je otkrivena 1950. godine tokom eksploatacije kamena, a zbog obilja fosilizovanih životinjskih ostataka, od 1953. godine je proglašena za kulturno dobro i arheološko nalazište. U prirodno dobro je svrstana 1954. godine, dok od 1983. godine predstavlja kulturno dobro od velikog značaja. Prvobitan ulaz u pećinu se nalazio u dnu odseka stenovitih masa koji je nastao kao posledica eksploatacije kamena, ali kada je pećina otvorena za turiste (1987. godine), ulaz je preoblikovan u lučni otvor sa dvokrilnom kapijom iznad koje se nalazi kružni otvor sa rešetkom (Slika 4). Pregradni zid koji se nalazi na desetak metara od prirodnog ulaza je napravljen u cilju održavanja postojećih mikroklimatskih uslova u unutrašnjosti pećine (Petrović i sar., 2012).



Slika 4. Ulaz u pećinu Risovača.

U morfološko-funkcionalnom smislu, pećina je horizontalna, razgranata, izvorska i pripada erozionom tipu speleoloških objekata (Petrović i sar., 2012). U početku, mineralna voda kalcijumsko-magnezitskog tipa je proticala kroz pećinu, a nakon toga voda natrijumsko-hidrogenskog tipa (Đurović, 1998). Po prestansku isticanja voda, došlo je do taloženja sedimenta (Đurović, 1998). Sada je to suva, krečnjačka pećina koju karakteriše prisustvo male količine prokapnih voda, dok se pored naslaga krečnjaka uočavaju i naslage mrke gline, bigra i mermernog oniksa. Dužina pećine iznosi 114 m, dok je ukupna dužina svih istraženih kanala 159 m (Petrović i sar., 2012).

Pećina predstavlja jedno od značajnih paleontoloških nalazišta zbog otkrića fosilizovanih ostataka pleistocenske faune. Od fosilizovane faune, među najznačajnijim otkrićima su ostaci ježa (*Erinaceus* sp.), lisice (*Vulpes vulpes*), vuka (*Canis lupus*), pećinskog medveda (*Ursus spaeleus*) i runastog mamuta (*Mammuthus primigenius*) (Đurović, 1998). Takođe, pronađeno je oruđe od kostiju i okresanog kamena koje su koristili neandertalski lovci (Đurović, 1998). To su ujedno i dokazi o prisustvu nenadertalaca u doba paleolita na teritoriji Srbije.

3.1.2. Stopića pećina

Stopića pećina se nalazi u zapadnoj Srbiji, između sela Rožanstva i Trnave, na 250 km od Beograda (43°42'12,0" N; 19°51'12,4" E). Izgrađena je u krečnjacima i dolomitima gornjeg trijasa, kao i krečnjacima srednjeg trijasa (Lazarević, 2012). Deo je kompleksa koji pored Stopića pećine čine još dve fizički razdvojene celine: Pećinica i Ponor Trnavskog potoka (Lazarević, 2012). Ulaz u pećinu (Slika 5), visine 18 m i širine između 30 m i 40 m, se nalazi sa desne strane reke Prištavice, na litici visokoj 50 m (Đurović, 1998). Prema dosadašnjim saznanjima, ukupna dužina istraženih kanala iznosi 1658 m (Lazarević, 2012).

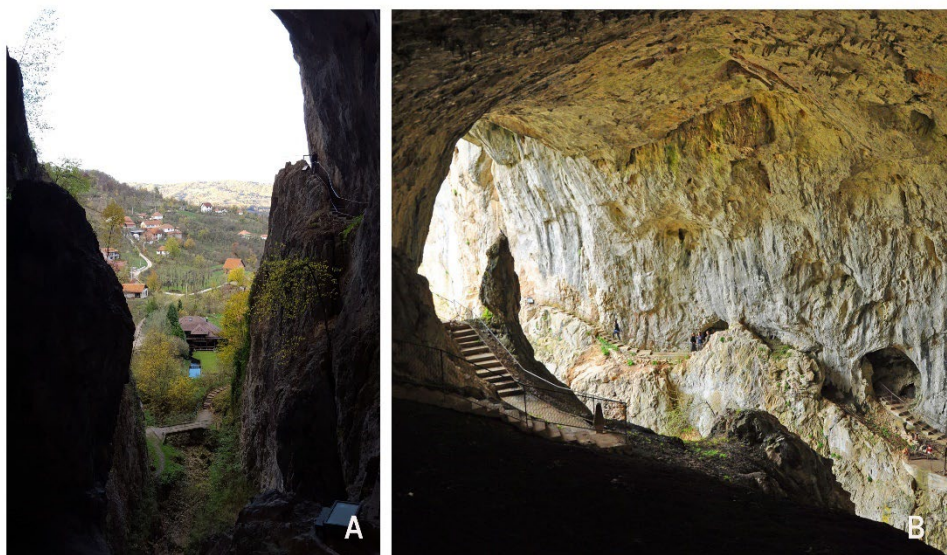


Slika 5. Stopića pećina. A – ulaz u pećinu, B – osvetljeni deo unutrašnjosti pećine

Stopića pećina je rečna pećina kroz koju protiče Trnavski potok, razgranatog je tipa i sastoji se od 5 speleomorfoloških celina: Svetla dvorana, Tamna dvorana, Sala sa kadama, Kanal sa kadama i Rečni kanal (Lazarević, 2012). Svetla dvorana se nalazi na samom ulazu u pećinu i siromašna je nakitom. Duga je 76 m (sa bočnim kanalima 87 m). Ispred ulaza se nalaze krupni blokovi nastali obrušavanjem krečnjačke litice, a tim istim materijalom je zasut i deo rečnog korita, koji se karakteriše prisustvom manjih vodopada i slapova. Tamna dvorana koja sledi je takođe siromašna pećinskim nakitom. Ona ujedno predstavlja i prelaznu zonu, imajući u vidu zoniranje pećine na osnovu dostupnog svetla. Duga je 98,5 m. Zidovi su uglavnom stenoviti, dok je dno prekriveno rečnim nanosom, i sklono plavljenju (Lazarević, 2012). U Tamnoj dvorani je izmerena najviša visina Stopića pećine (25,5 m). Sala sa kadama je dugačka 30 m i odlikuje se prisustvom bigrenih kada nastalih akumulacijom krečnjaka koje predstavljaju najveću turističku atrakciju ove pećine. Jedna od zanimljivosti je i ta da se u ovom prostoru nalazi „kada-jezero”, čija je dubina 7,7 m, od čega 5 m obično bude ispunjeno vodom. Iznad kade se nalazi stalaktit dužine 5,5 m i prečnika 60 cm (Lazarević, 2012). Kanal sa kadama pripada starijem, periodično plavljenom horizontu. Dužine je 587 m, a na visini od 712,72 m spaja se sa Rečnim kanalom (Lazarević, 2012). Rečni kanal predstavlja deo pećine koji krase vodopad koji se naziva Izvor života čija je visina 9,44 m, a koji se sliva niz bigrene kaskade. U ovom delu se nalazi i saliv crvene boje, nazvan Crveni kamin, kao i Sala sa baldahinima (suvi kanal koji je bogat pećinskim nakitom, belim i rumenim salivima) (Lazarević, 2012). U Stopića pećini je zabeležena endemična podzemna vrsta koleoptere, *Duvalius (Neoduvalius) cvijici stopicensis* (Đurović, 1998; Lohaj i sar., 2013).

3.1.3. Potpećka pećina

Potpećka pećina ($43^{\circ}47'45,1''$ N; $19^{\circ}56'00,8''$ E) se nalazi u severnom podnožju Drežničke gradine, u selu Potpeć, 14 km od Užica. To je rečna pećina koja se sastoji od ponorskog i izvorskog sistema kanala. Ulaz u pećinu je u obliku potkovice, visok 50 m, širok 12 m pri dnu, odnosno 22 m pri vrhu. Ujedno je najviši pećinski ulaz u Srbiji koji je nastao na krečnjačkoj litici visokoj 72 m (Slika 6). Pećina je dobila ime po selu Potpeć (Pećina u Potpeći), a selo se sa druge strane zove po pećini (Potpeće, tj. selo pod pećinom) (Lazarević, 1981).



Slika 6. Potpećka pećina: levo – pogled iz pećine na selo Potpeće; desno – otvorena dvorana Tavan (foto: M. Kličković, slika preuzeta sa: <http://www.zzps.rs/wp/speleologija/?script=lat>).

U Potpećkoj pećini se razlikuju dva glavna sprata pećinskih kanala: stariji – Gornja pećina i mlađi – Donja pećina. Ulazni kanal je zajednički za oba horizonta. Istražena i uređena dužina za posetioce je 555 m. Prema Jovanu Cvijiću (1914), pećina je izgrađena u srednjetrijaskim krečnjacima koji se karakterišu belom bojom, pukotinastom poroznošću i finom mozaičnom strukturom (Lazarević, 1981). Dalje se srednjetrijaski krečnjaci oslanjaju na donjetrijaske verfenske škiljce, a oni na paleozojske škiljce (Lazarević, 1981). Ispred Potpećke pećine, u poluprečniku od 300 m, prostiru se debele naslage bigra koji se formirao taloženjem karbonatnih jedinjenja iz voda reke Petnice. Na osnovu hemijskih analiza, pećina je izgrađena najvećim delom od krečnjaka koga 97,8% čini kalcijum-karbonat, 1,6% čini magnezijum-karbonat, a svega 0,5% čini silicijum-dioksid (Lazarević, 1981). U morfospeleološkom pogledu u Potpećkoj pećini se razlikuje 12 celina, pri čemu će biti pomenute samo neke najzanimljivije.

Na samom ulazu u pećinu se nalazi Hangar, pećinski kanal, visok preko 50 m, dužine 55 m. Ime je dobio zbog svog oblika i monumentalnih dimenzija. Tavan sa druge strane predstavlja najveću otvorenu dvoranu u Srbiji, dugu 60 m, široku 50 m. Sama dvorana je siromašna nakitom, dok se tokom zime mogu uočiti ledeni stalagmiti. U podnožju ovog prostora se nalazi tzv. Šiljata stena sa koje se pruža pogled na selo i dolinu Petnice (Lazarević, 1981). Sala zmajeva se odlikuje masivnim stalaktitima koji su obloženi kalcitom ili bigrom. Dobila je naziv prema bigrenim nadstrešnicama koje podsećaju izgledom na dva zmaja. Cvijićeva dvorana je veoma bogata stalaktitima i stalagmitima, a neki od njih su izgrađeni od iskirčavog kalcita. U ovoj dvorani se

ističe kompozicija stalagmita: jedan oštroični stalagmit visok 3-4 m i niz malih stalagmita koji ga okružuju. Ta kompozicija je, u čast našeg poznatog naučnika, nazvana Jovan Cvijić i speleolozi.

Prema hidrološkim karakteristikama, razlikuju se tri grupe kanala: fosilni (Gornja pećina), periodično aktivni (duži deo Donje pećine) i stalno aktivni (najnoviji podzemni tok) (Lazarević, 1981). Gornja pećina je suva (uz povremeno prisustvo prokapnih voda), kao i Donja pećina gde se voda pojavljuje samo u periodu jakih kiša ili nakon otapanja snega. Stalnoj hidrografskoj zoni pripadaju kanali u zaleđu Potpečke pećine.

Pećina nije arheološki istražena, ali su pronađeni ostaci životinja iz ledenog doba i dokazi prisustva neolitskog čoveka. Pećina je za turiste otvorena od maja 1981. godine (Lazarević, 1981).

3.1.4. Lazareva (Zlotska) pećina

Lazareva pećina se nalazi u istočnoj Srbiji, 21 km od Bora, na završetku Lazarevog kanjona (44°01'44,07" N; 21°57'44,54" E). Ulaz u pećinu leži na 291 m n.v, odnosno 7 m iznad rečnog korita Lazareve reke (Djurović, 1998). Visina ulaza je 6 m, dok je širina 19 m (Milanović, 2012). Pećina je dobila ime po knezu Lazaru jer su se, po predanju, srpski vojnici u njoj skrivali nakon Kosovskog boja (Lazarević, 1998).

Pećina je izgrađena u slojevitim krečnjacima donje krede, a prisutni su i pesak i šljunak koji su poreklom od kristalastih škriljaca (Lazarević, 1998). Pećinski sistem se sastoji od tri sistema kanala: stari, suvi kanal (u kome je uočeno i prisustvo fosila), mlađi koji je periodično aktivan i rečni koji je aktivan (<http://tobor.rs/turisticka-ponuda/lazareva-pecina/>). Prirodni ulaz u pećinu je bio veoma mali. Tokom prve faze rekonstrukcije 1953. godine, formiran je ulaz širine 15,2 m i visine 5,4 m, što je izložilo pećinu uticajima spoljašnje sredine, uticalo na promenu mikroklima i sušenje pećinskog nakita i struktura. Iz tog razloga, 1978. godine ulaz je pregrađen zidom, čime se revitalizovala mikroklima, kao i ekološki parametri u pećini (Lazarević, 1998; Popović i sar., 2023). Ukupna dužina ispitanih kanala iznosi 16 041 m (Mišić i sar. 2019), dok je za turističke posete uređeno 900 m (Milanović, 2012).



Slika 7. Lazareva pećina, stalagmit Bizon.

Prema hidrološkim karakteristikama, Lazareva pećina spada u red stalno aktivnih speleoloških objekata (Milanović, 2012), dok u kanalima van hidrološke funkcije dominiraju procesi stvaranja pećinskog nakita (Đurović, 1998). Najpoznatije dvorane su Dvorana blokova, Koncertna dvorana, Dvorana slepih miševa, a od nakita najpoznatiji je monumentalni stalagmit Bizon (Slika 7).

U pećini su pronađeni ostaci pećinskog medveda (*Ursus spelaeus*), pećinskog lava (*Panthera spelaea*) i pećinske hijene (*Crocota spaelea*) (Đurović, 1998). Zabeleženo je prisustvo endemskih vrsta *Onychiurus zloti*, *O.trojan*, *Arrhopalites zloti*, kao i najveća kolonija ljiljaka u Srbiji (Ćurčić i sar. 1997; Đurović, 1998; <http://tobor.rs/turisticka-ponuda/lazareva-pecina/>). U Lazarevoj pećini su stanište pronašle 24 od 27 vrsta registrovanih ljiljaka na Balkanu (<http://tobor.rs/turisticka-ponuda/lazareva-pecina/>).

3.1.5. Rajkova pećina

Rajkova pećina (44°44'14,0" N; 21°95'31,0" E) se nalazi na 2,5 km od Majdanpeka, a od Beograda je udaljena oko 200 km (Đurović, 1998). Prema priči meštana, ime je dobila po hajduku Rajku, koji je pećinu koristio kako bi u nju sakrio opljačkano blago (Lazarević, 2004). Pećina je formirana u gornjejurskim sprudnim krečnjacima, ograničenim sa istočne strane kristalastim škriljcima, a sa zapadne senonskim flišem (Lazarević, 2004). Širina krečnjačkog pojasa kreće se do 1200 m. Pećina je nastala radom ponornice, Rajkove reke, u više faza, o čemu svedoče terase očuvane na zidovima kanala (Đurović, 1998).

Pećina je rečna, kroz nju protiče Rajkova reka koja ponire i opet se pojavljuje, spajajući se sa Paskovom rekom i gradeći Mali Pek (Lazarević, 2004). Ukupna dužina svih istraženih kanala iznosi 2304 m. Pećina obiluje krečnjačkim slojevima iznad podzemnog rečnog korita, čija debljina iznosi 40-80 m.

Obzirom da se ne može proći celom dužinom Rajkove pećine (u suvom delu zbog deponovanog bigra i kalcita, u rečnom zbog nanosa) razlikuju se ponorski i izvorski deo pećine. Svaki od njih je dalje podeljen na rečni i suvi horizont. U ponorskom delu se uočavaju skupine pećinskog nakita, masivni stalagmiti od koralnog kalcita i bigra, kao i tanki stalaktiti, dok su u izvorskom delu prisutne najlepše dvorane i pećinske strukture (Slika 8).



Slika 8. Rajkova pećina. A – ispred ulaza u pećinu, B – unutrašnjost pećine.

Izvorski deo, tačnije njegov suvi horizont, je najinteresantniji deo Rajkove pećine. Pećinski nakit je izgrađen od najčistijeg, belog kristalnog kalcita, dok duži deo poda čine kade izgrađene od rumenog kristalnog kalcita i bigra (Lazarević, 2004). Velika galerija koja je duga 60 m, a široka 10 m, odlikuje se prisustvom Džinovskih orgulja, draperijskim stubom visokim 4,5 m. U pećini se (pored mnogih dvorana i ukrasa) ističe Kristalna dvorana, dužine 25 m i širine 17 m, koja se odlikuje prisustvom brojnih stalaktita i stalagmita (Lazarević, 2004). U ovom izvorskom delu pećine se pored kalcita, bigra i crvenice, može uočiti i prisustvo uglja koji je dospao sa površine preko vrtača i ponora (Lazarević, 2004).

Od fosilne faune zabeleženi su pećinski medved (*Ursus spelaeus*), divlja svinja (*Sus scrofa*) i jelen (*Cervus elaphus*) (Đurović, 1998). Rajkova pećina je otvorena za turističke posete od 1975. godine i po svojim speleološkim, ali i hidrološkim karakteristikama spada u red najvećih i najlepših pećina u Srbiji.

3.1.6. Resavska pećina

Resavska pećina se nalazi u istočnoj Srbiji (Slika 9), 15 km od Despotovca (44°04' 22,4" N; 21°37' 47,4" E), u međurečju Resave i Resavice (Đurović, 1998). Ulaz u pećinu se nalazi na nadmorskoj visini od 485 m, u severnom delu kraškog polja Divljakovac. Pećina je otkrivena 1962.

godine, kada ju je lokalni pastir pokazao planinarima iz Svilajнца, nakon čega je detaljno istražena. Smatra se da je stara oko 80 miliona godina, dok se starost nakita procenjuje na oko 45 miliona godina (<http://www.serbia.com/srpski/posetite-srbiju/prirodne-lepote/pecine/resavska-pecina-pogled-u-ledeno-doba/>).



Slika 9. Resavska pećina. A – ispred ulaza u pećinu, B – unutrašnjost pećine.

Ponornica koja se spuštala sa oboda Kučaja i ponirala na Divljakovačko polje je doprinela stvaranju razgranatog sistema Resavske pećine, a usled premeštanja toka ponornice nastala su tri sprata sa sistemima sporednih pećinskih kanala (Đurović, 1998). Ti spratovi su nazvani Gornja, Donja i Treća galerija. Gornja i Donja galerija su uređene za turiste, dok kroz Treću galeriju protiče podzemna reka (<http://www.riznicasrpska.net/riznicasrpska/index.php?topic=36.0>). Pećina je duga 4,5 km, detaljno je istraženo 2830 m, dok je za posetioce uređeno 800 m (<http://www.serbia.com/srpski/posetite-srbiju/prirodne-lepote/pecine/resavska-pecina-pogled-u-ledeno-doba/>).

Ulazna dvorana, do koje dopire dnevno svetlo, je prva koja se može posetiti, a zatim slede Košnica i Kristalna dvorana. Kristalna dvorana je najbogatija pećinskim nakitom koji je izgrađen od belih, crvenih i žutih kristala. Centralna dvorana je visoka preko 35 m i u njoj se nalazi najveći stub Resavske pećine (visine preko 20 m i prečnika oko 12 m). Pećinu krasi mnogobrojni stalaktiti i stalagmiti izgrađeni od belog i crvenog kalcita, kao i pahuljastih kristala aragonita. Boja nakita zavisi od minerala kroz koje protiče voda, pa se razlikuju crveni (potiče od oksida gvožđa), beli (nastaje od kristalnog kalcijuma) i žuti nakit (nastaje od primesa gline) (<http://www.serbia.com/srpski/posetite-srbiju/prirodne-lepote/pecine/resavska-pecina-pogled-u-ledeno-doba/>). U dvorani Predvorje istorije su pronađeni alati, lobanja polarne lisice i ognjište praistorijskog čoveka.

Resavska pećina je stanište nekih endemičnih vrsta zglavkara istočne Srbije, kao što su: stonoga *Bulgarosoma* sp., pauci *Centromersus prope dacicus* i *Porrhomma convexum* (Đurović, 1998). Pećina je otvorena za posetioce od 23. aprila 1972. godine i ujedno je prva uređena pećina u Srbiji (<http://www.riznicasrpska.net/riznicasrpska/index.php?topic=36.0>).

3.2. Merenje ekoloških parametara na istraživanim lokalitetima

Za svaku posećenu pećinu su zabeležene koordinate pomoću telefonske aplikacije GPS coordinates, kao i tačno vreme uzorkovanja.

Na svakoj tački uzorkovanja, izmereni su ekološki parametri. Temperatura (T) i relativna vlažnost vazduha (RV) mereni su aparatom EXTECH Temperature Humidity Meter, dok je Velleman DMV 1300 Luxmeter korišćen za merenje intenziteta svetlosti (IS).

Pomoću metra je beležena udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja. Karakteristike biofilma, kao što su razvijenost i boja, prisustvo prokarnih voda, prisustvo endolitske zajednice, zabeleženi su na svakoj tački uzorkovanja i dokumentovani fotografijama koje su snimljene android telefonom Samsung S6 Active.

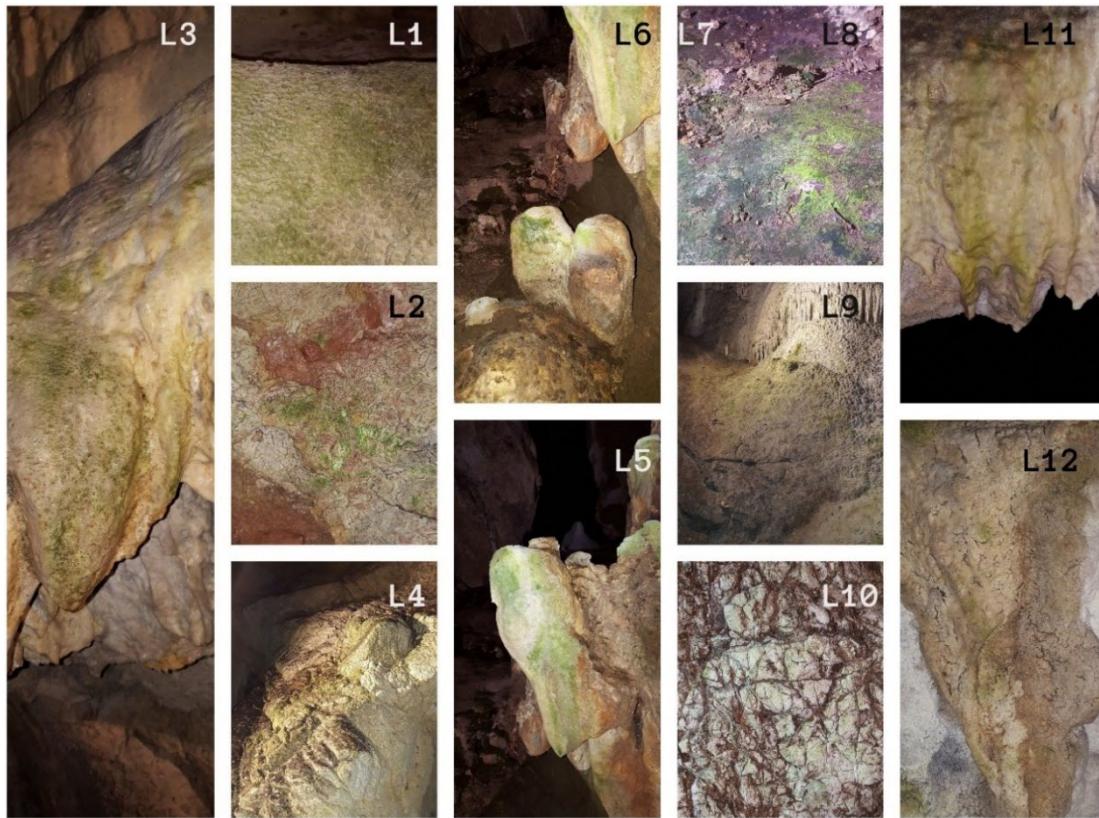
3.3. Dinamika i način uzorkovanja

U svim pećinama uzorci su sakupljeni u proleće, leto i jesen 2017. godine. Ovakva dinamika uzorkovanja je prvobitno vezana za period rada pećina koje su otvorene u određenom delu godine (Lazareva i Potpećka pećina) i u kojima se razlikuju početak, sredina i kraj turističke sezone. Pošto se u ovim pećinama uzorkovanje moralo obaviti u periodu od proleća do jeseni, u istom periodu su posećivane i ostale pećine koje su inače za turiste otvorene tokom cele godine, ali u kojima se najveći broj posetilaca vezuje upravo za proleće, leto i jesen. Za jasniju prezentaciju podataka navodi se da je uzorkovanje vršeno u Sezoni 1 (proleće), Sezoni 2 (leto) i Sezoni 3 (jesen). Pre 2017. godine, uzorci su preliminarno prikupljeni iz Stopića i Potpećke pećine, samo jednom 2016. godine.

U svakoj pećini uzorkovano je sa 7-12 tačaka po sezoni, sa zidova pećine, ređe sa poda i tavanica, što je zavisilo od razvijenosti biofilma/lampenfore.

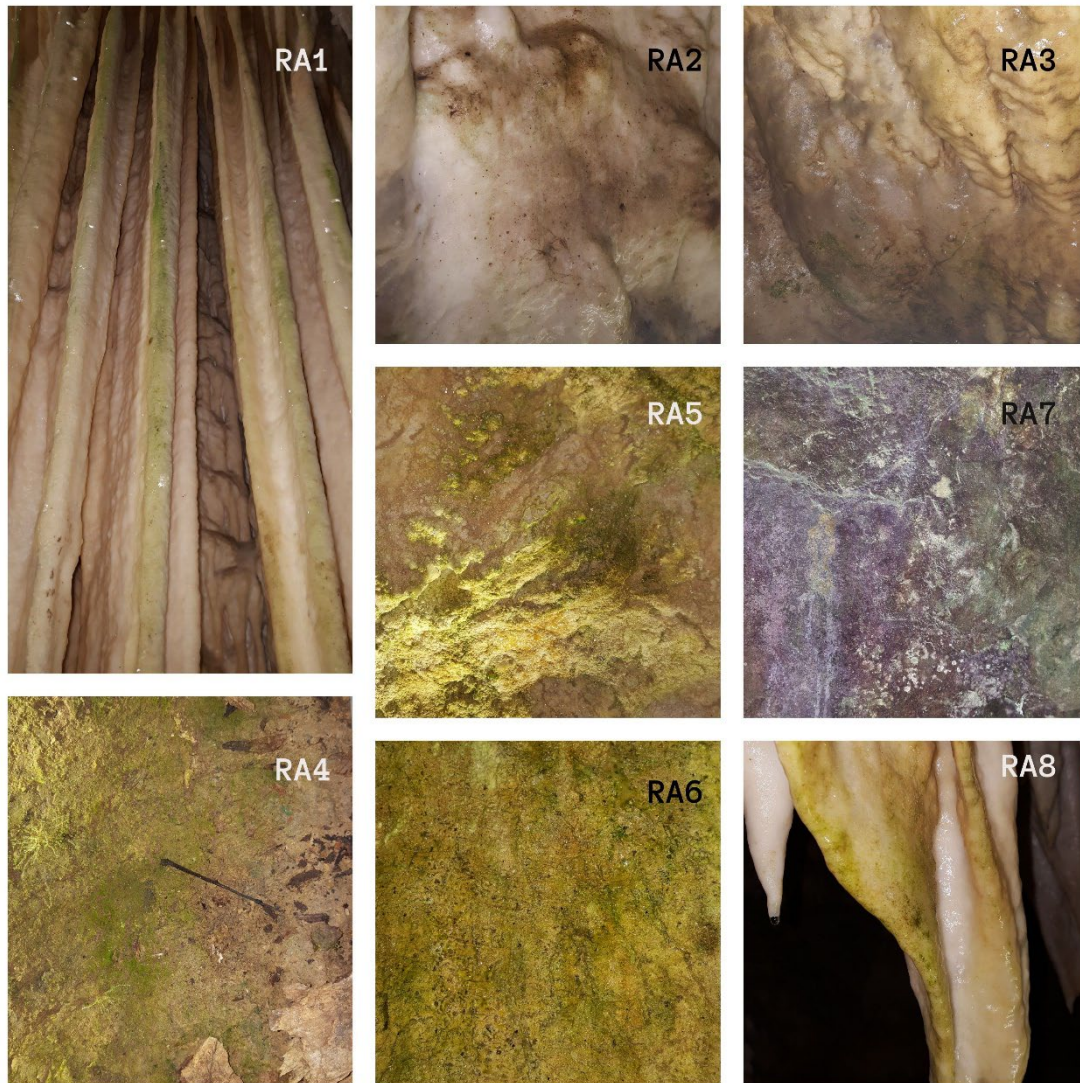
Na Slikama 10 – 15 su prikazane tačke uzorkovanja biofilma u ulaznoj zoni i lampenfore za svaku pećinu pojedinačno.

U Lazarevoj pećini je uzorkovano sa ukupno 12 različitih tačaka (L1-L10 u Sezoni 1, L1-L11 u Sezoni 2 i L1-12 u Sezoni 3) (Slika 10). Na svim tačkama je uzorkovana lampenflora, dok u ulaznoj zoni pećine uzorci nisu uzeti.



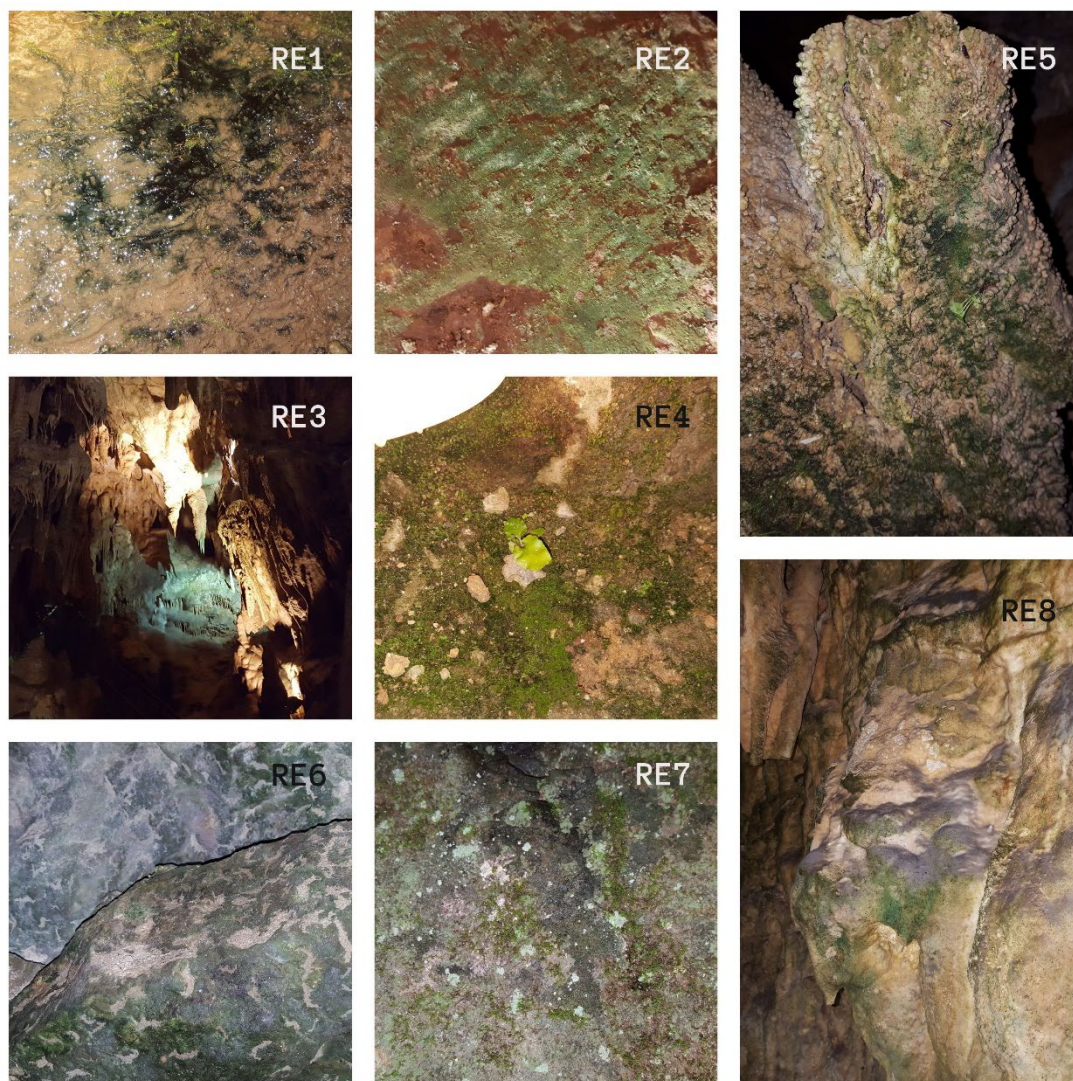
Slika 10. Tačke uzorkovanja u Lazarevoj pećini, 2017. godina.

U Rajkovoju pećini je za uzorkovanje odabrano 8 tačaka (RA1-RA7 u Sezonu 1, RA1-RA8 u Sezonu 2 i Sezonu 3) (Slika 11). Tačka RA7 je mesto uzorkovanja biofilma u ulaznoj zoni, a sa ostalih tačaka sakupljena je lampenflora.



Slika 11. Tačke uzorkovanja u Rajkovoj pećini, 2017. godina.

U Resavskoj pećini je uzorkovano sa ukupno 8 različitih tačaka (RE1-RE7 u Sezoni 1, RE1-RE8 u Sezoni 2 i Sezoni 3) (Slika 12). Na tačkama RE6 i RE7 je sakupljen biofilm u ulaznoj zoni, a na ostalim tačkama lampenflora.



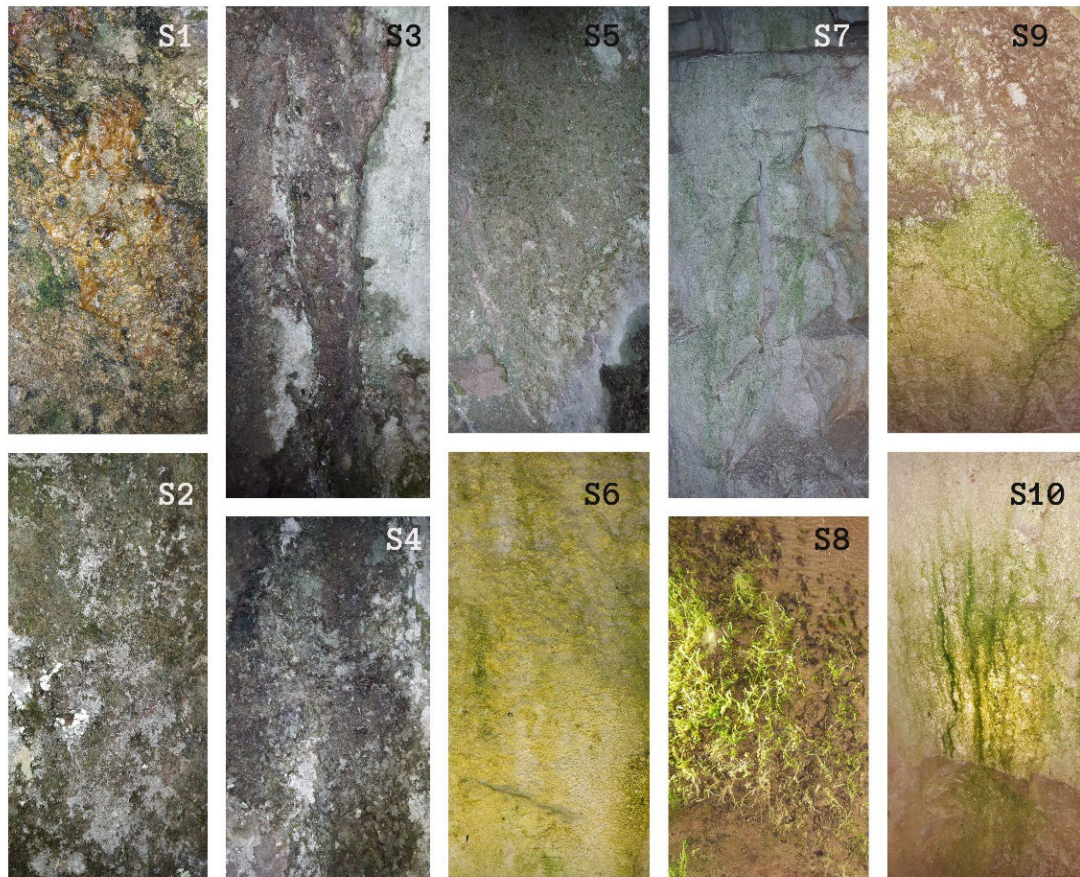
Slika 12. Tačke uzorkovanja u Resavskoj pećini, 2017. godina.

U pećini Risovača je za uzorkovanje odabrano 7 tačaka (RI1-RI7 uzorkovane u svim sezonama) (Slika 13). Biofilm u ulaznoj zoni je sakupljen sa tačaka RI3-RI7, dok je lampenflora uzorkovana sa tačaka RI1 i RI2.



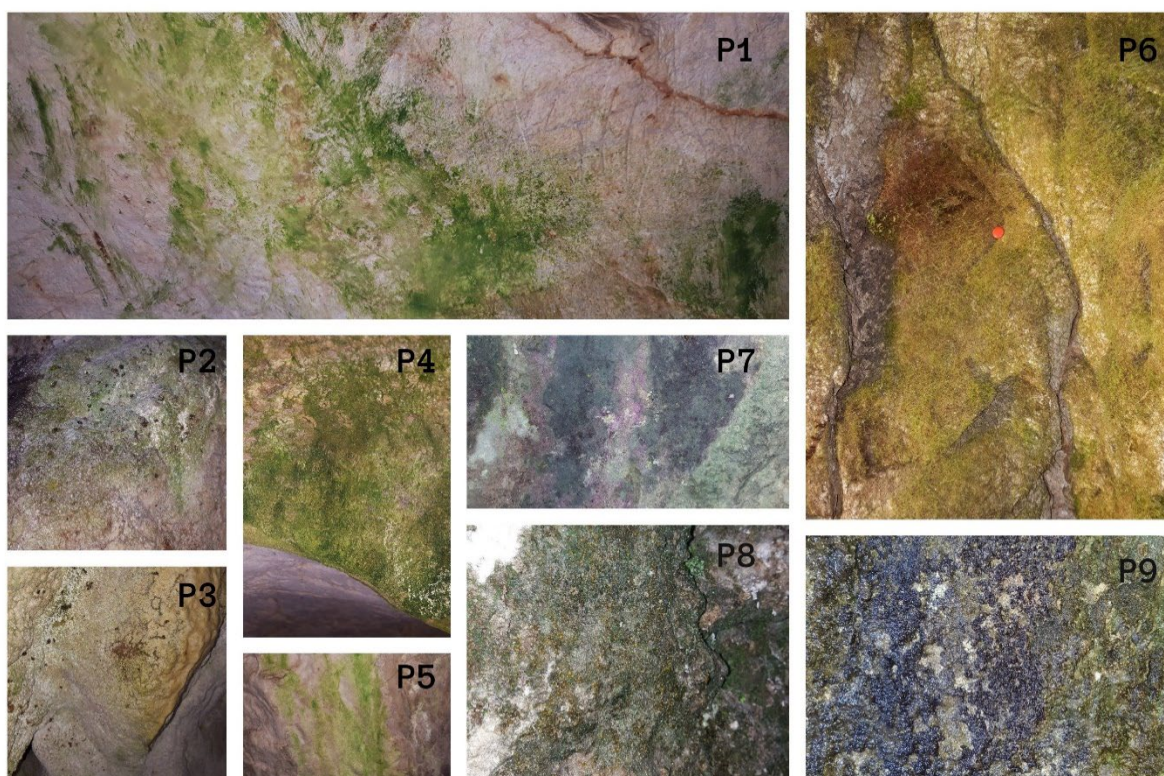
Slika 13. Tačke uzorkovanja u pećini Risovača, 2017. godina.

U Stopića pećini su biofilm u ulaznoj zoni i lampenflora uzorkovani sa ukupno 10 tačaka (S1-S10 uzorkovane u svim sezonama) (Slika 14). Sa tačaka S1- S5 je prikupljen biofilm u ulaznoj zoni, a sa tačaka S6-S10 su uzeti uzorci lampenflore. Tačke uzorkovanja koje se odnose na 2016. godinu predstavljene su u radu Nikolić i sar. (2020).



Slika 14. Tačke uzorkovanja u Stopića pećini, 2017. godina.

U Potpečkoj pećini je odabrano 9 tačaka za sakupljanje biofilma u ulaznoj zoni i lampenflore (P1-P9 uzorkovane u svim sezonama) (Slika 15). Sa tačaka P7-P9 je uzorkovan biofilm u ulaznoj zoni, a sa tačaka P1- P6 su uzeti uzorci lampenflore. Tačke uzorkovanja u 2016. godini predstavljene su u radu Nikolić i sar. (2020).



Slika 15. Tačke uzorkovanja u Potpečkoj pećini, 2017. godina.

Uzorci biofilma i lampenflore su prikupljeni metodom adhezivne trake (Gaylarde i Gaylarde 1998), kao i struganjem skalpelom gde god je to bilo moguće (Popović i sar., 2015).

Metoda adhezivne trake predstavlja nedestruktivnu metodu uzorkovanja (Gaylarde i Gaylarde, 1998; Popović i sar., 2015; Urzi i De Leo, 2001). Adhezivna traka koja je nešto duža od same mikroskopske pločice prislanja se na supstrat na kome se uočava razvijeni biofilm, kako bi se biofilm zalepio za središnji deo trake. Potom se adhezivna traka lepi na prethodno obeleženu mikroskopsku pločicu, koja se pakuje u kutiju do dopremanja u laboratoriju. Kako bi se pločica pripremila za mikroskopiranje, traka se odlepljuje sa pločice, nanosi se kap glicerina, nakon čega se traka vraća. Višak glicerina koji se nakupi na obodima mikroskopske pločice se pokupi vatom natopljenom alkoholom. Tako pripremljen uzorak je spreman za mikroskopiranje.

Skalpel se koristi za direktno uzorkovanje biofilma sa supstrata, pri čemu se pred svako novo uzimanje uzoraka vrh skalpela steriliše alkoholom i plamenom. Biofilm se direktno sakuplja struganjem u sterilnu kesicu koja je prethodno obeležena. Takva kesica se odlaže u još jednu kako bi se uzorak zaštitio i potom se transportuje u laboratoriju za pripremu privremenih i trajnih preparata za kvalitativnu analizu cijanobakterija i eukariotskih algi, kao i za pripremu trajnih preparata silikatnih algi (Popović, 2018).

3.4. Kvantitativna analiza biofilma i lampenflore

Kvantitativna analiza biofilma/lampenflore podrazumeva prikupljanje materijala za određivanje koncentracije hlorofila *a*, ali i udela vode, organske i neorganske materije u uzorcima. Drugim rečima, na mestima gde je bilo moguće i gde je biofilm bio dovoljni razvijeni, uzorci su

prikupljeni sa tačno definisane površine supstrata pomoću okruglog kalupa. Kalup se dobro utiskuje na određenu površinu kako bi ostavio trag, nakon čega se materijal sa obeleženog mesta sakuplja skalpelom direktno u prethodno obeleženu sterilnu kesicu. Uzorkovanje na stenovitom supstratu treba obaviti na način koji neće uzrokovati oštećenje supstrata, a kod uzoraka uzetih sa zemlje ili sedimenta, treba voditi računa da se zahvati samo površinski sloj na kome je biofilm razvijen. Uzorci se potom pakuju, dobro zatvaraju kako bi se sprečilo isparavanje vode i čuvaju u kutiji na hladnom i mračnom mestu do transporta u laboratoriju. Po dolasku u laboratoriju, uzorci za određivanje koncentracije hlorofila *a* i udela vode, organske i neorganske materije se odmah obrađuju.

3.4.1. Određivanje udela vode, organske i neorganske materije u uzorcima biofilma i lampenflore

Uzorci koji su prikupljeni sa određene površine stenovitog supstrata mereni su na analitičkoj vagi Radwag AS220.R2. Izmerena sveža težina biofilma (St) predstavlja zbir sledećih parametara: udela vode (UV), udela organske (UO) i udela neorganske (UN) materije. Kako bi se odredilo koliki je udeo svakog od parametara, uzorci se prvo suše u sušnici, a zatim žare u pećnici. Uzorci su sušeni u sušnici marke Binder na 105 °C tokom 24 časa, čime je eliminisana voda iz uzoraka (Laskri i sar., 2015; Popović i sar., 2017). U osušenom materijalu (B₁₀₅), koji se ponovo meri na analitičkoj vagi, sada se nalaze organska i neorganska komponenta biofilma. Nakon merenja uzorci se žare u pećnici Electron ELP-06 na 550 °C tokom 3 časa, pri čemu se eliminiše organska materija (Laskri i sar., 2015; Popović i sar., 2017). Uzorci žareni u peći (B₅₅₀) sada sadrže samo neorgansku materiju i ponovo se mere na analitičkoj vagi.

Nakon sušenja, žarenja i merenja uzoraka pre i posle svakog postupka, računskim putem se određuju UV, UO i UN. Vrednosti ovih parametara su izraženi kao procentualni udeo u biofilmu.

Procentualni udeo za vodu, organsku i neorgansku komponentu u uzorcima računamo prema sledećim formulama (Popović, 2018):

Udeo vode izražen u procentima:

$$UV(\%) = ((St - B_{105}) * 100) / St$$

(St - B₁₀₅) – udeo vode u biofilmu sa određene površine kalupa

St – sveža težina uzorka biofilma ili lampenflore sa određene površine kalupa

Udeo organske materije izražen u procentima:

$$UO(\%) = ((B_{105} - B_{550}) * 100) / St$$

(B₁₀₅ - B₅₅₀) – udeo organske materije u biofilmu

St – težina svežeg uzorka biofilma ili lampenflore sa određene površine kalupa

Udeo neorganske materije izražen u procentima:

$$UN(\%) = (B_{550} * 100) / St$$

B₅₅₀ – sadržaj neorganske materije u biofilmu ili lampenflori sa određene površine kalupa

St – sveža težina uzorka biofilma ili lampenflore sa određene površine kalupa

3.4.2. Određivanje koncentracije hlorofila *a* u uzorcima biofilma i lampenflore

Prikupljeni uzorci za određivanje koncentracije hlorofila *a* su u laboratoriji prvo mereni na analitičkoj vagi. Nakon završenog merenja, u obeležene staklene čašice se dodalo po 20 ml apsolutnog etanola koji se zagrevao skoro do ključanja. U svaku čašicu sa zagrejanom etanolom se dodao uzorak i homogenizovao staklenim štapićem 3-4 minuta kako bi se ekstrahovao hlorofil *a*. Uzorci su se filtrirali pomoću filtera marke Filtres Fioroni (prečnik filtera 47 mm, poroznost 9 µm) i Sartorius vakuumpumpe. Filtrati su se prebacili u čiste obeležene staklene čašice, nakon čega se na spektrofotometru merila apsorbanca na 665 nm i 750 nm. Potom se uzorci zakiselili dodajući 2 kapi 3M rastvora hlorovododonične kiseline, sačekalo se 15 minuta i ponovo se merila apsorbanca na istim talasnim dužinama. Prema modifikovanoj fitoplanktonskoj formuli Popović (2018), računala se koncentracija hlorofila *a* (P_c), izraženog u mikrogramima po centimetru kvadratnom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) prema sledećoj formuli:

$$P_c = (A - A_a) / K_c \times R / (R - 1) \times (10^3 \times V_e) / (V_s \times d)$$

$A = A_{665} - A_{750}$ – Absorbanca ekstrakta pre zakiseljavanja

$A_a = A_{665a} - A_{750a}$ – Absorbanca ekstrakta posle zakiseljavanja

V_e – Zapremina ekstrakta izražena u mililitrima (ml)

V_s – Masa uzorka izražena u gramima (g)

$K_c = 82 \text{ L}/\mu\text{g} \cdot \text{cm}$ – Specifični operacioni spektralni absorpcioni koeficijent za hlorofil *a*

$R = A/A_a$ – Odnos A/A_a za rastvor čistog hlorofila koji je transformisan u feofitin acidifikacijom

d – Dužina putanje optičke ćelije (širina kivete izražena u centimetrima (cm))

10^3 – Dimenzioni faktor koji odgovara V_e

Na osnovu podataka može se preračunati koliko mikrograma hlorofila *a* ima na površini od 1 cm^2 , čime se dobija podatak o primarnoj produkciji po jedinici površine.

3.5. Kvalitativna analiza i identifikacija cijanobakterija i eukariotskih algi

Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi se zasniva na pripremi privremenih i trajnih mikroskopskih preparata, njihovom pregledu svetlosnim mikroskopom Carl Zeiss AxioImager.M1 i fotografisanju taksona digitalnom kamerom AxioCam MRc5. Za merenje dimenzija svakog zabeleženog taksona je korišćen softverski paket AxioVision 4.8, dok je identifikacija vršena pomoću standardnih identifikacionih ključeva.

3.5.1. Priprema privremenih i trajnih mikroskopskih preparata

Uzorci biofilma i lampenflore koji su do laboratorije transportovani u sterilnim kesicama korišćeni su za pravljenje privremenih i trajnih mikroskopskih preparata. Kod pripreme trajnih preparata, na prethodno obeleženu mikroskopsku pločicu stavljao se delić uzorka biofilma pomoću sterilisane iglice i dodala kap vode kako bi se uzorak rehidrirao. Nakon pet minuta, višak vode pokupljen je papirnom maramicom, a potom se dodala kap glicerina koja se izmešala sa uzorkom. Preko toga je stavljeno pokrovno stakalce koje je potom pritisnuto, a višak glicerina se uklonio vatom natopljenom alkoholom. Ivice pokrovnog stakalca, su bile premazane lakom za nokte. Dobro fiksiran preparat je spreman za mikroskopiranje. Privremeni preparati se pripremaju na isti način kao i trajni, osim što se stakalce nije fiksiralo lakom za nokte. Na taj način je moguće odmah pregledati preparate i dobiti uvid u sastav zajednice fototrofnih mikroorganizama.

3.5.2. Priprema i pravljenje trajnih mikroskopskih preparata silikatnih algi

Priprema trajnih preparata silikatnih algi se obavlja prema metodi koji su opisali Taylor i saradnici (2005). Sav organski materijal iz ćelija silikatnih algi se eliminiše, nakon čega ostaju njihovi silifikovani ćelijski zidovi, na osnovu čijih morfoloških karakteristika i dimenzija se identifikuju taksoni.

Uzorci biofilma su se sterilnom iglicom stavljali u obeležene epruvete, dodalo se 1 ml KMnO_4 , a nakon 24 časa, i 1 ml 37% HCl. Nakon toga, uzorci su se grejali u vodenom kupatilu do 45 minuta ili dok boja uzorka nije postala žućkasta do prozirna. Kada se sadržaj epruveta ohladio, presu se u kivete, dodala se destilovana voda i kivete su se centrifugirale 7 minuta na 2500 obrtaja. Supernatant se odlivo, ponovo se dodala destilovana voda i procedura se ponavila 5 do 6 puta, odnosno dok pH nije dostigao vrednost od 6-7. Pasterovom pipetom su se uzorci (talog) prebacili u endorf tube, nakon čega je bilo moguće praviti trajne mikroskopske preparate.

Za svaki uzorak (talog) silikatnih algi koji se pripremio prethodno opisanom metodom su se pripremila dva pokrovna stakalca na ravnoj površini. Na svako stakalce se dodala kap uzorka i ostatak stakalca ispunio destilovanom vodom kako bi se silikatne alge ravnomerno rasporedile. Tako pripremljena stakalca stoje 24 časa dok voda nije isparila. Na metalnom stočiću se postavile obeležene mikroskopske pločice i na dva mesta dodala, staklenim štapićem, refraktivna smola Naphrax[®]. Špiritusnom lampom se grejela jedna tačka na mikroskopskoj pločici dok se Naphrax[®] nije rastopio, a zatim se stavilo pokrovno stakalce tako da su silikatne alge okrenute ka smoli. Ponovo se pločica zagrejala kako bi se smola dodatno istopila, a potom se stakalce pritisnulo ravnomerno da se istisnuo višak smole. Procedura se ponovila i za drugo pokrovno stakalce. Ovako pripremljeni preparati se ostavljaju da stoje nedelju dana kako bi se smola potpuno osušila i stegla, jer se višak smole oko pokrovnih stakala čisti skalpelom. Nakon toga, uzorci su spremni za mikroskopiranje. Prema standardu SRPS EN 13946:2015 gustina valvi u jednom vidnom polju na uveličanju od 400x treba da bude oko 30. Ukoliko je manja, prave se novi preparati.

U endorf tube se dodala kap glicerina kako bi se pripremljeni uzorci zaštitili od isparavanja. Uzorci i trajni preparati se čuvaju u zbirci na Katedre za algologiju i mikologiju Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

3.5.3. Mikroskopiranje i identifikacija cijanobakterija i eukariotskih algi

Mikroskopiranje uzoraka sakupljenih adhezivnom trakom, privremenih i trajnih preparata obavljeno je pri različitim uveličanjima: 200x, 400x, 640x, 1000x, 1600x, 2500x. Za silikatne alge su korišćena uveličanja 1000x, 1600x, 2500x uz dodavanje imerzionog ulja Zeiss Imerzol. Svi preparati su pregledani po transektima, a za pojedine taksone silikatnih algi je korišćena DIC (Diferencijalna Interferencijalna Kontrast) opcija, kako bi se postigao trodimenzionalni efekat na mikrografijama. Za identifikaciju taksona korišćena je standardna literatura: Buczkó, 2003; Chattova i sar., 2018; Czerwik-Marcinkowska i Mrozińska, 2011; Ettl, 1978, 1980; Ettl i Gärtner, 1988; Falasco i sar., 2014; John i sar., 2003; Komárek i Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2013; Kopalová i sar., 2015; Krammer i Lange-Bertalot, 1985, 1986, 1988, 1991; Krammer, 1997, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot, 2001; Lange-Bertalot i sar., 2017; Levkov i sar., 2013; Lowe i sar., 2014; Reichardt, 2004; Starmach, 1972; Taylor i sar., 2007; Tofilovska, 2014; Werum i Lange-Bertalot, 2004.

Mikrografije taksona se čuvaju u fototeci Katedre za algologiju i mikologiju Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

3.6. Izolovanje zelene alge *Chlorella* sp. iz uzorka lampenflore, kultivacija i njeno tretiranje biocidima

Iz uzorka lampenflore Lazareve pećine izolovana je zelena alga *Chlorella* sp. (dominantan pripadnik lampenflore), nakon čega je u laboratorijskim uslovima ispitan uticaj biocida na nju. Procedura od uzorkovanja i izolacije *Chlorella* sp. do aplikacije biocida je podrazumevala sledeće korake:

- pripremu medijuma na kome će se gajiti alga (BG-11 medijum i Milieu BG-11 medijum),
- odabir mesta sa koga će uzorak lampenflore biti uzet ,
- uzorkovanje lampenflore direktno u epruvetu sa hranljivim medijumom,
- održavanje dominantnog predstavnika lampenflore u kulturi,
- presejavanje alge u cilju dobijanja čiste kulture,
- ravnomerno zasejavanje čiste kulture *Chlorella* sp. u petri šolje radi sprovođenja eksperimenta,
- tretiranje kulture zelene alge odabranim biocidima i
- procenu biocidnog dejstva primenjenih jedinjenja

3.6.1. Priprema hranljivog medijuma za gajenje algi

Za eksperiment su korišćena dva hranljiva medijuma koja su u upotrebi za gajenje algi: BG-11 medijum i Milieu BG-11 medijum. Oba medijuma su u svim fazama eksperimenta korišćena kao čvrsti medijumi za gajenje, što je postignuto dodavanjem agara. Milieu BG-11 medijum je korišćen za zasejavanje i presejavanje alge, jer je primećeno da na njemu *Chlorella* sp. brže dostiže svoj maksimum rasta, dok je za eksperimentalni deo koji je podrazumevao tretiranje biocidima korišćen BG-11 medijum. Oba medijuma su prvenstveno namenjena gajenju cijanobakterija, ali je primećeno da se i zelene alge uspešno razvijaju na njima (Hena i sar., 2015; Borderie i sar., 2011).

Prema Rippka i saradnicima (1979) BG-11 medijum se priprema prema uputstvu koje je dato u Tabeli 1.

Tabela 1. Uputstvo za pripremu BG-11 medijuma.

<i>Jedinjenje</i>	<i>Osnovni rastvor (štok) (g/L)</i>	<i>Količina osnovnih rastvora (štokova) u mililitrima (ml) potrebna za pripremu jednog litra BG-11 medijuma</i>	
$NaNO_3$	150	10	
K_2HPO_4 ili $K_2HPO_4, 3H_2O$	40	1	
$MgSO_4, 7H_2O$	75	1	
$CaCl_2, 2H_2O$	36	1	
<i>Limunska kiselina sa gvožđe amonijum citratom</i>	6 + 6	1	
<i>EDTA (Etilendiaminetetra sirćetna kiselina)</i>	1	1	
Na_2CO_3	20	1	
<i>Trace metal rastvor</i>	H_3BO_3	2,86	
	$MnCl_2, 4H_2O$	1,81	
	$ZnSO_4, 7H_2O$	0,222	
	$NaMoO_4, 5H_2O$	0,390	1
	$CuSO_4, 5H_2O$	0,079	
	$Co(NO_3)_2, 6H_2O$	0,0494	

Prema Stanier i saradnicima, (1971) Milieu BG-11 medijum se priprema prema uputstvu koje je dato u Tabeli 2.

Tabela 2. Uputstvo za pripremu Milieu BG-11 medijuma.

Jedinjenje	Osnovni rastvor (štok) (g/L)	Količina osnovnih rastvora (štokova) u mililitrima (ml) potrebna za pripremu jednog litra BG-11 medijuma
NaNO_3	15	10
K_2HPO_4 ili $\text{K}_2\text{HPO}_4, 3\text{H}_2\text{O}$	0,5241	1
$\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	0,75	1
$\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$	0,36	1
Limunska kiselina sa gvožđe amonijum citratom	0,06 +0,0 6	1
EDTA (Etilendiaminetetra sirćetna kiselina)	0,01	1
Na_2CO_3	0,02	1
H_3BO_3	0,286	
$\text{MnCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}$	0,181	
$\text{ZnSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	0,0222	
$\text{NaMoO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$	0,0390	
Trace metal rastvor	$\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$	1
	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2, 6\text{H}_2\text{O}$	

Osnovni rastvori se pripremaju u zatamnjenim staklenim bočicama zapremine 100 ml, pa se u skladu sa tim preračunava koliko je svake supstance neophodno rastvoriti u cilju pripreme ove zapremine. Tokom pripreme, vodi se računa da se svaka supstanca dobro rastvori. Svi pripremljeni štokovi se čuvaju u frižideru.

Postupak pravljenja BG-11 medijuma i Milieu BG-11 medijuma je isti. Za pravljenje se koristi normalni sud zapremine 1 L. U normalni sud se sipa malo destilovane vode, a zatim se dodaju svi osnovni rastvori u količini prema Tabeli 1 ili Tabeli 2. Normalni sud se zatim dopuni destilovanom vodom do vrha, nakon čega se pH-metrom WTW inoLab pH730 pH podesi na 7,4-7,5.

Deo medijuma se odvaja u epruvete (15 ml po epruveti), a deo u erlenmajere (300 ml po erlenmajeru, ako je zapremina erlenmajera 500 ml). Kako bi dobili čvrst medijum, u epruvete i erlenmajere se dodaje agar, do konačne koncentracije od 1,3% do 1,5%. Epruvete, kao i erlenmajeri, zatvaraju se čepovima napravljenim od vate i gaze, prekrivaju folijom i autoklaviraju 15 minuta, na temperaturi od 121 °C. Nakon vađenja iz autoklava, epruvete se ostavljaju u kosom položaju da se ohlade, kako bi se dobio kosi agar. Ovako pripremljene epruvete se nose na teren gde se *in situ* prikuplja uzorak biofilma/lampenfore za izolaciju i gajenje algi. Nakon autoklavliranja i kratkotrajnog hlađenja medijum se iz erlenmajera u sterilnoj komori izliva u petri šolje, u kojima će se gajiti i presejavati kulture zelene alge, kao i tretirati odabranim biocidima čiste kulture *Chlorella* sp.

3.6.2. Prikupljanje uzorka lampenfore u cilju gajenja algi u kulturi

Epruvete sa čvrstim medijumom koriste se za *in situ* prikupljanje uzoraka algi za gajenje (Aleya i sar., 2011). Epruveta se obeleži, vrh skalpela se sterilise plamenom, a zatim se sa

stenovitog supstrata uzorak sastruže u epruvetu (Slika 16). Epruveta se zatvara već postojećim čepom i aluminijumskom folijom. Kako bi se obezbedila dovoljna količina uzorka za gajenje, uzorkuje se u još jednu do dve epruvete.



Slika 16. Ilustrovani prikaz uzorkovanja i gajenja *Chlorella* sp. A – ilustrativni prikaz struganja uzorka sa stenovitog supstrata, B – izgled kulture na kosom agaru.

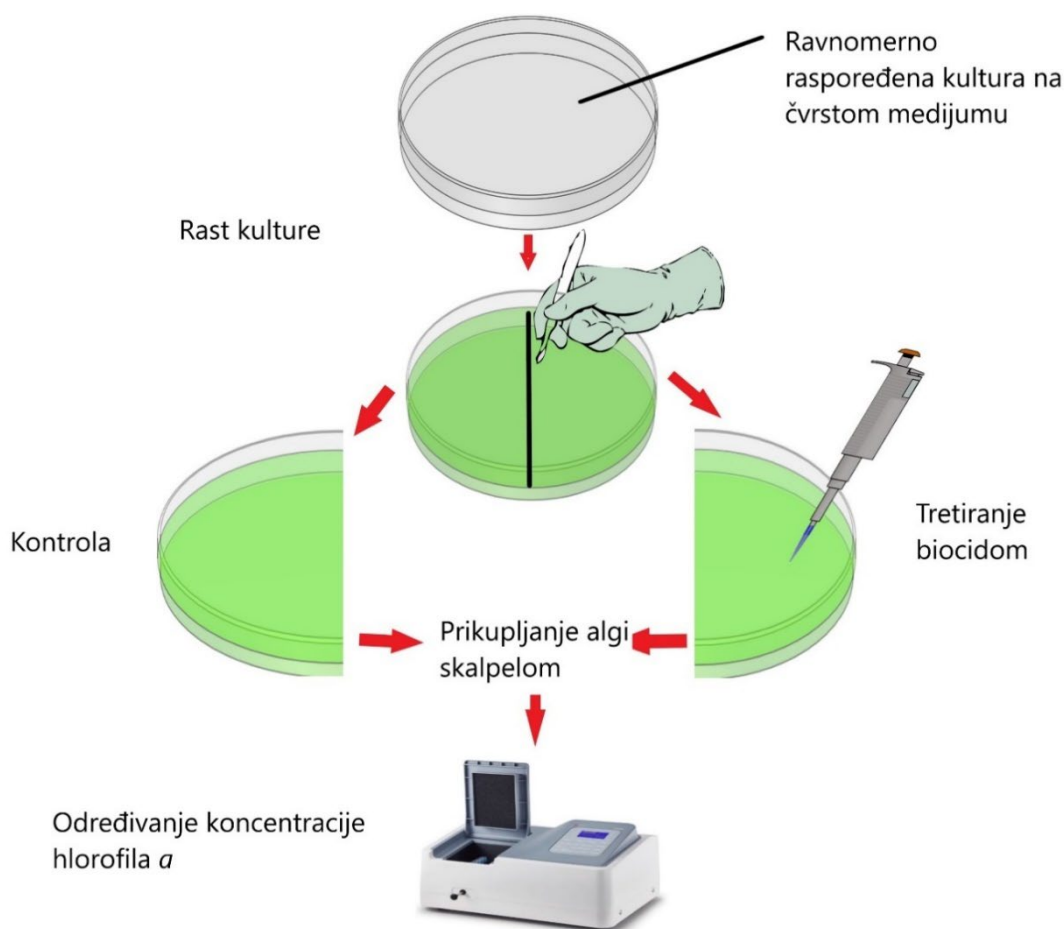
3.6.3. Gajenje predstavnika lampenflore u laboratorijskim uslovima

Nakon dolaska u laboratoriju, epruvete sa kosim agarom i zasejanim uzorkom lampenflore se stavljaju u komoru za gajenje algi u kojoj je temperatura podešena na 21-22 °C, a smena svetla i mraka je na svakih 12 časa. Nakon mesec dana, kada je vidno uočljiv razvoj algi na površini agara u epruvetama, pravi se privremeni preparat kako bi se potvrdilo da li se u kulturi razvija predstavnik koji je dominantan u lampenflori Lazareve pećine (*Chlorella* sp.). Epruvete se za potrebe uzimanja uzorka za mikroskopiranje otvaraju isključivo u sterilnim uslovima. Kako kultura u početku nije potpuno čista, vrši se presejavanje u petri šolje sa čvrstim Milieu BG-11 medijumom. Nakon mesec dana procedura se ponavlja i tako nekoliko puta dok se ne dobije čista kultura *Chlorella* sp., nakon čega se alga presejava na petri šolje sa BG-11 medijumom za eksperimente sa biocidima. U petri šolje koje su namenjene za ekperiment, alga se prenosi sterilisanim skalpelom, a potom sterilisanim staklenim štapićem ravnomerno raspoređuje po površini agara.

3.6.4. Eksperimenti sa odabranim biocidima na zelenoj algi (*Chlorella* sp.)

U laboratorijskim uslovima vršeni su eksperimenti kako bi se procenio uticaj tri različita biocida na izolovanu algu iz lampenflore. Za potrebe eksperimenta korišćeni su 15% rastvor vodonik-peroksida (H₂O₂), rastvor komercijalnog algicida koji sadrži salicilnu kiselinu kao aktivnu supstancu (algicid je namenjen za eliminaciju zelenih algi u slatkovodnim akvarijumima, pa se smatra bezbednim za upotrebu) u koncentraciji 0,1 ml/L i rastvor koji sadrži hlór-dioksid i to u koncentracijama 0,1 ml/L, 0,05 ml/l i 0,01ml/L.

Agar na kome se nalazi razvijena kultura alge deli se sterilisanim skalpelom na dva jednaka dela u svim Petri šoljama koje su neophodne za eksperiment (Slika 17). Jedna polovina predstavlja kontrolu, dok se druga polovina tretira pomenutim biocidima. Sa dela agara koji je predviđen za kontrolu prikupi se alga i odredi se koncentracija hlorofila *a* po prethodno opisanoj metodi, nakon čega se ta polovina agara ukloni iz petri šolje. Druga polovina se tretira biocidom, a koncentracija hlorofila *a* se određuje jedan sat, 3 dana, 7 dana i 10 dana nakon tretiranja biocidom. Za sve se koriste zasebne Petri šolje u kojima su razvijene kulture algi. Za potrebe određivanja efikasnosti biocida nakon 1 sat, 3 dana i 7 dana, biocidom je kultura tretirana svaki dan, dok je za potrebe određivanja efikasnosti biocida nakon 10 dana kultura tretirana svaki drugi dan. Sve se obavlja u digestoru uz upotrebu mantila, maske i rukavica, a radna površina se briše alkoholom pre i posle rada. Na osnovu podataka o koncentraciji hlorofila *a* pre i posle tretiranja, određuje se efikasnost svakog biocida.



Slika 17. Ilustrovani prikaz tretiranja alge u kulturi odabranim biocidima (Slika objavljena u radu Nikolić i sar., 2021).

3.6.4.1. Eksperiment sa vodonik-peroksidom (H_2O_2)

Za eksperiment su korišćene dve zapremine (V_1 - 60 μ L i V_2 - 120 μ L) 15% rastvora vodonik-peroksida (H_2O_2). Koncentracija hlorofila *a* za sve kontrole je izračunata odmah na početku eksperimenta. Efikasnost obe zapremine H_2O_2 u eliminaciji *Chlorella* sp. iz lampenflore je

određivana nakon 1 časa, 3 dana, 7 dana i 10 dana (tretiranje svaki drugi dan) merenjem koncentracija hlorofila *a* nakon tretmana i upoređivanjem sa kontrolnim vrednostima. Eksperiment je rađen u tri replike.

3.6.4.2. Eksperiment sa algicidom

Komercijalni algicid koji je upotrebljen u eksperimentu koristi se za suzbijanje rasta zelenih algi u slatkovodnim akvarijumima i nije toksičan za ostale žive organizme. Algicid je za potrebe eksperimenta pripremljen u koncentraciji od 0,1 ml/L, prema priloženom uputstvu, a primenjen je u zapremini od 250 μ L. Koncentracija hlorofila *a* je merena na početku za svaku kontrolu i 1 časa, 3 dana, 7 dana i 10 dana (tretiranje svaki drugi dan) nakon tretiranja. Eksperiment je rađen u tri replike.

3.6.4.3. Eksperiment sa jedinjenjem na bazi hlora

Rastvor na bazi hlora koji se koristi za dezinfekciju vode a u ovom eksperimentu je testiran na efikasnost suzbijanja rasta alge koja potiče iz lampenflore. Za eksperiment su upotrebljene tri različite koncentracije jedinjenja na bazi hlora: 0,1 ml/L, 0,05 ml/L i 0,01 ml/L, svaka u zapremini od 250 μ L. Kao i kod prethodnih eksperimenata, na početku je određena koncentracija hlorofila *a* iz kontrole, a zatim je alga na drugoj polovini agara tretirana biocidom. Koncentracija hlorofila *a* je nakon tretiranja rastvorom na bazi hlora izmerena posle jednog časa, 3 dana, 7 dana i 10 dana (tretiranje svaki drugi dan). Efikasnost je procenjena na osnovu razlike u vrednostima hlorofila *a*. Eksperiment je rađen u tri replike.

3.7. Konfokalna laserska skenirajuća mikroskopija (CLSM)

CLSM je korišćen za snimanje ćelija *Chlorella* sp. iz kultura koje su tretirane rastvorom na bazi hlora, kako bi se jasnije istakao efekat. Fotografije su napravljene konfokalnim mikroskopom Leica TCS SP5 II (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) uz upotrebu 63x/1.4 imerzionog objektiva. Autofluorescencija hlorofila je izazvana HeNe laserom na 543 nm, dok su emitovane talasne dužine bile u opsegu 590 nm do 790 nm. Brzina skeniranja je bila 400 Hz, a dobijene slike su rezolucije 1024x1024 piksela.

3.8. Obrada podataka

Program Microsoft Excel korišćen je za tabelarno i grafičko prikazivanje rezultata.

Multivarijantne analize, koje su obuhvatile analizu glavnih komponenti – PCA (Principal Component Analysis) i analizu redundantnosti – RDA (eng. Redundancy Analysis) rađene su u softverskom paketu Canoco 5 (ter Braak i Smilauer, 2012).

PCA analiza je korišćena kako bi se prikazali udeo vode, organske i neorganske materije u biofilmu u odnosu na lokalitet (pećinu), mesto uzorkovanja (ulazna zona pećine ili lampenflora) i sezonu uzorkovanja, pri čemu je obuhvatila sve podatke. Dodatno su zasebno analizirani podaci iz lampenflore i podaci iz ulazne zone pećina, ali dijagrami nisu prikazani. Dalje, ista analiza je korišćena da prikaže taksone cijanobakterija i eukariotskih algi grupisane u razdele u odnosu

prethodno pomenute suplementarne varijable – lokalitet (pećinu), mesto uzorkovanja (ulazna zona pećine ili lampenflora) i sezonu uzorkovanja. Analiza je rađena na svim podacima u slučaju prikazivanja razdela fototrofa u odnosu na lokalitet i mesto uzorkovanja, dok su za prikazivanje razdela fototrofa u odnosu na sezonu uzorkovanja izostavljeni podaci iz 2016. godine. Ova poslednja analiza je dodatno urađena zasebno na podacima iz lampenflore i na podacima iz ulazne zone pećine, ali dijagrami nisu prikazani.

Analizom redudantnosti – RDA predstavljeni su taksoni cijanobakterija i eukariotskih algi grupisani u razdele u odnosu na eksplanatorne varijable (temperaturu, relativnu vlažnost vazduha i intenzitet svetla) i suplementarne varijable (udeo vode, organske i neorganske materije u biofilmu).

4. Rezultati

4.1. Vrednosti ekoloških parametara (temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, intenzitet svetlosti)

4.1.2. Vrednosti ekoloških parametara u Lazarevoj pećini

U Lazarevoj pećini, ekološki parametri su tokom sve tri sezone mereni samo na mestima gde je primećen razvoj lampenflore, na ukupno dvanaest tačaka, dok je ulazna zona izostavljena. Vrednosti temperature vazduha, relativne vlažnosti vazduha, intenziteta svetlosti i udaljenost od rasvete prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 3. Lazareva pećina: izmereni ekološki parametri tokom tri sezone (T – temperatura vazduha, RV – relativna vlažnost vazduha, IS – intenzitet svetlosti), Dis – udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja, MU – mesto uzorkovanja, La –lampenflora. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Pećina	Tačka uzorkovanja	MU	Sezona	T (°C)	RV (%)	IS (lux)	Dis (cm)
Lazareva pećina	L1-Sez1*	La	Sezona 1 (Sez 1)	11,6	78	115,2	255
	L2-Sez1*	La		11,6	78	82,7	466
	L3-Sez1*	La		11,3	81	176,2	350
	L4-Sez1*	La		11,1	83	167,5	100
	L5-Sez1*	La		11,2	90	208	600
	L6-Sez1*	La		11,2	90	206	600
	L7-Sez1*	La		11,3	90	1005	150
	L8-Sez1*	La		11,3	90	1575	150
	L9-Sez1*	La		10,9	84	434	50
	L10-Sez1*	La		16	64	283	248
	L1-Sez2*	La	Sezona 2 (Sez 2)	11,7	73	135	210
	L2-Sez2*	La		11,6	76	78	466
	L3-Sez2*	La		11,5	82	169	350
	L4-Sez2*	La		11,8	81	133	100
	L5-Sez2*	La		13,5	71	208	600
	L6-Sez2*	La		13,5	71	206	600
	L7-Sez2*	La		12,8	75	1610	150
	L8-Sez2*	La		12,8	75	1547	150
	L9-Sez2*	La		12,5	74	332	50
	L10 -Sez2*	La		12,4	73	280	300
	L11-Sez2*	La	14,1	68	152	230	
	L1-Sez3*	La	Sezona 3 (Sez 3)	11,6	72	113	210
	L2-Sez3*	La		11,6	72	75	466
	L3-Sez3*	La		11,5	81	178	350
	L4-Sez3*	La		11,8	83	96	100
	L5-Sez3*	La		13,7	90	193	600
	L6-Sez3*	La		13,7	90	196	600
	L7-Sez3*	La		14,9	70	1010	150
	L8-Sez3*	La		14,9	70	990	150
	L9-Sez3*	La		13,3	75	356	50
	L10-Sez3*	La		12,5	64	178	300
	L11-Sez3*	La		13,2	71	152	230
	L12-Sez3*	La		11,9	71	158	300

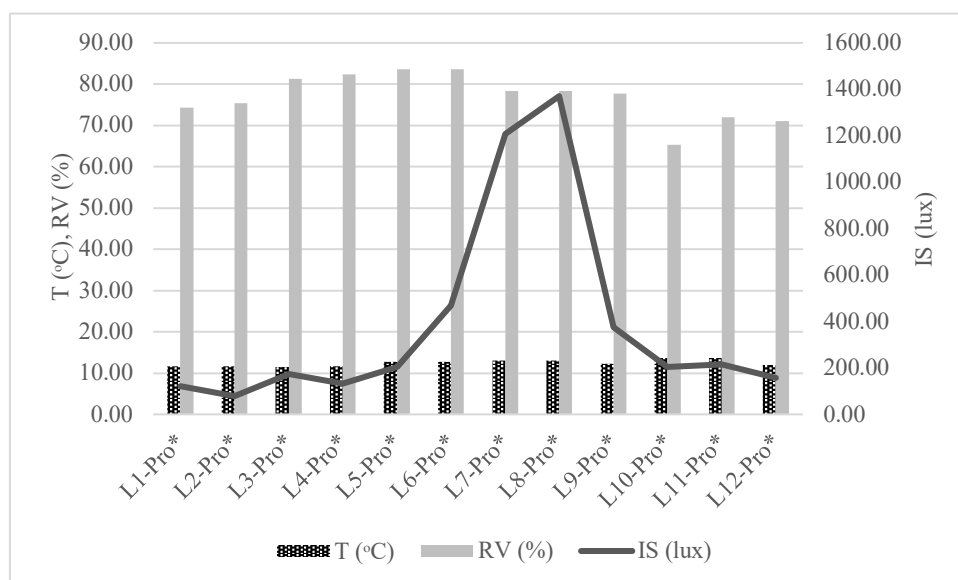
Napomena: Za tačke L1 i L10 udaljenost od veštačkog osvetljenja nije ista kroz sezone usled pomeranja reflektora.

Tokom proleća (Sezona 1) vrednosti temperature vazduha su bile gotovo ujednačene i kretale su se u rasponu od 10,9 °C do 11,6 °C, pri čemu je jedini izuzetak bila tačka L10-Sez1*, gde je temperatura vazduha sa izmerenom vrednošću od 16 °C znato odstupala. Relativna vlažnost vazduha varirala je od 64% do 90%, s tim da je najniža izmerena vrednost zabeležena na tački L10-Sez1*, dok je na četiri tačke vrednost RV bila ista i iznosila je 90%. Što se tiče intenziteta svetlosti, primećena su značajna variranja, od najviše izmerene vrednosti od 1005 lux i 1575 lux na tačkama L7-Sez1* i L8-Sez1*, respektivno, do najmanje izmerene vrednosti na tački L2-Sez1* koja je iznosila 82,7 lux.

Tokom leta (Sezona 2) vrednosti temperature vazduha su se kretale u intervalu od 11,5 °C do 13,5 °C, a nešto više izmerene vrednosti merene su na tački L11-Sez2* (14,1 °C). Relativna vlažnost vazduha je na većini tačaka uglavnom bila ujednačena; na tački L3-Sez2* (gde je ujedno i zabeležena najniža temperatura), izmerena je najviša vrednost od 82%, dok je najniža vrednost od 68% izmerena na tački L11-Sez2*. Kao i kod prvog uzorkovanja, L7-Sez2* i L8-Sez2* se u odnosu na ostale tačke izdvajaju visokim vrednostima intenziteta svetlosti.

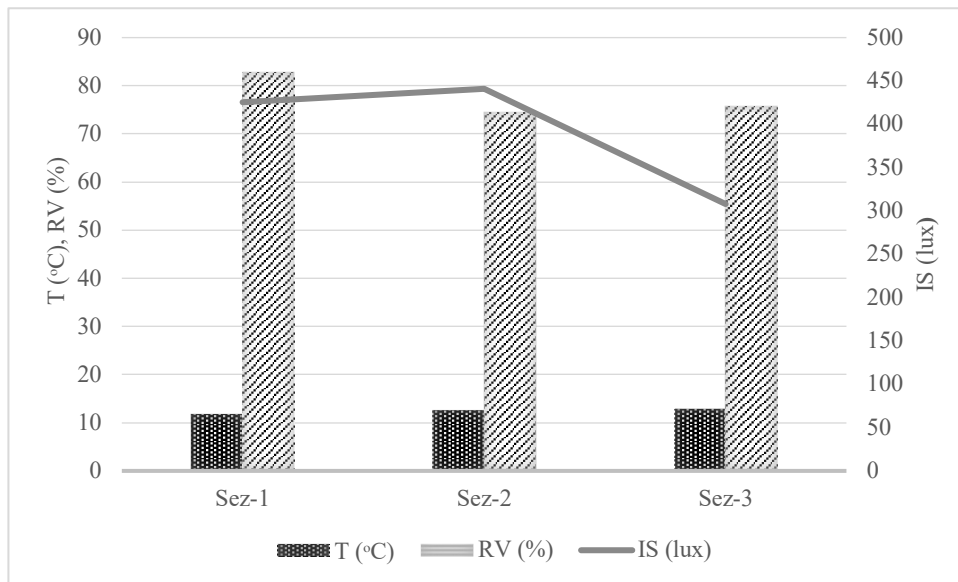
U jesenjem periodu (Sezona 3) vrednosti temperature vazduha su na prve četiri tačke, kao i na L12-Sez3* bile su relativno ujednačene i kretale su se u rasponu od 11-12 °C. Na tačkama L5-Sez3*, L6-Sez3*, L9-Sez3* i L11-Sez3* izmerene su nešto više vrednosti, dok su najviša odstupanja zabeležena na L7-Sez3* i L8-Sez3*, na kojima je vrednost ovog parametra iznosila 14,9 °C. Relativna vlažnost vazduha se kretala od 64% na tački L10-Sez3*, do 90% na tačkama L5-Sez3* i L6-Sez3*. Kao i kod prethodnih poseta pećini, najviše izmerene vrednosti intenziteta svetlosti zabeležene su na tačkama L7-Sez3* i L8-Sez3*, dok je najniža vrednost zabeležena na tački L2-Sez3*.

Na Grafiku 1 prikazane su prosečne vrednosti za sva tri merena parametra (T, RV, IS) na svakoj tački uzimajući u obzir sve tri sezone. Temperatura vazduha se kretala u rasponu od 11,4 °C do 13,65 °C, a relativna vlažnost vazduha od 72% do 83,67%, sa odstupanjem na tački L10-Pro* (65,33%). Prosečan intenzitet svetlosti na većini tačaka nije bio visok, izuzev na L7-Pro* i L8-Pro* sa vrednostima od 1208 lux i 1370 lux.



Grafik 1. Prosečna temperatura vazduha (T), relativna vlažnost vazduha (RV) i intenzitet svetlosti (IS) na svakoj tački u Lazarevoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Na Grafiku 2 prikazane su prosečne vrednosti T, RV, IS po sezonama u Lazarevoj pećini. Kao što se primećuje, prosečna vrednost temperature vazduha blago raste od prve (11,75 °C) ka trećoj sezoni (12,88 °C). Najviša prosečna vrednost relativne vlažnosti vazduha izračunata je u Sezoni 1 (82,8%), a najmanja u Sezoni 2 (74,45%). Intenzitet svetlosti takođe ne pokazuje rastući ili opadajući trend, a najviša prosečna vrednost je zabeležena u Sezoni 2.



Grafik 2. Prikaz srednjih vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) u Lazarevoj pećini izmerenih tokom Sezone 1, Sezone 2 i Sezone 3.

4.1.3. Vrednosti ekoloških parametara u Rajkovojoj pećini

U Rajkovojoj pećini ekološki parametri su izmereni na ukupno 8 tačaka uzimajući u obzir sve tri sezone (Tabela 4). Jedna tačka, kao što je naznačeno u Tabeli 2, nalazi se na samom ulazu u Rajkovu pećinu i pod direktnim je uticajem faktora spoljašnje sredine.

Tabela 4. Rajkova pećina: izmereni ekološki parametri tokom tri sezone (T – temperatura, RV – relativna vlažnost, IS – intenzitet svetlosti), Dis – udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja, MU – mesto uzorkovanja, La – lampenflora, U – ulazna zona pećine.

Pećina	Tačka uzorkovanja	MU	Sezona	T (°C)	RV (%)	IS (lux)	Dis (cm)
Rajkova pećina	RA1-Sez1*	La	Sezona 1 (Sez 1)	9,6	80	90,1	900
	RA2-Sez1*	La		9,3	88	97	30
	RA3-Sez1*	La		9,2	88	5640	50
	RA4-Sez1*	La		9,2	92	346	285
	RA5-Sez1*	La		9,6	78	4590	100
	RA6-Sez1*	La		10,4	84	498	210
	RA7-Sez1	U		11,2	81	24	-
	RA1-Sez2*	La	Sezona 2 (Sez 2)	11	69	87,5	900
	RA2-Sez2*	La		11	69	367	30
	RA3-Sez2*	La		10,9	69	5140	50
	RA4-Sez2*	La		9,9	71	358	285
	RA5-Sez2*	La		9,7	79	2680	100
	RA6-Sez2*	La		11	84	491	210
	RA7-Sez2	U		11,7	84	65	-
	RA8-Sez2*	La	10,6	73	147	130	
	RA1-Sez3*	La	Sezona 3 (Sez 3)	11,3	59	95	900
	RA2-Sez3*	La		10,4	68	349	30
	RA3-Sez3*	La		10,3	70	9390	50
	RA4-Sez3*	La		9,6	73	344	285
	RA5-Sez3*	La		9	80	336	100
	RA6-Sez3*	La		9,4	78	432	210
	RA7-Sez3	U		11,7	80	292	-
	RA8-Sez3*	La	10,4	67	355	130	

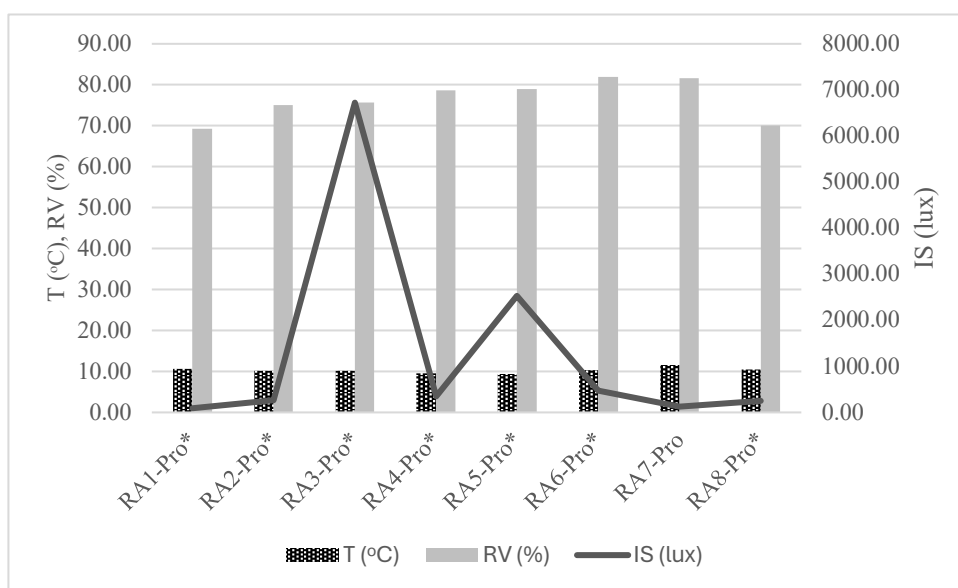
U proleće (Sezona 1), nije bilo značajnijih variranja u vrednostima temperature vazduha (od 9,2 °C do 11,2 °C) uzimajući u obzir sve tačke na kojima je ovaj parametar meren. Najviša vrednost merena je na samom ulazu u pećinu (RA7-Sez1) i iznosila je 11,2 °C. Relativna vlažnost vazduha je takođe bila poprilično ujednačena i kretala se od 80% (RA1-Sez1*) do 92 % (RA4-Sez1*). Vrednosti intenziteta svetlosti kretale su se od 24 lux (RA7-Sez1, ulaz pećine) do 5640 lux na RA3-Sez1*. Visoka vrednost od 4590 lux izmerena je i na RA5-Sez1*.

U letnjem periodu (Sezona 2) temperatura vazduha se kretala u rasponu od 9,7 °C (RA5-Sez2*) do 11,7 °C (RA7-Sez2), dok je relativna vlažnost varirala od 69% do 84%. Najniže vrednosti relativne vlažnosti vazduha su zabeležene na tri tačke sa kojih je uzorkovana lampenflora, a najviše na RA6-Sez2* i RA7-Sez2. Intenzitet svetla i u ovoj sezoni pokazuje variranja, i kreće se od

65 lux (RA7-Sez2) do 5140 lux, pri čemu se najviše vrednosti ovog parametra mere na istim tačkama kao i u Sezoni 1.

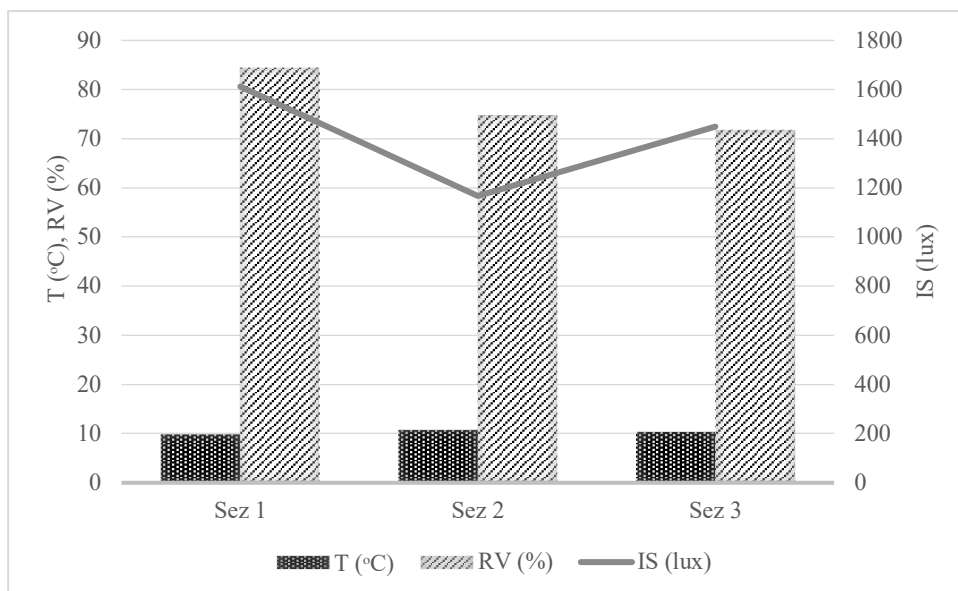
U jesenjem periodu (Sezona 3), takođe nema većih oscilacija u izmerenoj temperaturi vazduha čije su se vrednosti kretale od najniže vrednosti od 9 °C na RA5-Sez3* do najviše vrednosti od 11,7 °C izmerene na ulazu u pećinu. Vrednost relativne vlažnosti vazduha, imajući u vidu sve tačke uzorkovanja, značajnije odstupa na RA1-Sez3* gde iznosi 59%, dok se na ostalim mestima kreće između 60% i 80%. Najviša vrednost intenziteta svetla izmerena je na istom mestu kao i u prethodnim sezonama i iznosila je 9390 lux, dok se na ostalim tačkama kretala između 95 lux i 435 lux.

Na Grafiku 3 su prikazane prosečne vrednosti T, RV i IS po tačkama, uzimajući u obzir sve tri sezone u Rajkovoju pećini. Temperatura vazduha je bila sličnih vrednosti, od najniže na tački RA5-Pro* (9,43 °C), do najviše na tački RA1-Pro* (10,63 °C). Relativna vlažnost vazduha je bila najniža na tački RA1-Pro* (69,33%), a najviša na RA6-Pro* (82%). Prosečne vrednosti intenziteta svetlosti su najviše odstupale na tačkama RA3-Pro* (6723 lux) i RA5-Pro* (2535 lux).



Grafik 3. Prosečna temperatura vazduha (T), relativna vlažnost vazduha (RV) i intenzitet svetlosti (IS) na svakoj tački u Rajkovoju pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Radi poređenja T, RV i IS po sezoni u Rajkovoju pećini, uzete su u obzir njihove prosečne vrednosti (Grafik 4). Prosečna vrednost temperature vazduha nema rastući trend kao u Lazarevoj pećini i najniža vrednost izračunata je u Sezoni 1, a najviša u Sezoni 2 (10,2 °C). Prosečne vrednosti relativne vlažnosti vazduha imaju opadajući trend od Sezone 1 (84,42%) do Sezone 3 (71,87%), dok je prosečna vrednost intenziteta svetla bila najviša u Sezoni 1 (1612,16 lux), a najniža u Sezoni 2.



Grafik 4. Prikaz srednjih vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) u Rajkovojoj pećini izmerenih tokom Sezone 1, Sezone 2 i Sezone 3.

4.1.4. Vrednosti ekoloških parametara u Resavskoj pećini

U Resavskoj pećini ekološki parametri su izmereni na 8 tačaka, uzimajući u obzir sve sezone. Vrednosti temperature vazduha, relativne vlažnosti vazduha i intenziteta svetlosti za svaku tačku, u svakoj sezoni su prikazani u Tabeli 3.

Tabela 5. Resavska pećina: izmereni ekološki parametri tokom tri sezone (T – temperatura, RV – relativna vlažnost, IS – intenzitet svetlosti), Dis – udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja, MU – mesto uzorkovanja, La – lampenflora, U – ulazna zona pećine.

Pećina	Tačka uzorkovanja	MU	Sezona	T (°C)	RV (%)	IS (lux)	Dis (cm)
Resavska pećina	RE1-Sez1*	La	Sezona 1 (Sez 1)	12,6	74	610	22
	RE2-Sez1*	La		11,4	76	420	40
	RE3-Sez1*	La		11,8	74	335	650
	RE4-Sez1*	La		11,9	74	972	10
	RE5-Sez1*	La		10,2	81	445	15
	RE6-Sez1	U		9,9	84	20,5	-
	RE7-Sez1	U		10,3	81	65,6	670
	RE1-Sez2*	La	Sezona 2 (Sez 2)	11	72	265	22
	RE2-Sez2*	La		11	72	655	40
	RE3-Sez2*	La		10,7	76	285	650
	RE4-Sez2*	La		11,2	76	614	10
	RE5-Sez2*	La		10,8	80	465	15
	RE6-Sez2	U		13,4	82	83	-
	RE7-Sez2	U		15,1	72	42	670
	RE8-Sez2*	La		10,8	80	162	170
	RE1-Sez3*	La	Sezona 3 (Sez 3)	9,8	72	538	22
	RE2-Sez3*	La		11	73	472	40
	RE3-Sez3*	La		10,8	75	310	650
	RE4-Sez3*	La		14,3	68	724	10
	RE5-Sez3*	La		12,7	58	1070	15
	RE6-Sez3	U		8,8	58	13,5	-
	RE7-Sez3	U		8,6	56	241	670
	RE8-Sez3*	La		10,5	58	95	170

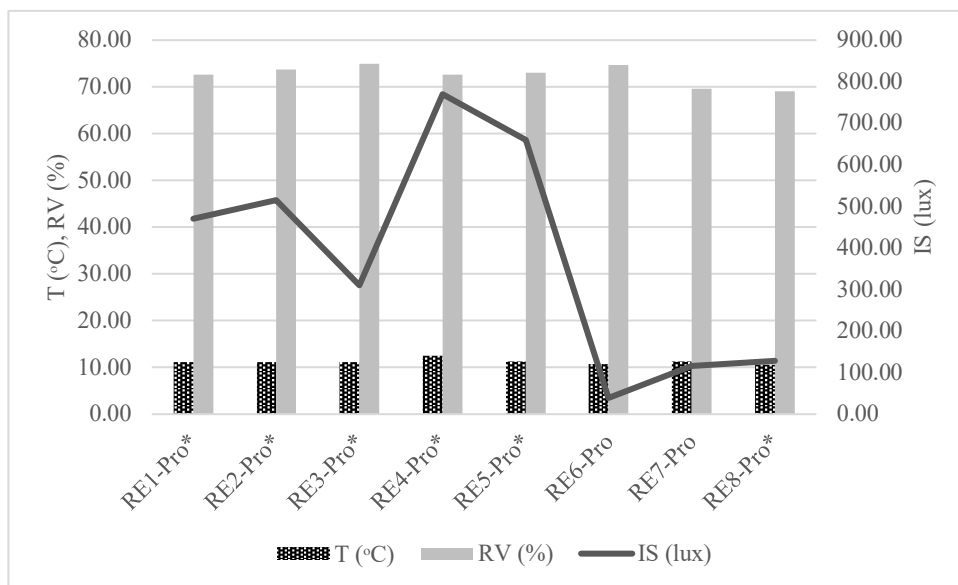
U prolećnom periodu (Sezona 1), temperatura vazduha je na većini tačaka imala vrednosti od oko 11 °C, pri čemu je najviša izmerena vrednost bila na tački RE1-Sez1* (12,6 °C), a najniža na RE6-Sez1 (9,9 °C) koja se nalazi u ulaznoj zoni pećine. Vrednosti relativne vlažnosti vazduha nisu varirale više od 10% (od 74% na RE3-Sez1* i RE4-Sez1* do a 84% na RE6-Sez1). Intenzitet svetlosti nije bio drastično visok ili nizak pri čemu su se vrednosti kretale od 20,5 lux (dnevno svetlo) do 972 lux (veštačko osvetljenje).

U letnjem periodu (Sezona 2), temperatura je u pećini bila gotovo ujednačena, oko 11 °C, a više vrednosti izmerene su na dve tačke u ulaznoj zoni pećine (15,1 °C i 13,4 °C). Vrednosti relativne vlažnosti vazduha kretale su se između 72% i 80%, dok su najveće varijacije zabeležene za intenzitet svetlosti, koji se kretao od 42 lux (ulazna zona pećine) do 655 lux (u unutrašnjosti pećine).

U jesenjem periodu (Sezona 3) najniža temperatura vazduha je izmerena u ulaznoj zoni pećine, na RE6-Sez3 (8,8 °C) i RE7-Sez3 (8,6 °C), gde su ujedno zabeležene najniže vrednost relativne vlažnosti (58% i 56%). Što se tiče najviše zabeležene vrednosti temperature, ona je iznosila 14,3 °C (RE4-Sez3*) i 12,7 °C (RE5-Sez3*), a na ovim tačkama su ujedno izmerene i najviše vrednosti intenziteta svetlosti (724 lux i 1070 lux, redom).

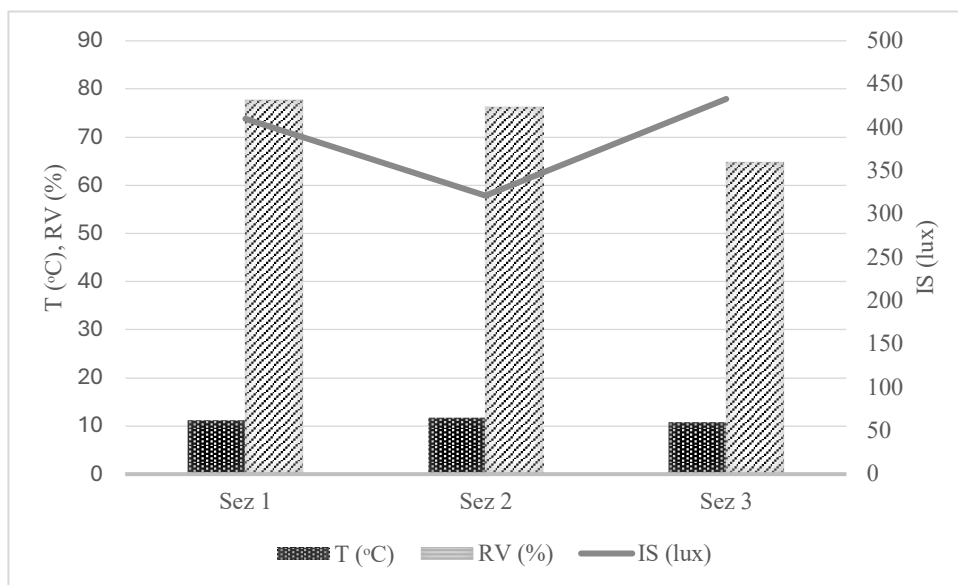
Grafik 5 prikazuje prosečne vrednosti T, RV i IS po svakoj tački, uzimajući u obzir sve tri sezone. Najniža prosečna temperatura vazduha izračunata je za tačku koja se nalazi u ulaznoj zoni pećine (tačka RE6-Pro), a najviša za tačku u unutrašnjosti pećine (tačka RE4-Pro*). Prosečna

relativna vlažnost vazduha je bila gotovo ujednačena kada se sve tačke uzmu u obzir i kretala se u vrednostima od oko 70%, dok je intenzitet svetlosti bio najniži u ulaznoj zoni pećine (tačka RE6-Pro), a najviši na tački RE4-Pro* (gde je i prosečna temperatura bila najviša).



Grafik 5. Prosečna temperatura vazduha (T), relativna vlažnost vazduha (RV) i intenzitet svetlosti (IS) na svakoj merenoj tački u Resavskoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Grafik 6 prikazuje prosečne vrednosti T, RV i IS po sezonama u Resavskoj pećini. Najniža prosečna temperatura vazduha je izračunata u Sezonu 3 (10,81 °C), zajedno sa najnižom relativnom vlažnošću vazduha (64,75%) i najvišim prosečnim intenzitetom svetlosti (432,94 lux). Najviša temperatura (11,75 °C) dovodi se u vezu sa Sezonom 2, a tada je ujedno izračunat i najniži prosečni intenzitet svetlosti koji iznosi 321,38 lux, dok je najviša relativna vlažnost izračunata u Sezonu 1 (77,71%).



Grafik 6. Prikaz srednjih vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) u Resavskoj pećini izmerenih tokom Sezone 1, Sezone 2 i Sezone 3.

4.1.5. Vrednosti ekoloških parametara u pećini Risovača

U pećini Risovača ekološki parametri su mereni u svakoj sezoni na sedam odabranih tačaka. U Tabeli 4 su predstavljene vrednosti za T, RV i IS na svakoj tački u sve tri sezone.

Tabela 6. Risovača pećina: izmereni ekološki parametri tokom tri sezone (T – temperatura, RV – relativna vlažnost, IS – intenzitet svetlosti), Dis – udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja, MU – mesto uzorkovanja, La – lampenflora, U – ulazna zona pećine.

Pećina	Tačka uzorkovanja	MU	Sezona	T (°C)	RV (%)	IS (lux)	Dis (cm)
Pećina Risovača	RI1-Sez1*	La	Sezona 1 (Sez 1)	15,5	68	3,8	95
	RI2-Sez1*	La		15,6	64	1875	15
	RI3-Sez1	U		13,9	74	4,2	-
	RI4-Sez1	U		13,9	74	4,4	-
	RI5-Sez1	U		13,9	80	55	-
	RI6-Sez1	U		13,9	76	8,1	-
	RI7-Sez1	U		14	78	253	-
	RI1-Sez2*	La	Sezona 2 (Sez 2)	14,2	75	1,9	95
	RI2-Sez2*	La		14,2	75	1271	15
	RI3-Sez2	U		19,1	64	46	-
	RI4-Sez2	U		19,1	64	40	-
	RI5-Sez2	U		21,1	60	552	-
	RI6-Sez2	U		21,1	60	321	-
	RI7-Sez2	U		21,1	60	40,1	-
	RI1-Sez3*	La	Sezona 3 (Sez 3)	11,6	70	24	95
	RI2-Sez3*	La		11,7	73	1510	15
	RI3-Sez3	U		11,2	47	8,5	-
	RI4-Sez3	U		11,2	47	4,5	-
	RI5-Sez3	U		9,8	47	28,5	-
	RI6-Sez3	U		9,8	47	23,5	-
	RI7-Sez3	U		9,8	47	4,7	-

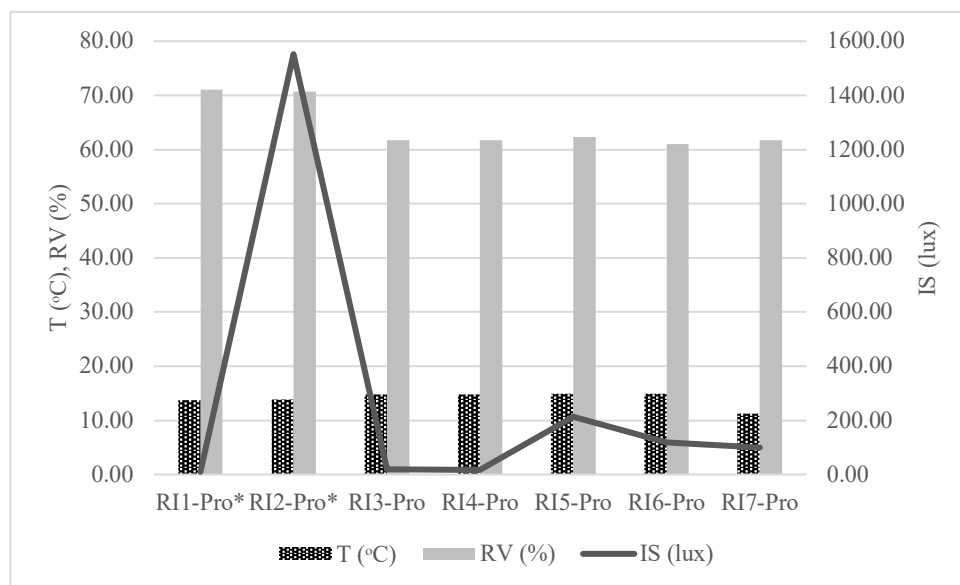
U proleće (Sezona 1), najviša vrednost temperature vazduha je zabeležena na RI2-Sez1* (15,6 °C), ali se nije mnogo razlikovala od one u ulaznoj zoni (13,9 – 14 °C). Najniža relativna vlažnost vazduha izmerena je na istim tačkama na kojima se meri najviša vrednost temperature (RI1-Sez1* i RI2-Sez1*), dok je na ostalim bila relativno sličnih vrednosti. Na tačkama u pećini su zabeležene izuzetne razlike u intenzitetu svetlosti, od 3,8 lux na tački RI1-Sez1*, do 1875 lux na tački RI2-Sez2*. U ulaznoj zoni je primećena relativna uniformnost intenziteta svetlosti, sa većim odstupanjem u slučaju tačke RI7-Sez1 (253 lux).

U letnjem periodu (Sezona 2) situacija je bila obrnuta: najviše vrednosti temperature vazduha su zabeležene u ulaznoj zoni i bile su približnih vrednosti na svim tačkama, dok su u pećini vrednosti ovog parametra bile identične na obe tačke. Vrednosti relativne vlažnosti vazduha su u ulaznoj zoni pećine bile najniže, za razliku od mesta razvoja lampenflore gde je najviša vrednost RV iznosila 75%. Intenzitet svetla je bio varijabilan, sa dve ekstremne vrednosti na mestima

obraslim lampenflorom (1,9 lux i 1271 luxa) koje su ujedno i najniža i najviša vrednost ovog parametra zabeležene u toj sezoni.

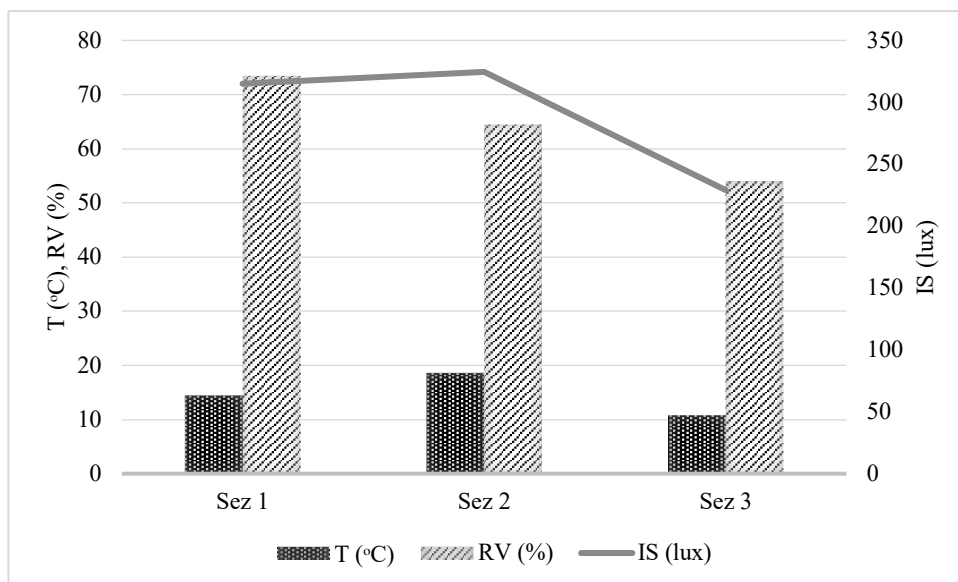
U jesenjem periodu (Sezona 3), vrednosti temperature vazduha su se kretale od 9,8 °C do 11,7 °C. Primećeno je da su na tačkama koje su bliže unutrašnjosti pećine, RI3-Sez3 i RI4-Sez3, temperature sličnih vrednosti onima u samoj unutrašnjosti. Najviša relativna vlažnost vazduha izmerena je u unutrašnjosti pećine, a najniža i identična na svim tačkama u ulaznoj zoni (47%). Intenzitet svetlosti je imao jednu ekstremnu vrednost od 1510 lux na RI2-Sez3*.

Na Grafiku 7 su prikazane prosečne vrednosti T, TV i IS za svaku tačku u pećini Risovača. Temperatura vazduha se na većini tačaka kretala u rasponu od 13 °C do 14 °C, na kojima je ujedno zapažena i niža prosečna relativna vlažnost vazduha (61-70%). Izuzetak je tačka RI7-Pro gde je prosečna temperatura iznosila 11,23 °C. Prosečne vrednosti intenziteta svetlosti kreću se u rasponu od 9,9 lux na RI1-Pro* do 1552 lux na RI2-Pro*.



Grafik 7. Prosečna temperatura vazduha (T), relativna vlažnost vazduha (RV) i intenzitet svetlosti (IS) na svakoj tački u pećini Risovača. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Na Grafiku 8 su predstavljene prosečne vrednosti T, RV, i IS za sve tri sezone u pećini Risovača. U Sezonu 2 prosečna temperatura vazduha je bila najviša, kao i intenzitet svetlosti. Prosečna relativna vlažnost vazduha pokazala je opadajući trend od Sezone 1 (74%) ka Sezonu 3 (54%). Najniža prosečna temperatura vazduha (10,73 °C), prosečna relativna vlažnost vazduha (54%), kao i prosečan intenzitet svetlosti (229,1 lux) su izračunate u Sezonu 3.



Grafik 8. Prikaz srednjih vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) u Risovača pećini izmerenih tokom Sezone 1, Sezone 2 i Sezone 3.

4.1.5. Vrednosti ekoloških parametara u Stopića pećini

Ekološki parametri su preliminarno mereni na šest tačaka u Stopića pećini, samo jednom, prilikom uzorkovanja u julu 2016. godine (podaci su prikazani u radu Nikolić i sar., 2020). Uzorci su prikupljeni sa tri tačke gde je primećen razvoj lampenflore (PS1, PS2, PS3) i sa tri tačke u ulaznoj zoni (PS4*, PS5*, PS6*), radi poređenja. Najviša temperatura vazduha je izmerena na tački PS2 što je ujedno tačka sa najnižom relativnom vlažnošću (54%) i najvišim izmerenim intenzitetom svetlosti (3100 lux). Najviša vrednost relativne vlažnosti vazduha izmerena je u ulaznoj zoni pećine i iznosila je 78% na dve tačke (PS5* i PS6*).

U 2017. godini, ekološki parametri su mereni tokom tri sezone kao i kod prethodnih lokaliteta (Tabela 7). Deset tačaka je odabrano za uzorkovanje, od kojih pet u ulaznoj zoni, a pet u pećini na mestima sa razvijenom lampenflorom.

Tabela 7. Stopića pećina: izmereni ekološki parametri tokom tri sezone 2017. godine (T – temperatura, RV – relativna vlažnost, IS – intenzitet svetlosti), Dis – udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja, MU – mesto uzorkovanja, La – lampenflora, U – ulazna zona pećine.

Pećina	Tačka uzorkovanja	MU	Sezona	T (°C)	RV (%)	IS (lux)	Dis (cm)
Stopića pećina 2017. godina	S1-Sez1	U	Sezona 1 (Sez 1)	15,1	61	321	-
	S2-Sez1	U		15,3	64	415	-
	S3-Sez1	U		14,3	70	51,4	-
	S4-Sez1	U		13,6	74	90,4	-
	S5-Sez1	U		12,6	76	91,7	-
	S6-Sez1*	La		12,6	75	2680	10
	S7-Sez1*	La		12,3	77	17	reflektor ne radi
	S8-Sez1*	La		12	78	5730	20
	S9-Sez1*	La		11,9	80	525	70
	S10-Sez1*	La		11,9	80	528	30
	S1-Sez2	U	Sezona 2 (Sez 2)	21	60	495	-
	S2-Sez2	U		21	60	434	-
	S3-Sez2	U		20,2	65	47	-
	S4-Sez2	U		19,9	66	57,2	-
	S5-Sez2	U		19,4	65	59	-
	S6-Sez2*	La		17,6	73	1570	10
	S7-Sez2*	La		17,3	73	16	reflektor ne radi
	S8-Sez2*	La		17,5	71	1936	20
	S9-Sez2*	La		16,7	70	514	70
	S10-Sez2*	La		16,7	70	836	30
	S1-Sez3	U	Sezona 3 (Sez 3)	5	55	419	-
	S2-Sez3	U		5	55	425	-
	S3-Sez3	U		5,7	51	135	-
	S4-Sez3	U		5,5	57	125	-
	S5-Sez3	U		5,6	51	115	-
	S6-Sez3*	La		6,6	53	2330	10
	S7-Sez3*	La		7,7	51	18	reflektor ne radi
	S8-Sez3*	La		8	54	1320	20
	S9-Sez3*	La		7,1	51	340	70
	S10-Sez3*	La		7,1	53	1067	30

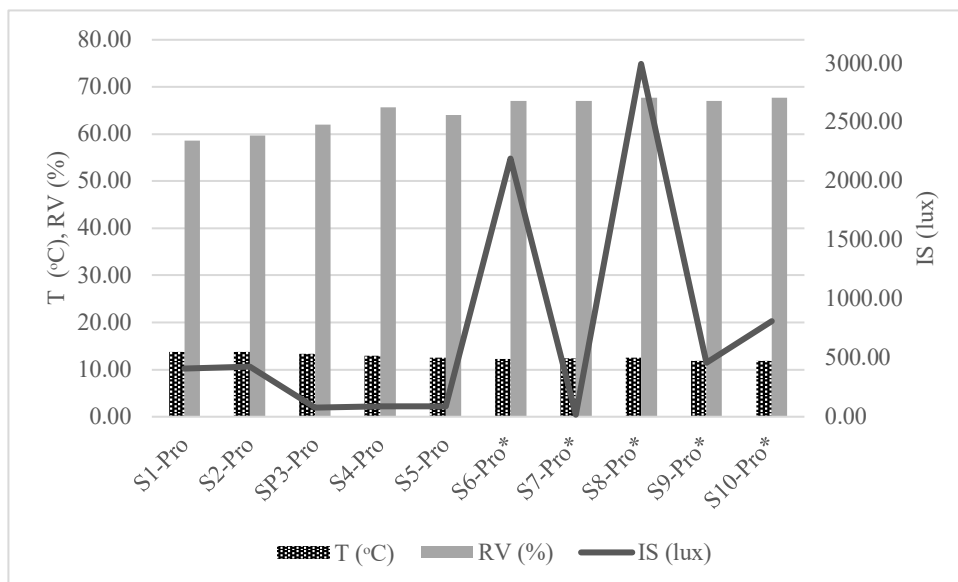
Tokom proleća (Sezona 1), temperatura vazduha se kretala od 11,9 °C (tačke S9-Sez1* i S10-Sez1*), do 15,3 °C (tačka S2-Sez1 u zoni pećinskog ulaza). Relativna vlažnost vazduha se kretala od 61% na tački S1-Sez1, do 80% na S9-Sez1* i S10-Sez1* (ulazna zona pećine). Različite vrednosti intenziteta svetla su merene u zavisnosti od mesta uzorkovanja, a najveći ekstremi su primećeni na S6-Sez1* (2680 lux) i S8-Sez1* (5730 lux).

U letnjem periodu (Sezona 2) temperatura vazduha je svuda bila primetno viša u odnosu na prethodnu sezonu. Najniža izmerena vrednost ovog parametra je iznosila 16,7 °C (S9-Sez2* i S10-Sez2*), a najviša 21°C (S1-Sez2 i S2-Sez2). Relativna vlažnost vazduha se kretala od 60% do 73%, dok su vrednosti intenziteta svetlosti bile varijabilne sa najvišim izmerenim na istim tačkama kao u prethodnoj sezoni, S6-Sez2* i S8-Sez2*.

U jesenjem periodu (Sezona 3) temperatura je bila znatno niža u odnosu na prethodne sezone, kretala se od 5 °C na ulazu do 8 °C u unutrašnjosti pećine. Relativna vlažnost vazduha bila je niska kako na tačkama koje se nalaze u ulaznoj zoni, tako i na tačkama sa kojih su prikupljeni

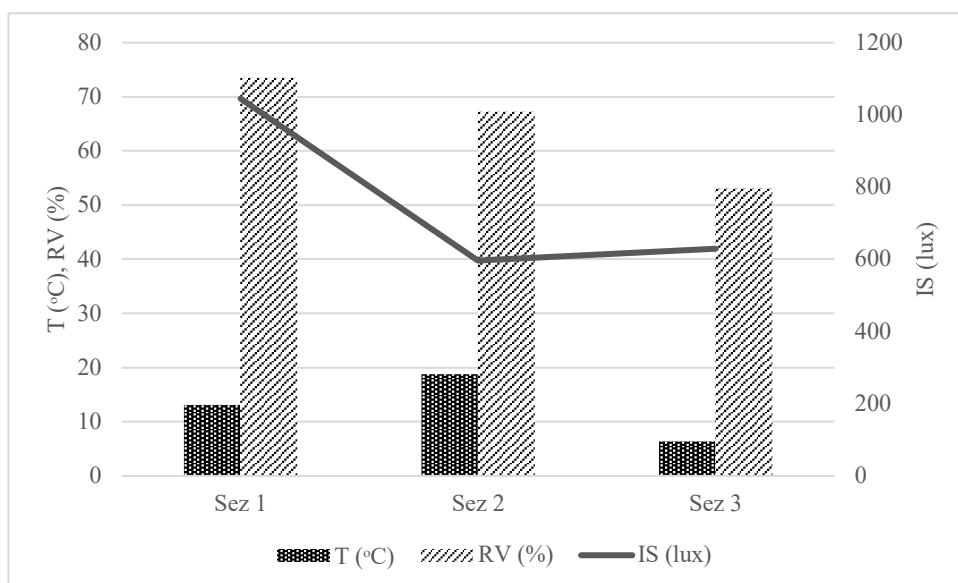
uzorci lampenflore i kretala se od 51% do 57% (S4-Sez3). Intenzitet svetlosti je i dalje imao najviše vrednosti od 2330 lux i 1320 lux na S6-Sez3* i S8-Sez3*.

Na Grafiku 9 su prikazane prosečne vrednosti T, RV i IS po tački, uzimajući u obzir sve tri sezone u 2017. godini. Prosečna temperatura se kretala od 11,90 °C do 13,77 °C. Prosečna relativna vlažnost je bila skoro ista na svim tačkama sa kojih su uzeti uzorci lampenflore (67%), dok su se vrednosti ovog parametra u ulaznoj zoni kretale oko 60%. Prosečne vrednosti intenziteta svetlosti izdvajaju se na tačkama S6-Pro* i S8-Pro* (2193 lux i 2995 lux, redom).



Grafik 9. Prosečna temperatura vazduha (T), relativna vlažnost vazduha (RV) i intenzitet svetlosti (IS) na svakoj tački u Stopića pećini tokom 2017. godine. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Na Grafiku 10 su predstavljene prosečne vrednosti T, RV i IS po sezonama u 2017. godini. Posmatrajući 2017. godinu, najniža prosečna vrednost temperature vazduha vezuje se za Sezonu 3 (6,3 °C), gde je ujedno i najniža prosečna relativna vlažnost vazduha (53,1%). Sezona 2 se karakteriše najvišom temperaturom, (18,73 °C), a Sezona 1 najvišim prosečnim intenzitetom svetlosti (1044,95 lux).



Grafik 10. Prikaz srednjih vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) u Stopića pećini izmerenih tokom Sezone 1, Sezone 2 i Sezone 3 tokom 2017. godine.

4.1.6. Vrednosti ekoloških parametara u Potpećkoj pećini

Ekološki parametri su preliminarno izmereni na pet tačaka u Potpećkoj pećini, samo jednom, u julu 2016. godine (podaci su prikazani u radu Nikolić i sar., 2020). Jedna tačka se nalazila u ulaznoj zoni pećne (PP5), dok se ostale vezuju za lampenfloru (PP1*, PP2*, PP3*, PP4*). Najviša temperatura vazduha izmerena je u ulaznoj zoni (22 °C), dok se u pećini kretala od 15,3 °C do 20,5 °C. Najviša vrednost relativne vlažnosti vazduha merena je u ulaznoj zoni (85%), a najniža na tački PP1* (58%). Intenzitet svetlosti nije bio mnogo visok, niti je pokazao značajnija variranja, a kretao se od 256 lux do 860 lux.

Podaci koji se odnose na uzorkovanje tokom 2017. godine, predstavljeni su u Tabeli 8.

Tabela 8. Potpećka pećina: izmereni ekološki parametri tokom tri sezone 2017. godine (T – temperatura, RV – relativna vlažnost, IS – intenzitet svetlosti), Dis – udaljenost tačke uzorkovanja od veštačkog osvetljenja, MU – mesto uzorkovanja, La – lampenflora, U – ulazna zona pećine.

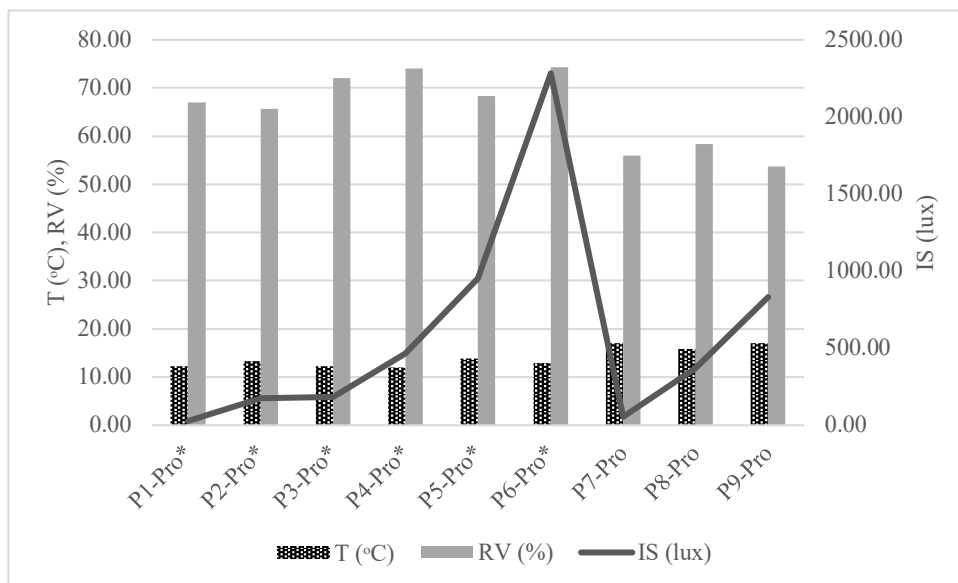
Pećina	Tačka uzorkovanja	MU	Sezona	T (°C)	RV (%)	IS (lux)	Dis (cm)
Potpećka 2017. godina	P1-Sez1*	La	Sezona 1 (Sez 1)	9	71	32	150
	P2-Sez1*	La		13,1	72	192	95
	P3-Sez1*	La		10,9	74	228	170
	P4-Sez1*	La		10,6	77	385	140
	P5-Sez1*	La		13,6	73	1295	135
	P6-Sez1*	La		13,5	74	2550	85
	P7-Sez1	U		13,8	75	69,4	-
	P8-Sez1	U		14,7	70	399	-
	P9-Sez1	U		16,5	65	827	-
	P1-Sez2*	La	Sezona 2 (Sez 2)	13,9	69	21,5	150
	P2-Sez2*	La		13,9	69	158	95
	P3-Sez2*	La		13,8	73	195	170
	P4-Sez2*	La		13,6	81	626	140
	P5-Sez2*	La		16,3	77	826	135
	P6-Sez2*	La		13,9	81	2330	85
	P7-Sez2	U		26,4	45	54,7	-
	P8-Sez2	U		22,1	59	514	-
	P9-Sez2	U		24,1	54	1355	-
	P1-Sez3*	La	Sezona 3 (Sez 3)	13,8	61	29	150
	P2-Sez3*	La		13,1	56	175	95
	P3-Sez3*	La		12	69	132	170
	P4-Sez3*	La		11,7	64	392	140
	P5-Sez3*	La		11,5	55	735	135
	P6-Sez3*	La		11,4	68	1968	85
	P7-Sez3	U		10,7	48	40,2	-
	P8-Sez3	U		10,7	46	198	-
	P9-Sez3	U		10,6	42	310	-

U prolećnom periodu (Sezona 1) temperatura se kretala od 9 °C u pećini do 16 °C u ulaznoj zoni pećine (Tabela 8). Vrednosti relativne vlažnosti vazduha su se kretale oko 70%. Najviša odstupanja u intenzitetu svetlosti su primećena na tačkama P1-Sez 1* (32 lux) i P6-Sez1* (2550 lux).

U letnjem periodu (Sezona 2) zapažene su veće temperaturne razlike između ulazne zone pećine i enterijera gde se razvija lampenflora. Najniža temperatura vazduha je izmerena na tački P4-Sez2 (13,63 °C), a najviša od 24,1 °C u ulaznoj zoni (tačka P7-Sez2). Najniža vrednost relativne vlažnosti vazduha od 45% je zabeležena u ulaznoj zoni (P7-Sez2), dok je najviša izmerena u unutrašnjosti pećine na dve tačke i iznosila je 81%. Intenzitet svetlosti je varirao od 21 lux do 2330 lux (P6-Sez2).

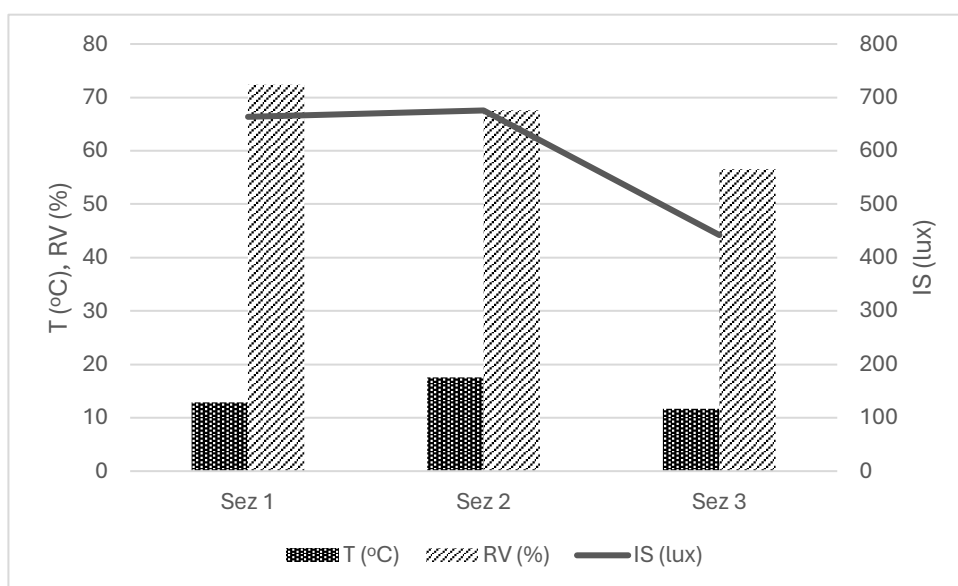
U jesenjem periodu (Sezona 3) temperatura vazduha nije mnogo varirala između različitih tačaka, ali je zabeležena niža relativna vlažnost vazduha u odnosu na prethodne sezone, koja se kretala od 42% do 69%. Najniža i najviša vrednost intenziteta svetla izmerene su na istim tačkama kao u prethodnim sezonama.

Grafik 11 predstavlja prosečne vrednosti T, RV i IS po tačkama u Potpečkoj pećini, uzimajući u obzir sve tri sezone tokom 2017. godine. Najviša prosečna temperatura vazduha se vezuje za tačku P9-Pro koja se nalazi u ulaznoj zoni pećine, a kod koje je ujedno zabeležena i najniža RV vazduha. Najviša RV je izračunata za tačke P4-Pro* i P6-Pro*. Prosečan intenzitet svetla je varirao, a najviši je bio na tački P6-Pro* (2282 lux).



Grafik 11. Prosečna temperatura vazduha (T), relativna vlažnost vazduha (RV) i intenzitet svetlosti (IS) na svakoj tački u Potpečkoj pećini tokom 2017. godine. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

Na Grafiku 12 su predstavljene prosečne vrednosti T, RV i IS po sezonama u Potpečkoj pećini za 2017. godinu. Sezona 2 ima najvišu prosečnu temperaturu vazduha (17,56 °C), dok u Sezoni 3 pomenuti parametar, kao i relativna vlažnost vazduha imaju najnižu vrednost (11,72 °C i 56%). Prosečan intenzitet svetlosti je bio najniži u Sezoni 3, a sličnih vrednosti između Sezone 1 i Sezone 2.

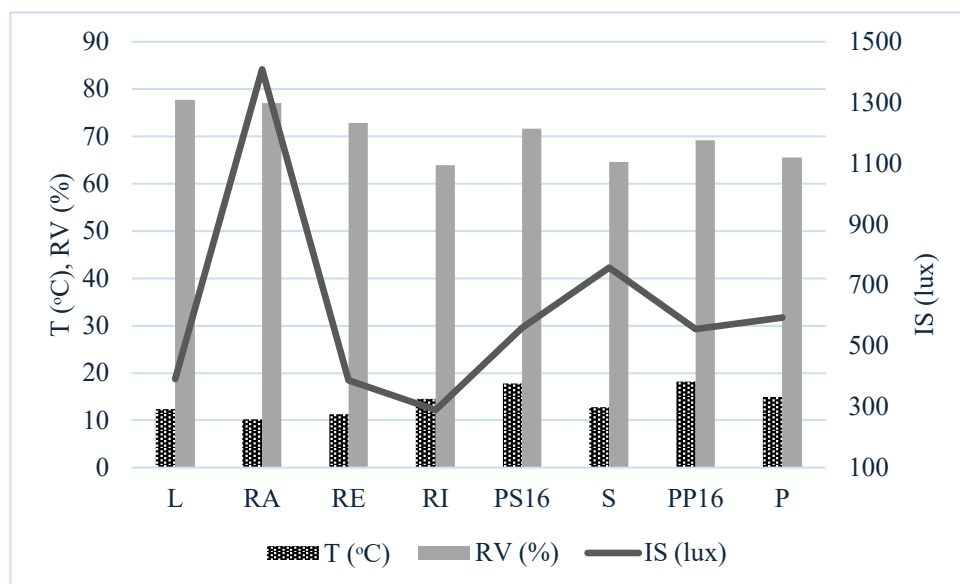


Grafik 12. Prikaz srednjih vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) u Potpečkoj pećini izmerenih tokom Sezone 1, Sezone 2 i Sezone 3 tokom 2017 godine.

4.1.7. Poređenje ekoloških parametara između lokaliteta

Grafik 13 prikazuje prosečne vrednosti T, RV i IS za svaki lokalitet u 2017. godini. prikazujući zasebno rezultate iz 2016. godine za Stopića i Potpečku pećinu.

Na osnovu podataka sa svih tačaka uzorkovanja 2017.godine, najniža temperatura vazduha vezuje se za Rajkovu i Resavsku pećinu, a najviša za Potpečku. Treba napomenuti da su prosečne vrednosti temperature takođe bile visoke u Stopića i Potpečkoj pećini 2016. godine. Više vrednosti relativne vlažnosti vazduha zabeležene su u Lazarevoj i Rajkovojoj pećini, a najniže u Risovači i Stopića pećini. U Rajkovojoj pećini su merene najviše prosečne vrednosti intenziteta svetla.



Grafik 13. Prosečne vrednosti temperature vazduha (T), relativne vlažnosti vazduha (RV) i intenziteta svetlosti (IS) na svim lokalitetima. L – Lazareva pećina, RA – Rajkova pećina, RE – Resavska pećina, RI – pećina Risovača, S – Stopića pećina 2017.godina, godina, P – Potpečka pećina 2017. godina, PS16 – preliminarno Stopića pećina 2016. godina, PP16 – preliminarno Potpečka pećina 2016. godina (podaci objavljeni u radu Nikolić i sar., 2020).

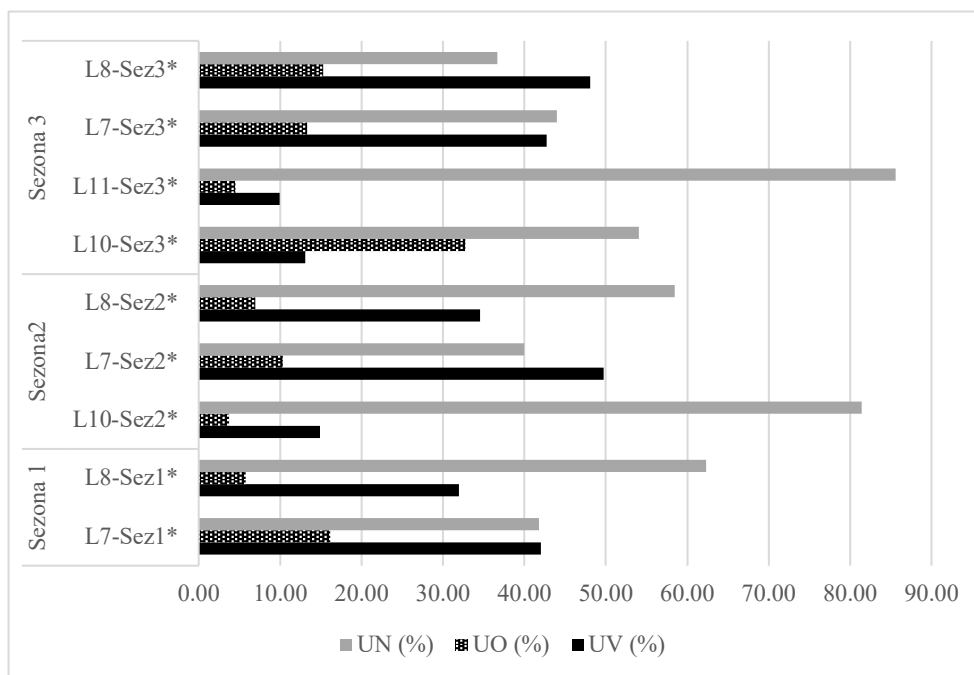
4.2. Udeo vode, organske i neorganske materije

Udeo vode (UV), organske (UO) i neorganske materije (UN) određeni su za ona mesta uzorkovanja kod kojih je biofilm bio dovoljno razvijen kako bi se mogao prikupiti za analize i predstavljeni su kao procentualni udeo u biofilmu (%). U okviru svakog lokaliteta, broj tačaka se razlikovao od sezone do sezone. Obično se broj lokaliteta sa koga je bilo moguće uzorkovati biofilm u ove svrhe povećavao od Sezone 1 do Sezone 3, ali nekada to nije bio slučaj, i nije bilo

moguće prikupiti iste uzorke tokom sve tri sezone ili prikupiti više uzoraka u Sezoni 3 zbog promene sredinskih uslova. Rezultati su za svaki lokalitet posebno predstavljeni.

4.2.1. Udeo vode, organske i neorganske materije u Lazarevoj pećini

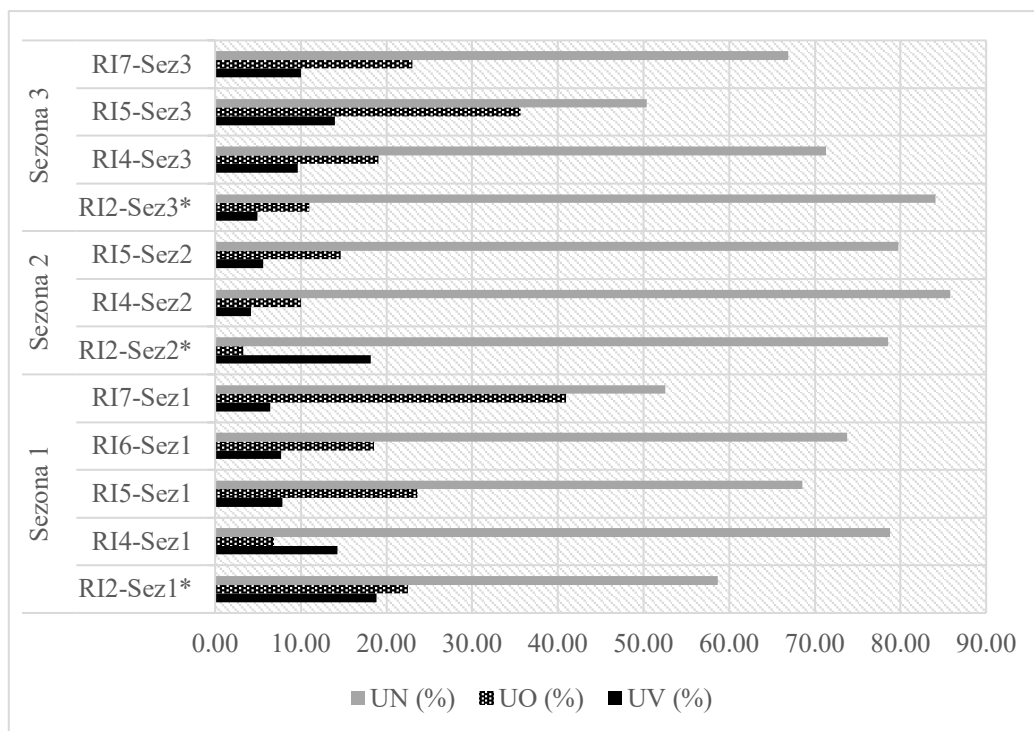
Radi potrebe određivanja udela vode, organske i neorganske materije, u Lazarevoj pećini je prikupljeno najviše četiri uzorka po sezoni (Grafik 14). U većini analiziranih uzoraka biofilma ističu se više vrednosti udela neorganske materije koja najviše vrednosti ima na L11-Sez3* (85,57%) i vode čiji procentualni udeo u većini uzoraka prelazi 30%. Udeo organske materije je najviši u biofilmu na L10-Sez3* (32,79%), a u svim ostalim uzorcima ne prelazi vrednost od 20%.



Grafik 14. Udeo vode (UV), udeo organske (UO) i udeo neorganske (UN) materije izraženi u procentima (%) po tačkama u Sezoni 1 (Sez1), Sezoni 2 (Sez2) i Sezoni 3 (Sez3) u Lazarevoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

4.2.2. Udeo vode, organske i neorganske materije u pećini Risovača

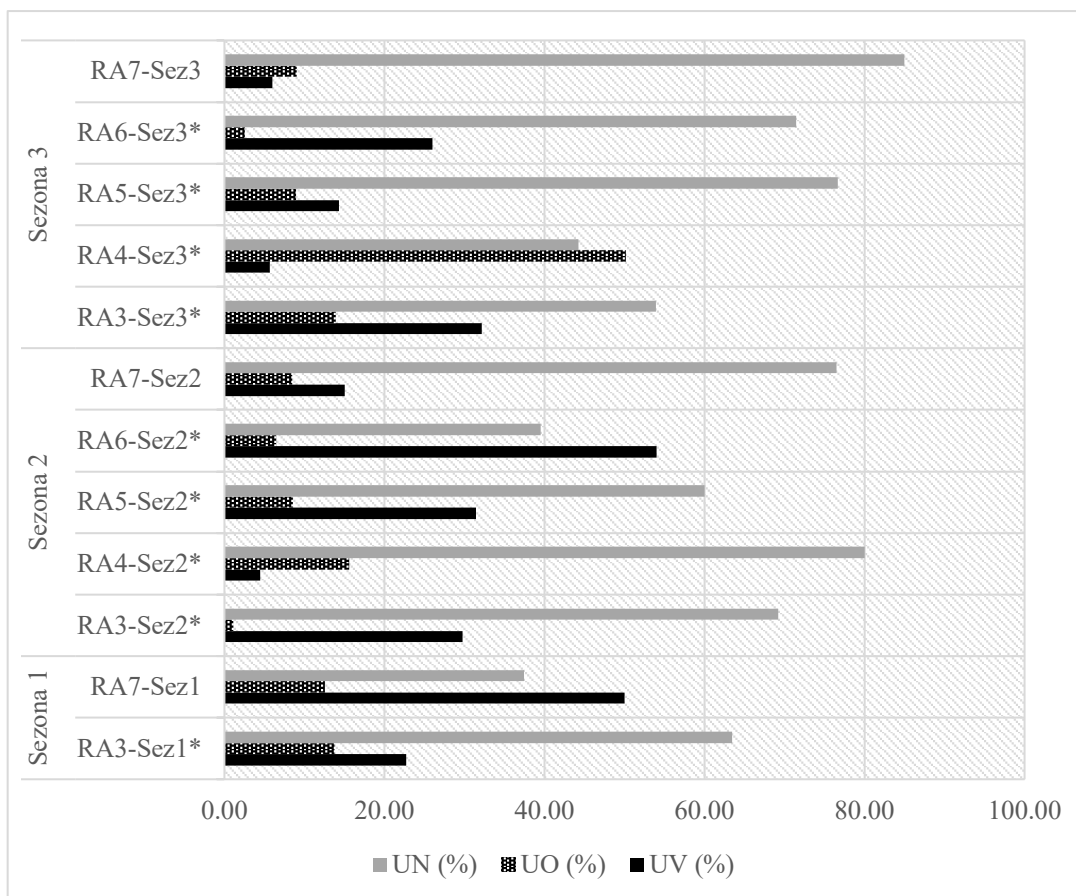
U pećini Risovača prikupljeno je najviše pet uzoraka po sezoni radi potrebe određivanja udela vode, organske i neorganske materije (Grafik 15). Uočavamo da u svim uzorcima biofilma dominira neorganska komponenta. Udeo organske materije se kreće oko 40%, dok je udeo vode niži u odnosu na ostale UN i UO i ne prelazi 20%. U uzorku lampenfore na tački RI2* (jedino mesto uzorkovanja koje se odnosi na lampenfloru) najviši sadržaj organske materije određen je u Sezoni 1, a potom u Sezoni 2. Što se tiče tačaka u ulaznoj zoni pećine, ne postoji jasan trend, ali se primećuje da biofilm na RI4 i RI5 (koji je uzorkovan kroz sve tri sezone) najviši sadržaj neorganske materije tačka RI4 ima u Sezoni 2, dok tačka RI5 ima najviši udeo organske materije u Sezoni 3.



Grafik 15. Udeo vode (UV), udeo organske (UO) i udeo neorganske (UN) materije izraženi u procentima (%) po tačkama u Sezonu 1 (Sez1), Sezonu 2 (Sez2) i Sezonu 3 (Sez3) u pećini Risovača. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.2.3. Udeo vode, organske i neorganske materije u Rajkovoju pećini

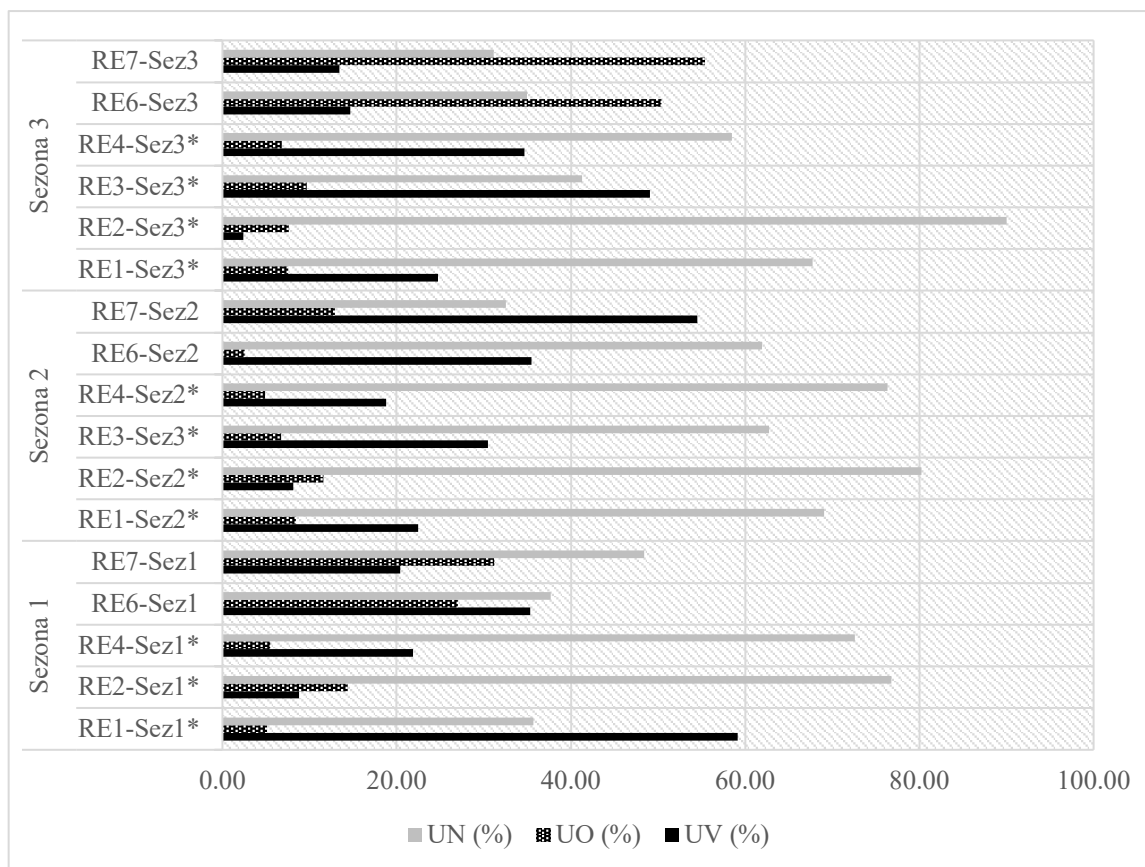
U Rajkovoju pećini, za potrebe analiza udela vode, organske i neorganske materije, prikupljeni su uzorci sa najviše pet tačaka po sezoni. Kao i kod prethodnih lokaliteta i u Rajkovoju pećini (Grafik 16) je primećeno je da u uzorcima biofilma pretežno dominira neorganska komponenta. Na nekoliko tačaka udeo neorganske materije je imao vrednosti od oko 80%. U mnogim uzorcima se ističe i viši udeo vode u odnosu na organsku materiju, dok udeo organske materije ne prelazi 20%, osim u uzorku RA4-Sez3* gde ima vrednost 50%. Kod uzoraka lampenflore sa tačke RA3*, koji su uzorkovani kroz sve tri sezone može se reći da je najveća vrednost organske materije izmerena u Sezonu 3.



Grafik 16. Udeo vode (UV), udeo organske (UO) i udeo neorganske (UN) materije izraženi u procentima (%) po tačkama u Sezonu 1 (Sez1), Sezonu 2 (Sez2) i Sezonu 3 (Sez3) u Rajkovoju pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.2.4. Udeo vode, organske i neorganske materije u Resavskoj pećini

U Resavskoj pećini je radi određivanja udela vode, organske i neorganske materije uzorkovano sa maksimum šest uzoraka. Visoke vrednosti udela neorganske materije u većini uzoraka zabeležene su i u ovoj pećini (Grafik 17), pri čemu je najviša vrednost od oko 90% zabeležena na RE2-Sez3*. Udeo vode je u nekoliko uzoraka bio viši od 30%, a najviša vrednost od 59% je zabeležena na RE1-Sez1*. Udeo organske materije se po višim vrednostima ističe na tačkama RE6 i RE7 u Sezonu 3, gde na RE7-Sez3 ima i najvišu zabeleženu vrednost od 55%. Što se tiče uzoraka lampenfore, ne postoji jasan trend u dinamici organske materije kroz sezone, dok kod RE3* postoji trend rasta organske materije od Sezone 2 ka Sezonu 3.



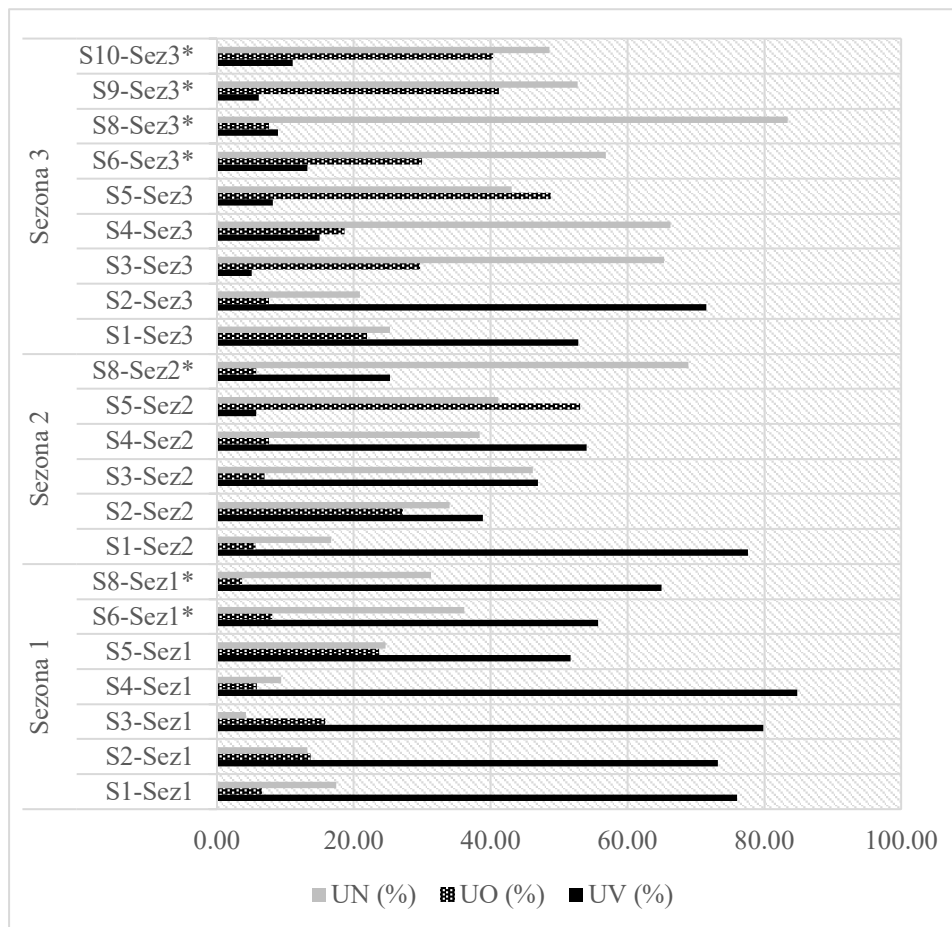
Grafik 17. Udeo vode (UV), udeo organske (UO) i udeo neorganske (UN) materije izraženi u procentima (%) po tačkama u Sezonu 1 (Sez1), Sezonu 2 (Sez2) i Sezonu 3 (Sez3) u Resavskoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.2.5. Udeo vode, organske i neorganske materije u Stopića pećini

U Stopića pećini preliminarno uzorkovanje je izvršeno 2016. godine (podaci su objavljeni u radu Nikolić i sar., 2020), kada je prikupljeno ukupno šest uzoraka za određivanje udela vode, organske i neorganske materije, dok je 2017. godine prikupljeno najviše devet uzoraka po sezoni (Grafik 18).

U uzorcima iz Stopića pećine uzetim tokom 2016. godine zabeležen je viši udeo vode u uzorcima biofilma sa ulazne zone pećine, a visok udeo neorganske materije u uzorcima lampenflore. Najviša vrednost udela organske materije zabeležena je u uzorku lampenflore (Nikolić i sar., 2020).

U mnogim uzorcima biofilma u Stopića pećini koji su uzorkovani tokom 2017. godine, zapaža se visok procentualni udeo vode, što se apsolutno odnosi na sve tačke u Sezonu 1, ali i na neke tačke u Sezonama 2 i 3. Najviša vrednost ovog parametra od 84,79% zabeležena je na S4-Sez1. Više vrednosti udela neorganske materije se takođe ističu u uzorcima, što se posebno odnosi na Sezonu 3 kada je najviša vrednost od 83,41% zabeležena na S8-Sez3*. Najviša vrednost udela organske materije zabeležena je na S5-Sez2, ali se više vrednosti ovog parametra uopšteno zapažaju na mnogim tačkama u Sezonu 3, što se posebno odnosi na pojedine uzorke lampenflore.



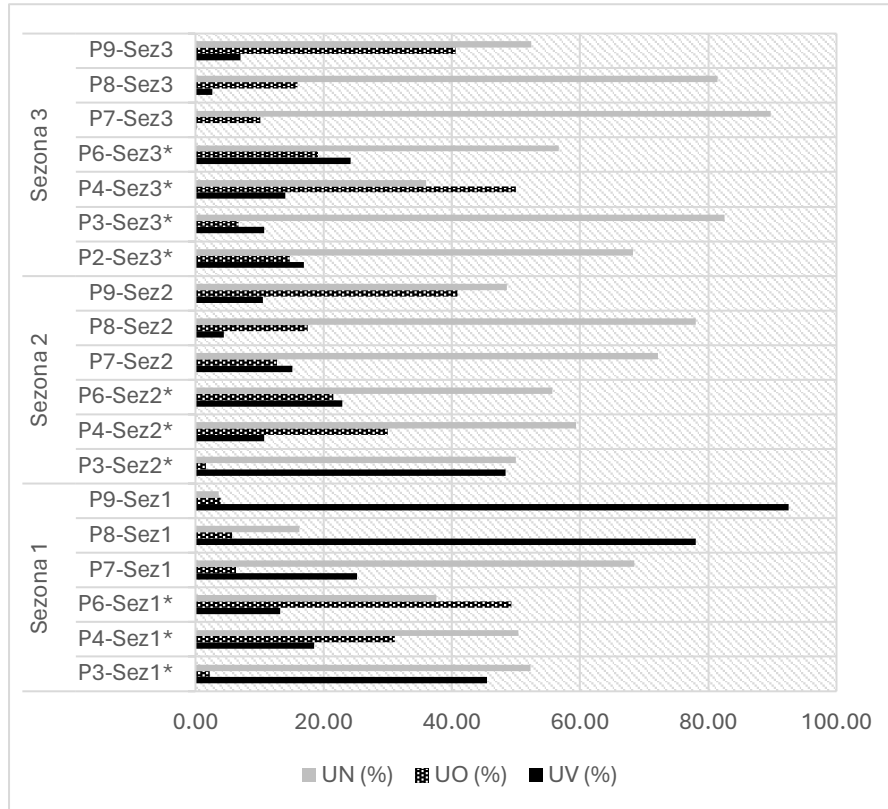
Grafik 18. Udeo vode (UV), udeo organske (UO) i udeo neorganske (UN) materije izraženi u procentima (%) po tačkama u Sezonu 1 (Sez1), Sezonu 2 (Sez2) i Sezonu 3 (Sez3) u Stopića pećini tokom 2017. godine. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.2.6. Udeo vode, organske i neorganske materije u Potpećkoj pećini

U Potpećkoj pećini je, takođe, preliminarno uzorkovanje izvršeno 2016. godine (podaci su objavljeni u radu Nikolić i sar., 2020), kada je prikupljeno ukupno pet uzoraka (samo jedan uzorak je uzet u ulaznoj zoni pećine – PP5), dok je 2017. godine prikupljeno najviše sedam uzoraka po sezoni (Grafik 19).

U uzorcima iz 2016 godine visok sadržaj neorganske materije i vode beleži se u uzorcima lampenfore, dok se u uzorku biofilma uzetog u ulaznoj zoni pećine beleži visok sadržaj vode i organske materije (Nikolić i sar., 2020).

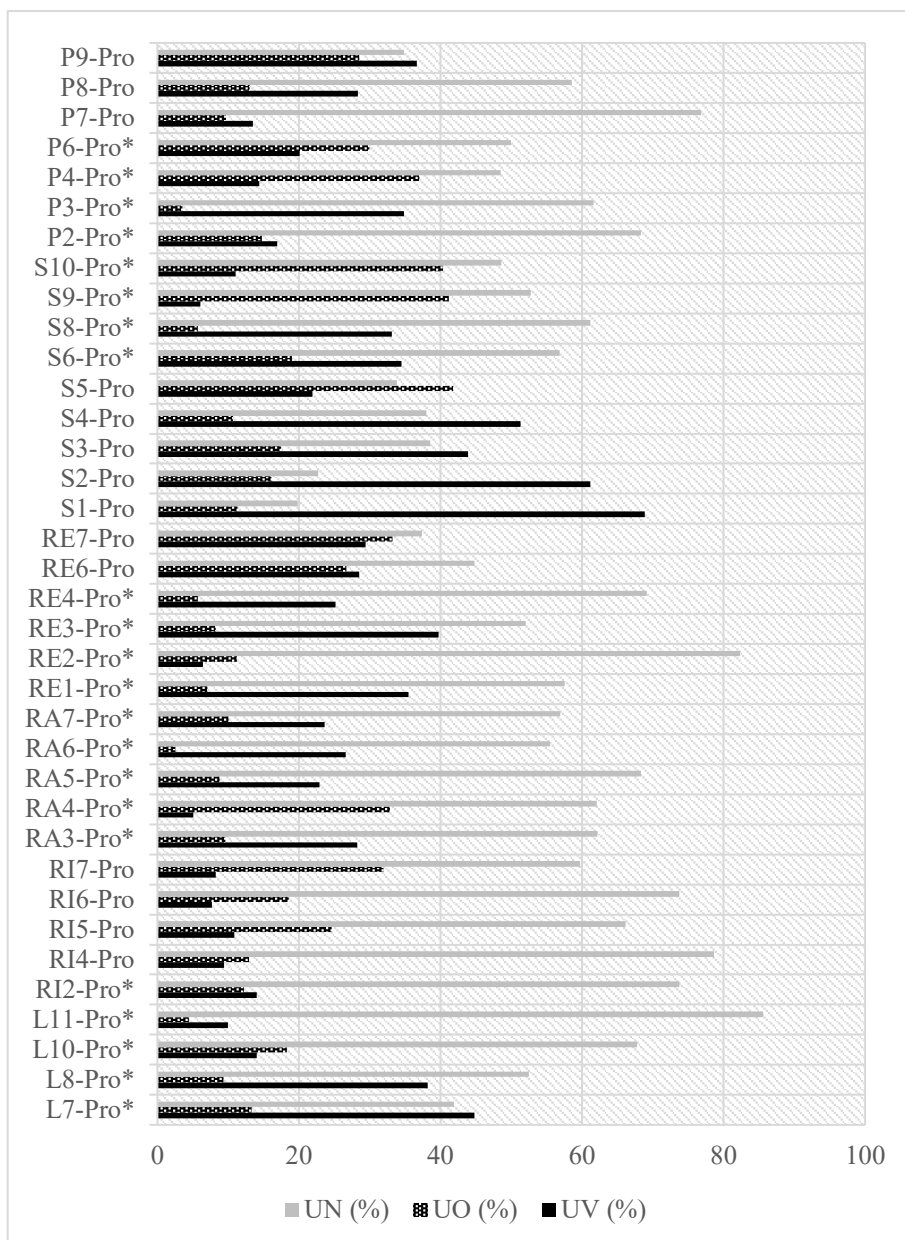
Procentualni udeo neorganske materije dominira u biofilmu u najvećem broju uzoraka, posebno tokom Sezone 2 i 3 u 2017. godini, a najviša izmerena vrednost je na P7-Sez3 (89,68%). U Sezonu 1 se u nekim uzorcima po višim vrednostima ističe i udeo vode u biofilmu koji najvišu vrednost dostiže na P9-Sez1 (92,42%). Udeo organske materije je kroz uzorke i sezone bio varijabilan, ali je najviša vrednost od 50% u biofilmu zabeležena na P4-Sez3*.



Grafik 19. Udeo vode (UV), udeo organske (UO) i udeo neorganske (UN) materije izraženi u procentima (%) po tačkama u Sezonu 1 (Sez1), Sezonu 2 (Sez2) i Sezonu 3 (Sez3) u Potpečkoj pećini tokom 2017. godine. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

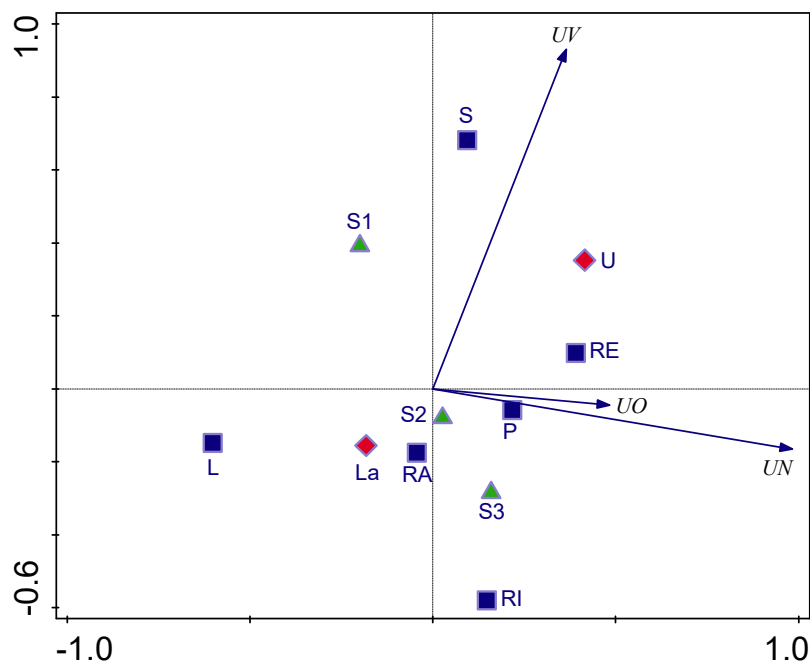
4.2.7. Prosečan udeo vode, organske i neorganske materije po tačkama i poredjenje parametara između lokaliteta

Na Grafiku 20 je prikazan prosečan procentualni udeo vode, organske i neorganske materije u biofilmu po tačkama, na svim lokalitetima. Prosečan udeo vode se kretao od 5,04% (RA4-Pro*), do 68,83% (S1-Pro). Prosečan udeo organske materije je varirao od 2,54% (RA6-Pro*) do 41,34% (S10-Pro*), dok je neorganska materija dominirala na većini tačaka.



Grafik 20. Prosečan udeo vode (UV), organske (UO) i neorganske materije (UN) po tačkama tokom svih sezona na svim lokalitetima tokom 2017. godine izražen u procentima. L – Lazareva pećina, RI – Risovača pećina, RA – Rajkova pećina, RE – Resavska pećina, S – Stopić pećina, P – Potpećka pećina. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

Uzimajući u obzir sve podatke (2016. i 2017. godina), odnos udela vode, organske i neorganske materije, lokaliteta u kome je vršeno uzorkovanje/merenje, mesto uzorkovanja (ulazna zona ili lampenflora) i sezone uzorkovanja prikazan je na Slici 18. Prema ordinacionom dijagramu, najviše vrednosti UV se vezuju za Stopića pećinu, a najviše vrednosti UN za Resavsku i Risovaču. Najniže vrednosti UO, kao i ostala dva parametra merene su u uzorcima iz Lazareve pećine. Ako se posmatra mesto uzorkovanja, u slučaju sva tri parametra više vrednosti su merene u uzorcima biofilma sa ulazne zone pećina. Što se tiče sezone uzorkovanja, više vrednosti UV vezuju se za Sezonu 1, a više vrednosti UO i UN za Sezonu 3. Ovo važi i u slučaju kada se svi podaci zajedno posmatraju, a i kada se podaci iz lampenflore i ulazne zone analiziraju odvojeno.



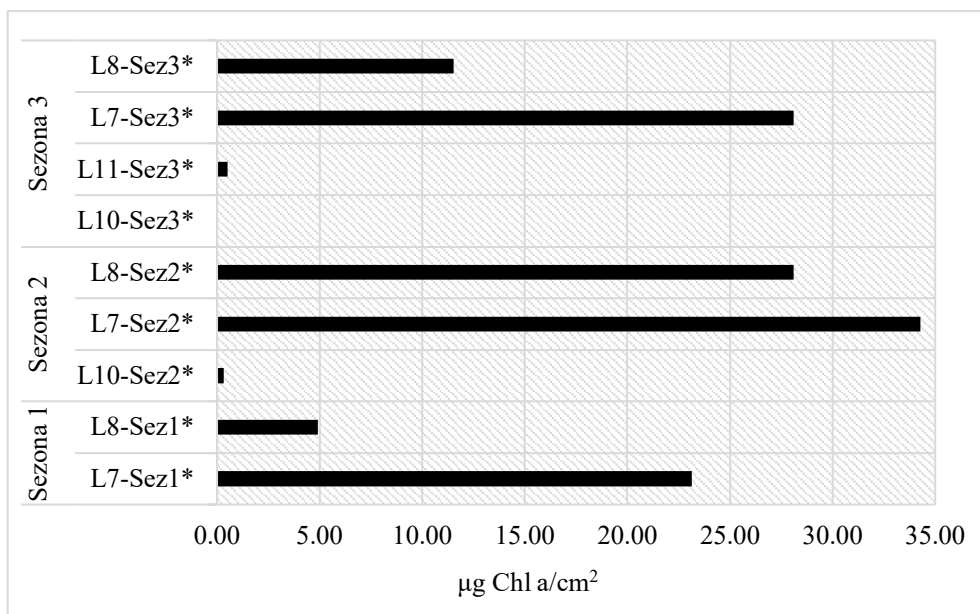
Slika 18. Udeo vode (UV), organske (UO) i neorganske materije (UN) u odnosu na lokalitet (L – Lazareva pećina, RA – Rajkova pećina, RE – Resavska pećina, RI – pećina Risovača, P – Potpećka pećina, S – Stopić pećina), mesto uzorkovanja (U – ulazna zona pećine ili La – lampenflora) i sezone (S1-S3).

4.3. Vrednosti koncentracije hlorofila *a*

Za potrebe ove analize, uzorci biofilma i lampenfore su prikupljeni sa istih tačaka i u okviru istih sezona kao i za analizu UV, UO i UN materije. Na nekim mestima, gde biofilm ili lampenflora nisu bili dovoljno razvijeni, prikupljeni su uzorci samo za jednu od analiza. Vrednosti koncentracije hlorofila *a* su izražene u $\mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$, a rezultati za svaki lokalitet su predstavljani posebno.

4.3.1. Koncentracija hlorofila *a* u Lazarevoj pećini

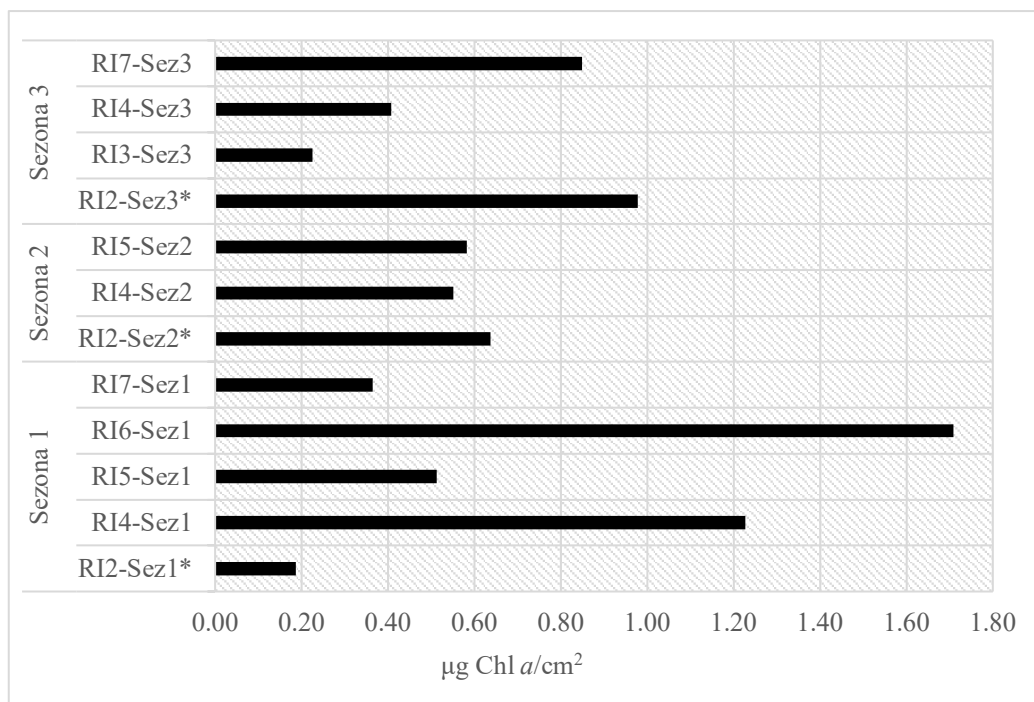
Vrednosti koncentracije hlorofila *a* u Lazarevoj pećini variraju od veoma niskih do približno $35 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$ (Grafik 21). Najniža koncentracija hlorofila *a* od $0,01 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$ je zabeležena na tački L10-Sez3*, zatim na istoj tački u Sezonu 2, dok je najviša vrednost određena iz biofilma uzorkovanog na tački L7-Sez2* ($34,28 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$). Zapaža se da se najviše koncentracije ovog parametra u uzorcima lampenfore u svim sezonama vezuju za L7*, a zatim za L8*.



Grafik 21. Koncentracija hlorofila *a* u Lazarevoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru.

4.3.2. Koncentracija hlorofila *a* u pećini Risovača

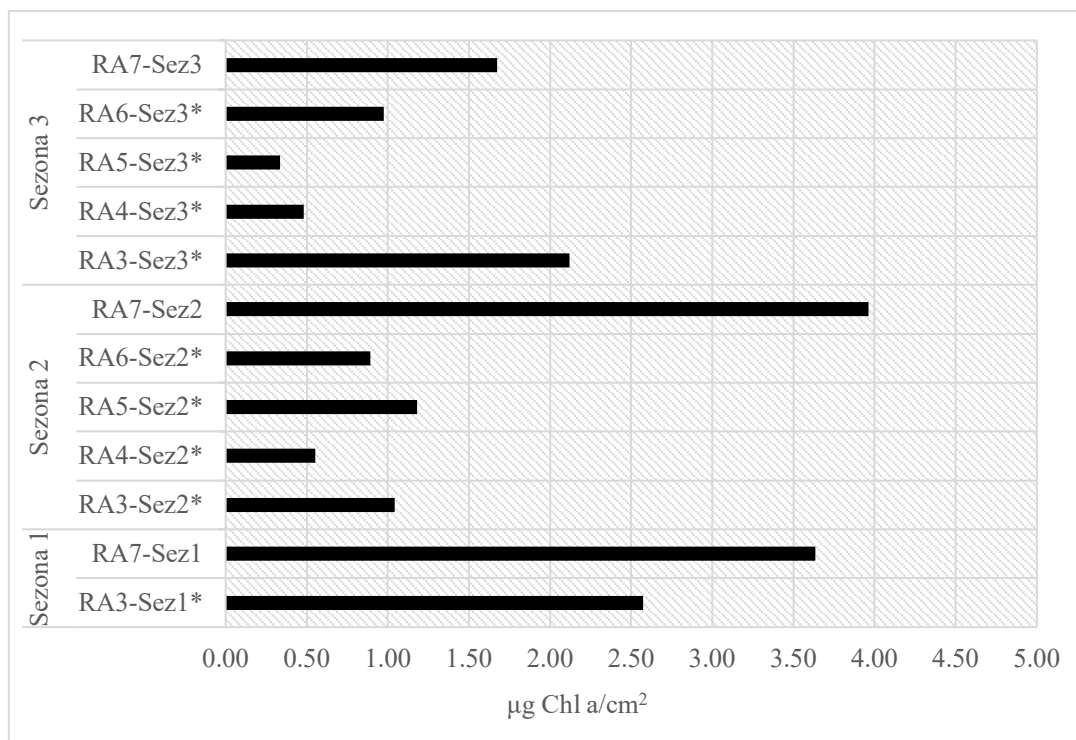
Vrednosti koncentracije hlorofila *a* u pećini Risovača (Grafik 22) nisu prelazile vrednost od 2 µg Chl *a*/cm². Najniža koncentracija ovog parametra određena je na mestu sa razvijenom lamniflorom, RI2-Sez1* (0.19 µg Chl *a*/cm²), a najviša vrednost zabeležena je na tački u ulaznoj zoni pećine RI6-Sez1 (1.71 µg Chl *a*/cm²) u istoj sezoni. Posmatrajući vrednosti hlorofila *a* u uzorcima sa ulazne zone ne uočava se jasan trend kroz sezone, dok je na jedinoj tački uzorkovanja koja se vezuje za lampenfloru (RI2) najveća koncentracija izmerena u Sezoni 3.



Grafik 22. Koncentracija hlorofila *a* u Risovača pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.3.3. Koncentracija hlorofila *a* u Rajkovojoj pećini

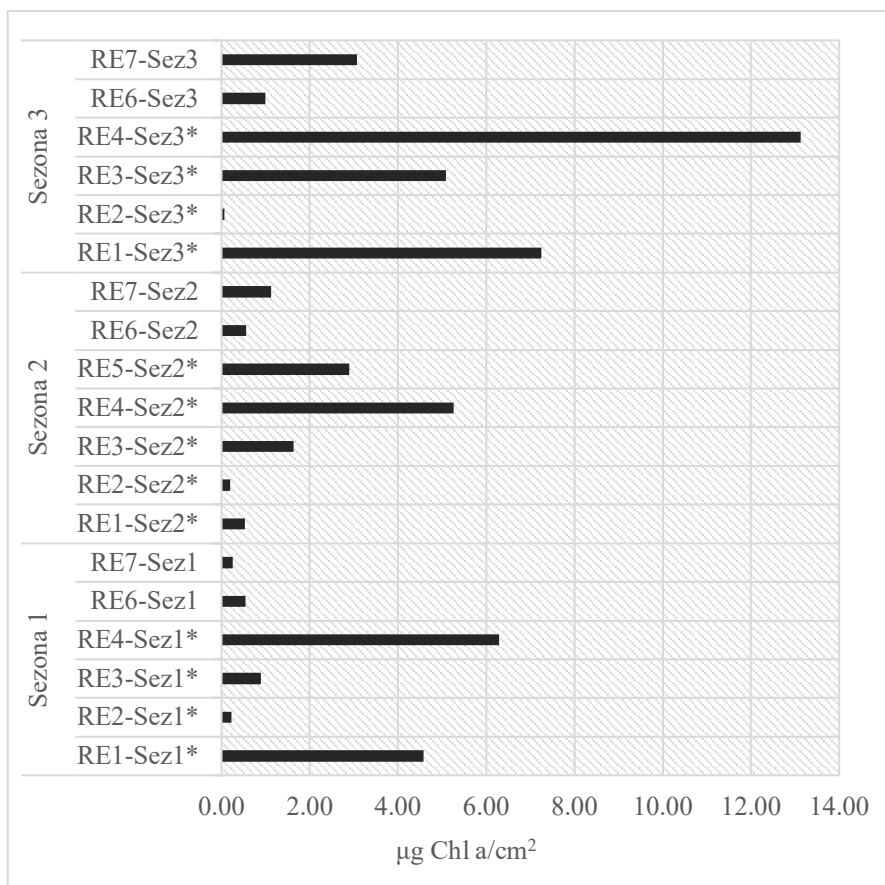
U Rajkovojoj pećini (Grafik 23) vrednosti koncentracije hlorofila *a* su varirale, od minimalne vrednosti od 0,34 µg Chl *a*/cm² do maksimalne vrednosti od približno 4 µg Chl *a*/cm². Najniže vrednosti ovog parametra su na tačkama RA5-Sez3* (0,34 µg Chl *a*/cm²) i RA4-Sez3* (0,48 µg Chl *a*/cm²), a najviša vrednost od 3,96 µg Chl *a*/cm² na tački u ulaznoj zoni pećine RA7-Sez2. U svakoj sezoni, najviše koncentracije ovog parametra određene su iz biofilma sa jedinog mesta uzorkovanja u ulaznoj zoni pećine - RA7, dok se u uzorcima lampenflore više vrednosti vezuju za tačku RA3*.



Grafik 23. Koncentracija hlorofila *a* u Rajkovoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.3.4. Koncentracija hlorofila *a* u Resavskoj pećini

Resavska pećina se karakteriše niskim vrednostima hlorofila *a* (Grafik 24), a u samo nekoliko uzoraka koncentracija ovog parametra premašuje vrednost od 4 µg Chl *a*/cm². Najniže vrednosti koncentracije hlorofila *a* zabeležene su na RE2* u sve tri sezone (0,22 µg Chl *a*/cm², 0,19 µg Chl *a*/cm² i 0,06 µg Chl *a*/cm², redom), a najviše na RE4-Sez3* (13,13 µg Chl *a*/cm²). Od interesa je pomenuti da su i najniža, kao i najviša koncentracija ovog parametra zabeležene u uzorcima lampenflore. Visoke koncentracije hlorofila *a* u lampenflori na RE4* vezuju se pre svega za Sezonu 3, ali se i ostale sezone karakterišu višim vrednostima ovog parametra na istoj tački, u odnosu na ostale tačke. Kod dva uzorka biofilma sa ulazne zone, najviše koncentracije hlorofila *a* su u Sezonu 3.

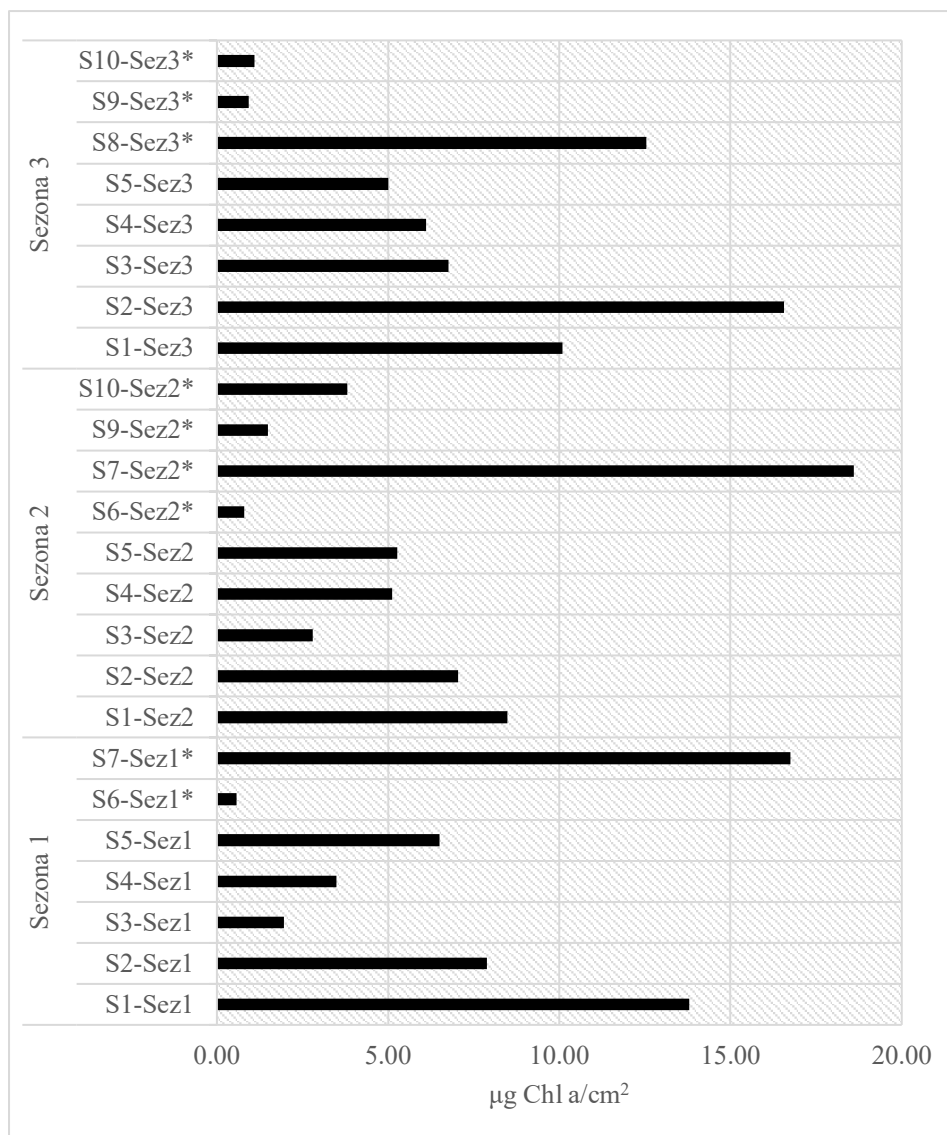


Grafik 24. Koncentracija hlorofila *a* u Resavskoj pećini. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.3.5. Koncentracija hlorofila *a* u Stopića pećini

U Stopića pećini tokom 2017. godine vrednosti koncentracije hlorofila *a* uglavnom nisu prelazile $10 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$ i više vrednosti se vezuju za svega nekoliko uzoraka (Grafik 25). Najniža (S6-Sez2*, $0,79 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$) i najviša vrednost ovog parametra (S7-Sez2*, $18,60 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$) vezuju se za uzorke lampenflore. U lampenflori se u smislu viših koncentracija hlorofila *a* izdvajaju tačke S7* i S8*, a u ulaznoj zoni pećine tačke S1 i S2.

Tokom 2016. godine, u Stopića pećini (Nikolić i sar., 2020) niže vrednosti hlorofila *a* beležene su u lampenflori (najniža vrednost – $0,17 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$), a više u ulaznoj zoni pećine (najviša na najviša vrednost – PS6, $4,39 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$).

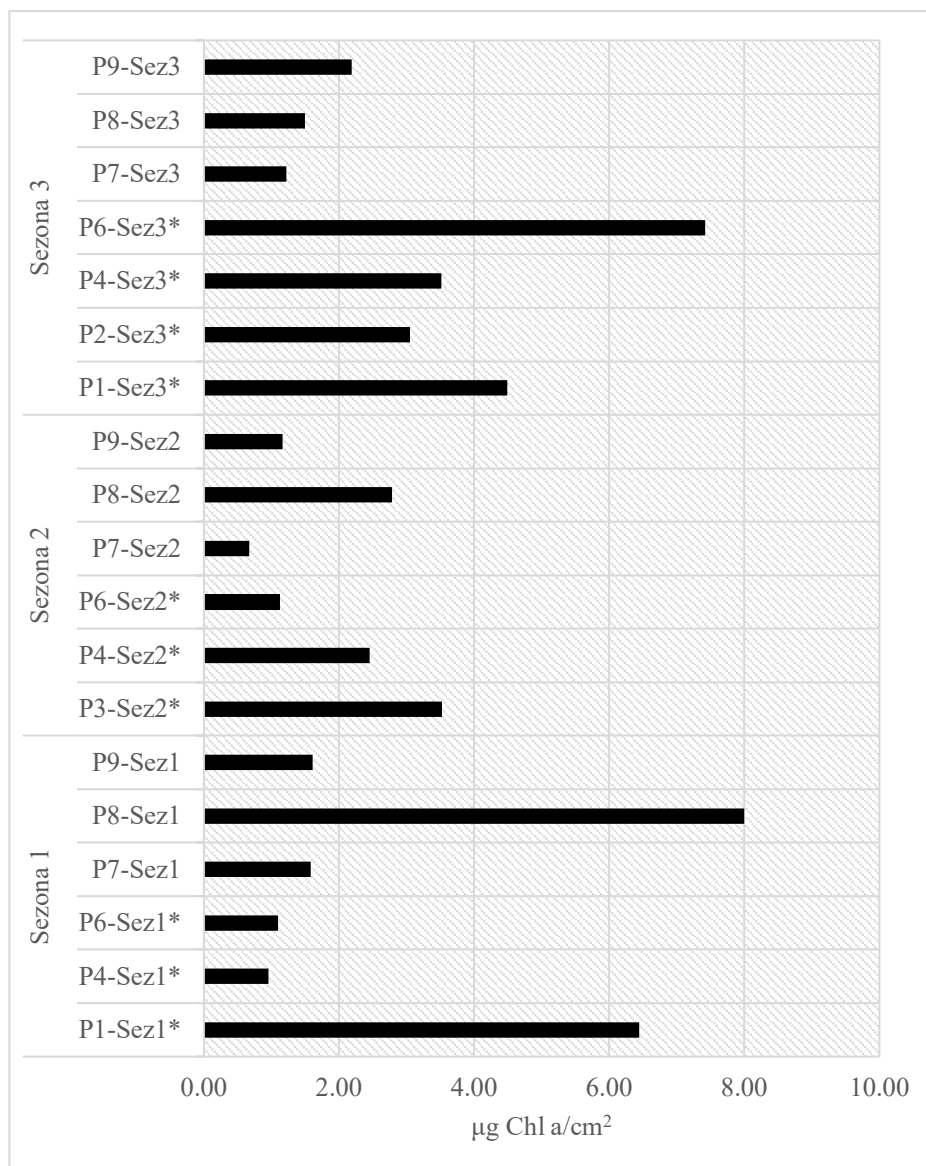


Grafik 25. Koncentracija hlorofila *a* u Stopića pećini tokom 2017. godine. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.3.6. Koncentracija hlorofila *a* u Potpećkoj pećini

U Potpećkoj pećini tokom 2017. godine vrednosti koncentracije hlorofila *a* dostigla je maksimalnih 8 µg Chl *a*/cm², a u većini uzoraka izmerene su vrednosti niže od 4 µg Chl *a*/cm² (Grafik 26). Najniža koncentracija hlorofila *a* (P7-Sez2, 0,67 µg Chl *a*/cm²), kao i najviša (P8-Sez1, 8 µg Chl *a*/cm²) izmerene su u uzorcima biofilma u ulaznoj zoni pećine. U uzorcima lampenflore, imajući u vidu više koncentracije hlorofila *a*, ističu se tačke P1* i P6*,

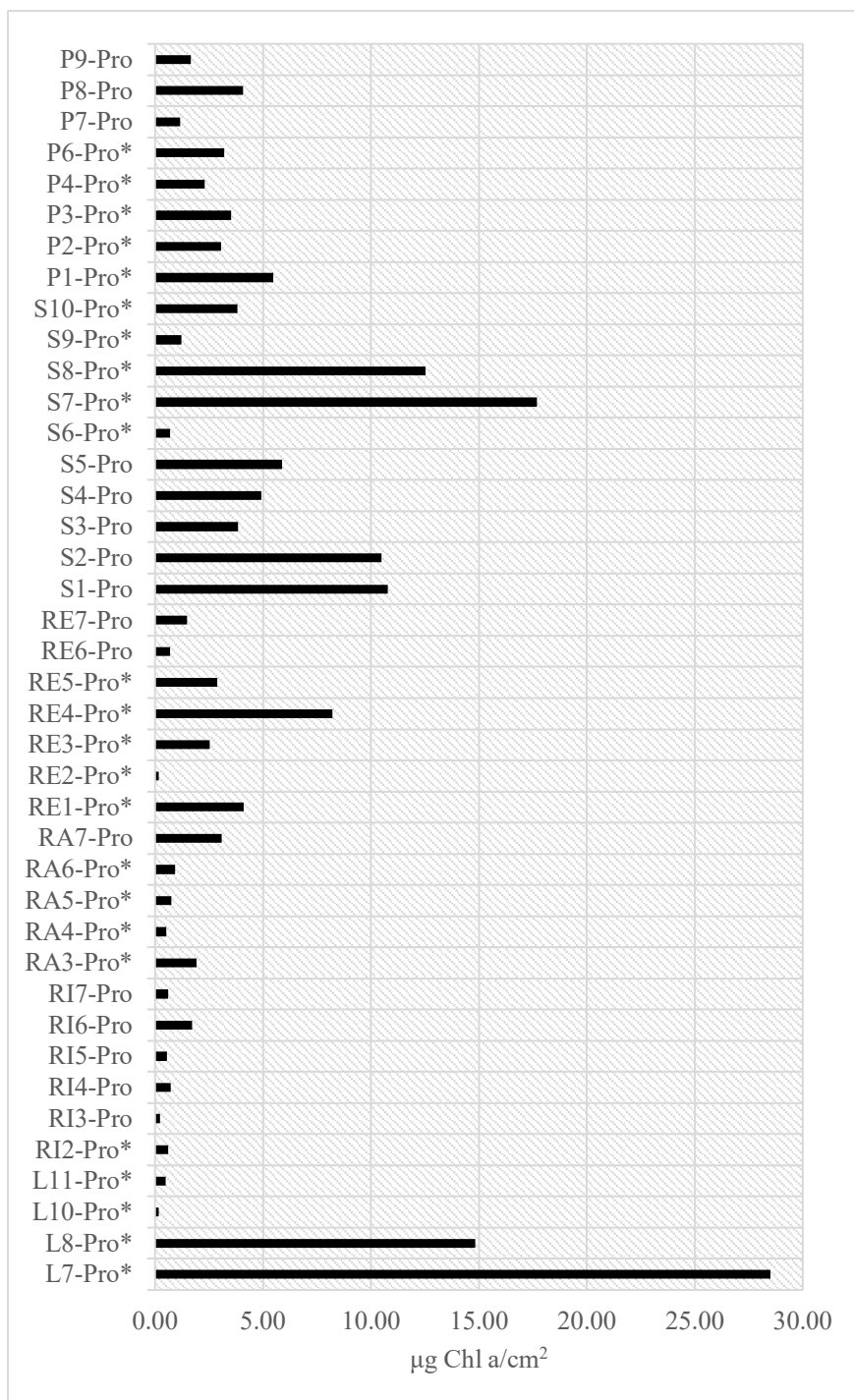
Tokom 2016. godine u Potpećkoj pećini, i najniža (0,22 µg Chl *a*/cm²) i najviša koncentracija hlorofila *a* (8,27 µg Chl *a*/cm²) izmerene su na mestima gde su uzeti uzorci lampenflore (Nikolić i sar., 2020).



Grafik 26. Koncentracija hlorofila *a* u Potpečkoj pećini tokom 2017. godine. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.3.7. Prosečne vrednosti koncentracije hlorofila *a* po tačkama na svim lokalitetima

Na Grafiku 27 je predstavljena prosečna vrednost koncentracije hlorofila *a* po svakoj tački uzorkovanja, uzimajući u obzir sve sezone i sve lokalitete. Vrednosti hlorofila *a* uglavnom imaju niske vrednosti na svim tačkama. Na 31 tački od ukupno 40, vrednosti koncentracije hlorofila *a* ne prelaze $5 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$, na 3 tačke ovaj parametar se karakteriše koncentracijama između 5 i $10 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$, na 5 tačaka koncentracijama između 10 i $20 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$, dok je samo na jednoj tački vrednost hlorofila bila iznad $20 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$ (tačka L7-Pro*, $28,5 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$). Najniže vrednosti su određene na tačkama L10-Pro* i RE2-Pro* ($0,16 \mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$).



Grafik 27. Prosečna koncentracija hlorofila *a* izražena u $\mu\text{g Chl } a/\text{cm}^2$ po tačkama na svim lokalitetima tokom svih ispitivanih sezona u 2017 godini. L – Lazareva pećina, RI – Risovača pećina, RA – Rajkova pećina, RE – Resavska pećina, S – Stopić pećina, P – Potpećka pećina. Tačke obeležene znakom * se odnose na lampenfloru, dok se ostale odnose na uzorke biofilma iz ulazne zone pećine.

4.4. Taksonomski sastav cijanobakterija i eukariotskih algi

Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi je urađena u svih 6 pećina, a rezultati su prikazani sa svaku pećinu pojedinačno. Mikrografije odabranih taksona iz svih pećina su nalaze se Prilogu.

4.4.1. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Lazarevoj pećini

U Lazarevoj pećini (u sve tri sezone) je zabeleženo ukupno 26 taksona iz tri razdela: Cyanobacteria (cijanobakterije), Chlorophyta (zelene alge) i Bacillariophyta (silikatne alge) (Tabela 9). Najveći broj taksona identifikovan je u razdelima Bacillariophyta i Chlorophyta, a nešto manji u razdelu Cyanobacteria. Razdeo Cyanobacteria se karakteriše prisustvom kokoidnih i trihalnih, homocitnih predstavnika gde se izdvajaju rodovi *Aphanocapsa* i *Leptolyngbya*, dok trihalni, heterocitni oblici odsustvuju. Kod zelenih algi prisutne su *Chlorella* sp. 1 i *Chlorella* sp. 2, dok je među silikatnim algama, najveći broj taksona je zabeležen u rodu *Humidophila*.

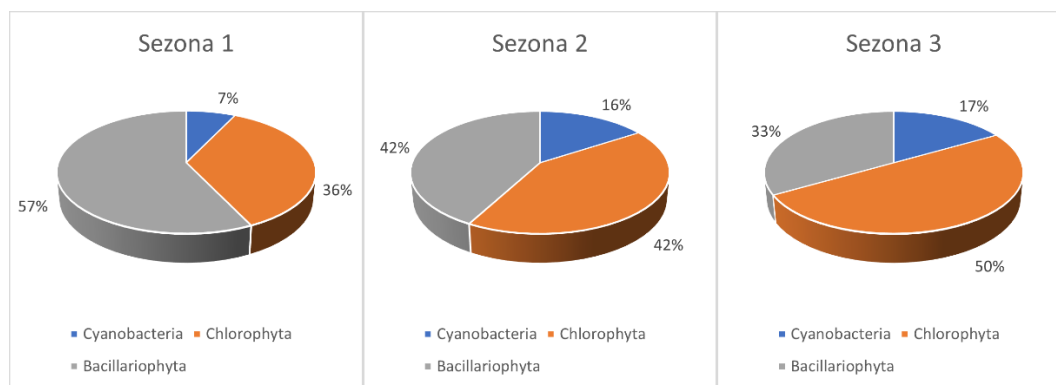
Najveći broj taksona je ustanovljen je u Sezoni 2, a zatim u Sezoni 1 i Sezoni 3.

Tabela 9. Spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi u Lazarevoj pećini. S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3, La – uzorak lampenflore.

	Sezona	S1	S2	S3
	Uzorak	La	La	La
Takson				
Cyanobacteria				
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek 1994			+	
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919				+
Kokoidna Cyanobacteria 2				+
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988			+	
<i>Leptolyngbya</i> spp. Anagnostidis & Komárek 1988			+	
<i>Phormidium articulatum</i> (N.L.Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988		+		
Chlorophyta				
<i>Chlorella</i> sp. 1 Beyerinck [Beijerinck] 1890		+	+	+
<i>Chlorella</i> sp. 2 Beyerinck [Beijerinck] 1890		+	+	+
Chlorococcales 2		+	+	
Chlorococcales 4				+
Chlorococcales 5		+	+	+
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kützing) P.C.Silva, K.R.Mattox & W.H.Blackwell 1972			+	
<i>Klebsormidium subtile</i> (Kützing) Mikhailyuk, Glaser, Holzinger & Karsten 2015		+	+	
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli 1849			+	+
<i>Stichococcus chlorelloides</i> Grintzesco & Péterfi 1932				+
<i>Trebouxia</i> sp. Puymaly 1924			+	
Bacillariophyta				
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014		+	+	+
<i>Humidophila gallica</i> (W.Smith) Lowe, Kociolek, Q.You, Q.Wang & Stepanek 2017		+	+	

<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014		+	+
<i>Humidophila</i> sp. 4 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014	+	+	+
<i>Humidophila vidalii</i> (Van de Vijver, Ledeganck & Beyens) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	
<i>Luticola quinquenodis</i> (Grunow) Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013	+	+	
<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827			+
<i>Psammothidium</i> sp. 1 L.Buhtkiyarova & Round 1996	+	+	
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E.Wetzel & D.G.Mann 2015	+	+	
<i>Tryblionella debilis</i> Arnott ex O'Meara 1873	+		

Na slici 19 je prikazana procentualna zastupljenost razdela po sezonama u Lazarevoj pećini. Kao što primećujemo, pripadnici razdela Bacillariophyta dominiraju u Sezoni 1, a zatim njihova procentualna zastupljenost opada ka Sezoni 3. Sa druge strane, procentualna zastupljenost taksona Cyanobacteria i Chlorophyta raste od prve ka trećoj sezoni, s tim što je razlika između Sezone 2 i Sezone 3 zanemarljiva.



Slika 19. Procentualna zastupljenost razdela cijanobakterija i eukariotskih algi po sezonama u Lazarevoj pećini.

4.4.2. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Rajkovojoj pećini

Kvalitativna analiza biofilma u Rajkovojoj pećini (Tabela 10) je za sve tri sezone pokazala prisustvo 68 taksona cijanobakterija i eukariotskih algi, iz razdela Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta. Najveći broj identifikovanih taksona pripada razdelu Cyanobacteria, a zatim slede predstavnici Bacillariophyta i Chlorophyta. U razdelu Cyanobacteria dominiraju kokoidni predstavnici, sa najvećim brojem vrsta roda *Chroococcus*, dok među homocitnim cijanobakterijama najveći broj vrsta pripada rodu *Leptolyngbya*. Heterocitne cijanobakterije odsustvuju, a u razdelu Chlorophyta su dokumentovani kokalni predstavnici. Najveći broj vrsta silikatnih algi pripada rodu *Humidophila*.

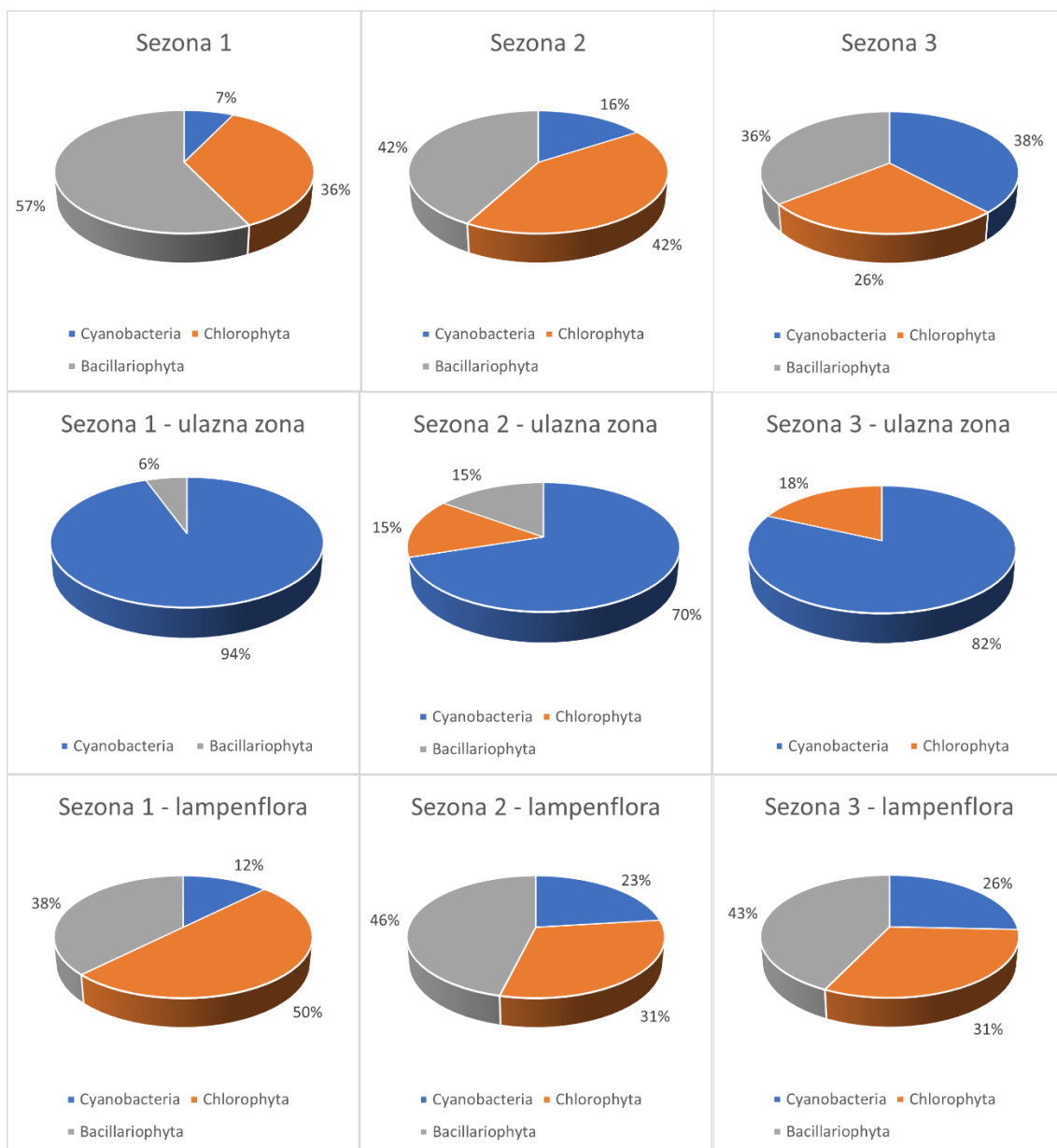
Poređenjem sezona primećen je porast broja taksona cijanobakterija i eukariotskih algi od Sezone 1 ka Sezoni 2 i 3, pri čemu se taj trend posebno uočava u uzorcima lampenflore. Imajući u vidu uzorke iz ulazne zone pećina, najveći broj taksona utvrđen je u Sezoni 2, od čega najveći broj predstavnika pripada kokoidnim cijanobakterijama.

Tabela 10. Spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi u Rajkovojoj pećini. S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3, La – uzorak lampenflore, U – uzorak biofilma iz ulazne zone pećine.

	Sezona	S1		S2		S3	
	Uzorak	U	La	U	La	U	La
Takson							
Cyanobacteria							
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek 1994			+				
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansgirg 1983					+		
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919				+	+	+	+
<i>Aphanocapsa</i> sp. 1 C.Nägeli 1849						+	+
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849		+		+			+
<i>Chroococcus</i> cf. <i>spelaeus</i> Ercegovic 1925		+		+		+	
<i>Chroococcus ercegovicii</i> Komárek & Anagnostidis 1995		+					
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli 1894							+
<i>Chroococcus tenax</i> (Kirchner) Hieronymus 1892		+					
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849		+				+	
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun 1876		+					
<i>Eucapsis</i> sp. 1 F.E.Clements & H.L.Shantz 1909							+
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>atrata</i> Kützing 1843		+		+			
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>polyedrica</i> (Ercegovic)Komárek & Anagnostidis 1994		+		+			
<i>Gloeothece confluens</i> Nägeli 1849		+		+			+
<i>Gloeothece fuscolutea</i> (Nägeli ex Kützing) Nägeli 1849		+		+			
<i>Gloeothece palea</i> (Kützing) Nägeli 1849		+			+		
<i>Gloeothece</i> sp. 2 Nägeli 1849				+			
Kokoidna Cyanobacteria 1				+		+	
Kokoidna Cyanobacteria 3		+			+	+	
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>angustissima</i> (West & G.S.West) Anagnostidis & Komárek 1988				+		+	
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>ercegovicii</i> (Cado) Anagnostidis & Komárek 1988		+					
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>truncata</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek 1988							+
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988		+		+		+	
<i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann)Anagnostidis 2001				+			
<i>Leptolyngbya valderiana</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988				+			
<i>Leptolyngbya</i> spp. Anagnostidis & Komárek 1988		+				+	
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925					+		
<i>Pseudophormidium hollerbachianum</i> (Elenkin) Anagnostidis 2001		+					+
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli 1849				+	+		
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegović 1925		+					+
Chlorophyta							
<i>Bracteacoccus minor</i> (Schmidle ex Chodat) Petrová 1931					+		
<i>Chlorella</i> sp. 1 Beyerinck [Beijerinck] 1890			+		+		+
<i>Chlorella</i> sp. 2 Beyerinck [Beijerinck] 1890				+	+		+
Chlorococcales 4			+	+	+		+
Chlorococcales 5			+	+	+		+
<i>Coccomyxa</i> sp. Schmidle 1901							+
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Persoon ex Acharius) J.R.Laundon 1985					+		+

<i>Haematococcus pluvialis</i> Flotow 1844						+
<i>Scotiella</i> sp. Fritsch, 1912		+		+	+	+
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli 1849					+	+
<i>Trebouxia</i> sp. Puymaly 1924						+
<i>Trochiscia</i> sp. Kützing 1888				+		+
Bacillariophyta						
<i>Achnanthydium jackii</i> Rabenhorst 1861				+		+
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarniecki				+		+
<i>Achnanthydium straubianum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999						+
<i>Achnanthydium</i> sp. Kützing 1844						+
<i>Amphora inariensis</i> Krammer 1980						+
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1875						+
<i>Cavinula lapidosa</i> (Krasske) Lange-Bertalot 1996			+			
<i>Cavinula</i> sp. D.G.Mann & Stickle 1990			+			
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> Håkansson & J.R.Carter 1990				+		+
<i>Cyclotella</i> sp. (Kützing) Brébisson 1838, nom. et typ. cons.						+
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990				+		
<i>Fallacia</i> sp. Stickle & D.G.Mann 1990	+					
<i>Fragilaria</i> sp. Lyngbye 1819						+
<i>Humidophila biceps</i> G.A.Arnott ex Cleve 2014				+		
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014		+		+		
<i>Humidophila contemnata</i> (E.Reichardt) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014				+		
<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014		+		+		+
<i>Humidophila</i> sp. 1 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014		+				+
<i>Humidophila</i> sp. 2 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014				+		
<i>Orthoseira</i> sp. Thwaites, 1848			+			
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot 1999				+		+
<i>Sellaphora</i> aff. <i>seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann 1989						+
<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel & Van de Vijver 2015						+
<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) Wetzel & Ector 2015		+		+		+
<i>Stausosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round 1988				+		

Na slici 20 je predstavljena procentualna zastupljenost razdela po sezonama imajući u vidu sve detektovane taksone cijanobakterija i eukariotskih algi u Rajkovojoj pećini, taksone zabeležene u biofilmu iz ulazne zone pećine i taksone zabeležene u lampenflori. Uopšteno, pripadnici Cyanobacteria dominiraju u prvoj sezoni, a zatim njihova procentualna zastupljenost opada, dok procentualna zastupljenost taksona Chlorophyta raste od prve ka trećoj sezoni. Najmanje pripadnika Bacillariophyta zabeleženo je u Sezonu 1. U ulaznoj zoni Rajkove pećine, primećena je gotovo potpuna dominacija razdela Cyanobacteria. Zanimljivo je da pripadnici razdela Chlorophyta nisu zabeležene u Sezonu 1, dok silikatne alge nisu detektovane u Sezonu 3. U uzorcima lampenflora je primećena je dominacija predstavnika razdela Chlorophyta i Bacillariophyta, dok je procentualna zastupljenost predstavnika Cyanobacteria bila veća u Sezonu 3 u odnosu na Sezonu 1.



Slika 20. Procentualna zastupljenost razdela po sezonama u Rajkovoju pećini predstavljena zasebno za sve taksone cijanobakterija i eukariotskih algi, taksone dokumentovane u ulaznoj zoni pećine i taksone dokumentovane u lampenflori.

4.4.3. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u pećini Risovača

U pećini Risovača (Tabela 11) identifikovano je ukupno 56 taksona Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta, od kojih najveći broj pripada razdelu Cyanobacteria, a zatim razdelima Bacillariophyta i Chlorophyta. *Aphanocapsa* i *Chroococcus* predstavljaju rodove sa najvećim brojem taksona kokoidnih cijanobakterija, dok među trihalnim, homocitnim cijanobakterijama dominira rod *Leptolyngbya*. Unutar razdela Chlorophyta se sreće veliki broj predstavnika sa kokalnom formom, a rod *Humidophila* dominira po broju taksona u razdelu Bacillariophyta.

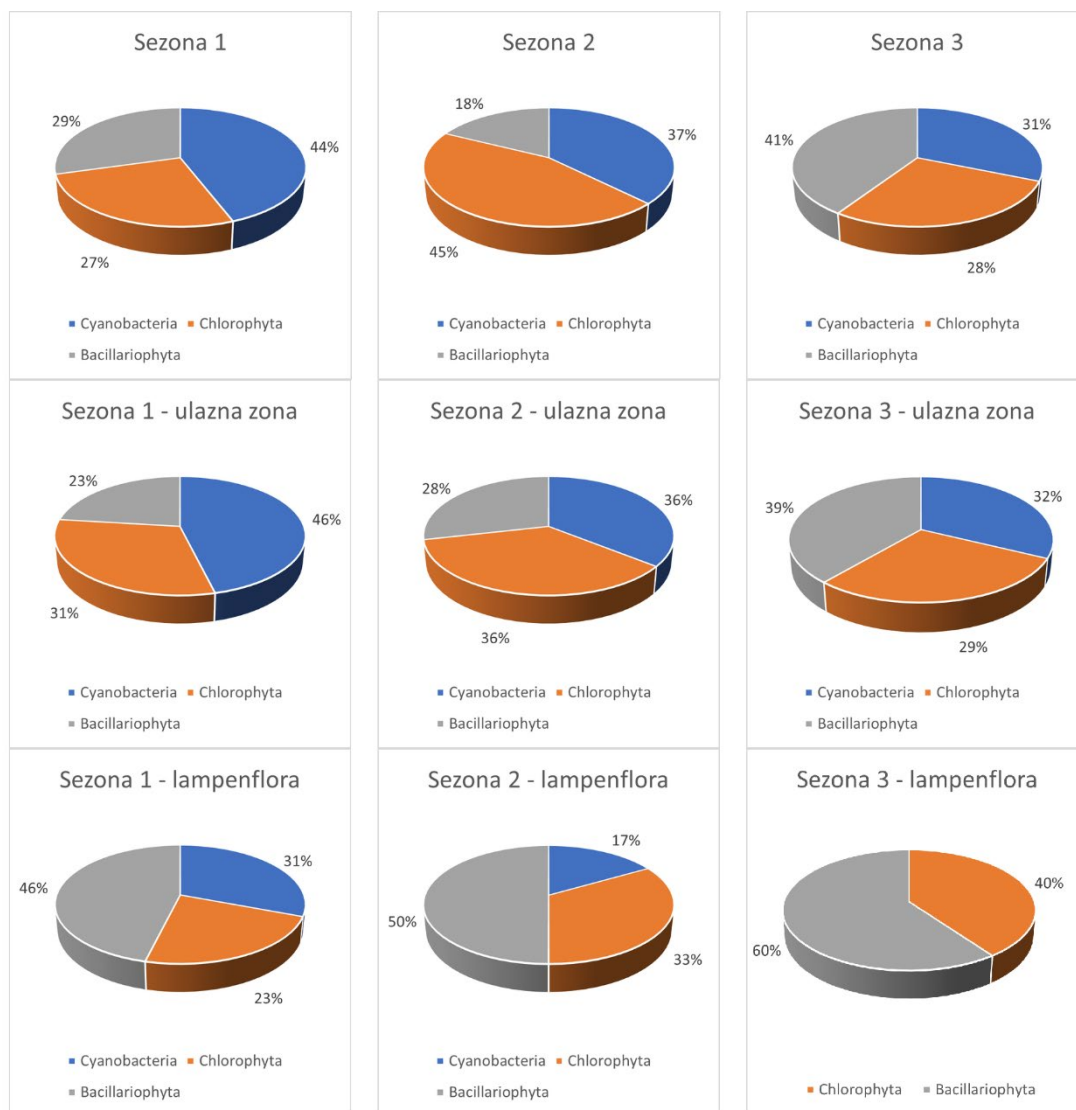
Najveći broj taksona zabeležen je u Sezoni 1, zatim Sezoni 3, pa Sezoni 2. Broj taksona zabeleženih u ulaznoj zoni pećine (najveći broj u Sezoni 3) je viši u odnosu na broj taksona koji su zabeleženi u uzorcima lampenflore.

Tabela 11. Spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi u Risovača pećini. S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3, La – uzorak lampenflore, U – uzorak biofilma iz ulazne zone pećine.

	Sezona	S1		S2		S3	
	Uzorak	U	La	U	La	U	La
Takson							
Cyanobacteria							
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919			+	+	+	+	
<i>Aphanocapsa</i> sp. 1 C.Nägeli 1849				+		+	
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek 1994						+	
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849				+		+	
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli 1894		+		+			
<i>Chroococcus tenax</i> (Kirchner) Hieronymus 1892			+				
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849			+				
<i>Chroococcus varius</i> A.Braun 1876		+					
<i>Eucapsis</i> sp. 1 F.E.Clements & H.L.Shantz 1909		+					
<i>Eucapsis</i> sp. 2 F.E.Clements & H.L.Shantz 1909						+	
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>atrata</i> Kützing 1843		+					
<i>Gloeocapsopsis</i> sp. 1 Geitler ex Komárek 1993		+	+	+		+	
<i>Gloeocapsopsis</i> sp. 2 Geitler ex Komárek 1993						+	
<i>Gloeothece confluens</i> Nägeli 1849		+					
Kalcifikovana Cyanobacteria		+				+	
Kokoidna Cyanobacteria 3						+	
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>angustissima</i> (West & G.S.West) Anagnostidis & Komárek 1988		+					
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>ercegovicii</i> (Cado) Anagnostidis & Komárek 1988		+					
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>truncata</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek 1988		+					
<i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann) Anagnostidis 2001		+					
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925		+					
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli 1849						+	
Chlorophyta							
<i>Bracteacoccus minor</i> (Schmidle ex Chodat) Petrová 1931				+			
<i>Chlorella</i> sp. 1 Beyerinck [Beijerinck] 1890		+		+		+	
<i>Chlorella</i> sp. 2 Beyerinck [Beijerinck] 1890		+	+			+	
Chlorococcales 2		+					
Chlorococcales 3		+					
Chlorococcales 4			+		+	+	+
Chlorococcales 5		+	+	+	+	+	+
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Persoon ex Acharius) J.R.Laundon 1985		+		+		+	
<i>Klebsormidium subtile</i> (Kützing) Mikhailiyuk, Glaser, Holzinger & Karsten 2015				+			
<i>Trebouxia</i> sp. Puymaly 1924		+				+	
Trihalna Chlorophyta						+	

<i>Trochiscia</i> sp. Kützing 1888	+					
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli 1849					+	
<i>Scotiella</i> sp. Fritsch, 1912					+	
Bacillariophyta						
<i>Achnantheidium jackii</i> Rabenhorst 1861	+				+	
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1875		+				
<i>Aulacoseira</i> sp. Thwaites 1848					+	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838					+	
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> Håkansson & J.R.Carter 1990	+					
<i>Diatoma ehrenbergii</i> Kützing 1844					+	
<i>Humidophila aerophila</i> (Krasske) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014					+	
<i>Humidophila biceps</i> G.A. Arnott ex Cleve 2014		+				
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	+	+	+	
<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+		+	+	+
<i>Humidophila</i> sp. 1 (Lange-Bertalot & Werum) R.L. Lowe & al. 2014			+	+	+	+
<i>Luticola quinquenodis</i> (Grunow) Levkov, Metzeltin & A. Pavlov 2013	+		+		+	
<i>Luticola</i> sp. D.G. Mann 1990					+	
<i>Navicula veneta</i> Kützing 1844		+				
<i>Navicula</i> sp. 1 Bory 1822		+				
<i>Neidium</i> sp. Pfitzer 1871	+					
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862			+			
<i>Pantocsekiella ocellata</i> (Pantocsek) K.T. Kiss & Ács 2016						+
<i>Psammothidium</i> sp. 1 L. Buhtkiyarova & Round 1996					+	
<i>Psammothidium</i> sp. 2 L. Buhtkiyarova & Round 1997					+	

U pećini Risovača, posmatrajući ukupan broj taksona, Chlorophyta su dominirale u Sezoni 2, dok je njihova zastupljenost gotovo ujednačena u Sezoni 1 i Sezoni 3 (Slika 21). Procentualna zastupljenost Cyanobacteria opada od Sezone 1 ka Sezoni 3, dok je kod Bacillariophyta obrnuto. U uzorcima biofilma iz ulazne zone pećine primećene su manje varijacije procentualne zastupljenosti razdela po sezonama, ali se može istaći da Cyanobacteria dominiraju u Sezoni 1. U uzorcima lampenflore, predstavnici razdela Bacillariophyta su dominirali u svim sezonama, a karakteristično je da u trećoj sezoni Cyanobacteria nisu zabeležene.



Slika 21. Procentualna zastupljenost razdelu po sezonama u pećini Risovača predstavljena zasebno za sve taksone cijanobakterija i eukariotskih algi, taksone dokumentovane u ulaznoj zoni pećine i taksone dokumentovane u lampenflori.

4.4.4. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Resavskoj pećini

Kvalitativna analiza biofilma u Resavskoj pećini (Tabela 12), uzimajući u obzir sve tri sezone, pokazala je prisustvo 68 taksona raspoređenih u razdele Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta. Najveći broj taksona je zabeležen u razdelu Cyanobacteria, koji se odlikuje prisustvom kokoidnih, trihalnih, homocitnih i heterocitnih formi, pri čemu su kokoidni oblici najbrojniji. Najveći broj vrsta je zabeležen u rodovima *Aphanocapsa*, *Gloeocapsopsis* i *Leptolyngbia*. Bacillariophyta su sledeće po brojnosti taksona, pri čemu se po broju vrsta ističe rod *Humidophila*, a zatim *Sellaphora*. Chlorophyta se odlikuju prisustvom pretežno kokalnih formi, pri čemu je *Desmococcus olivaceus* zabeležen na gotovo svim mestima uzorkovanja.

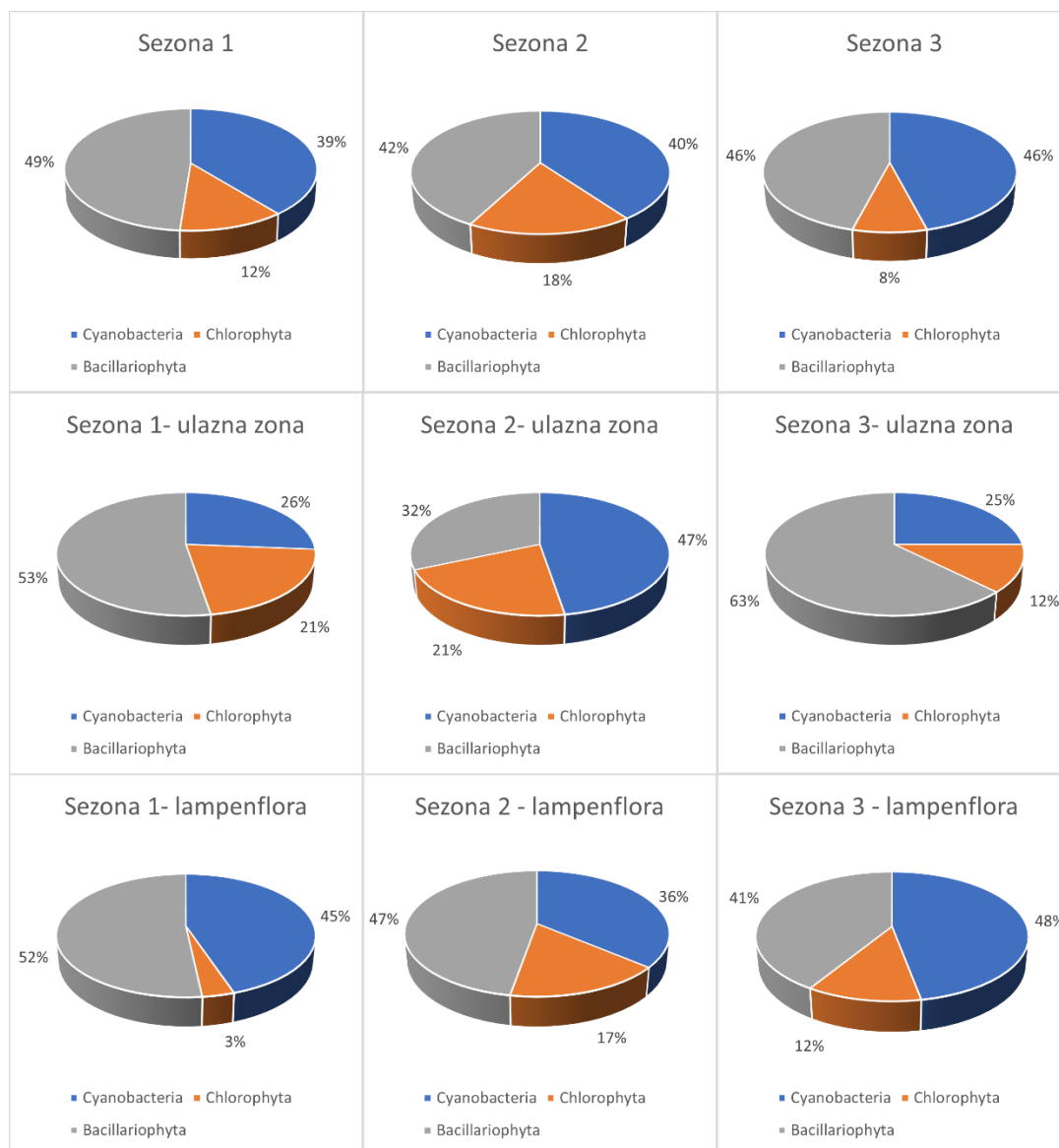
Poređenjem broja taksona kroz sezone primećeno je da nema većih odstupanja, pri čemu je najveći broj taksona zabeležen u Sezonu 1, a zatim Sezonu 2 i Sezonu 3.

Tabela 12. Spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi u Resavskoj pećini. S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3, La – uzorak lampenflore, U – uzorak biofilma iz ulazne zone pećine.

	Sezona	S1		S2		S3	
	Uzorak	U	La	U	La	U	La
Takson							
Cyanobacteria							
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>endolithica</i> var. <i>violacescens</i> Ercegović 1925				+			+
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansgirg 1983	+			+			
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919	+			+	+	+	+
<i>Aphanocapsa</i> sp. 1 C.Nägeli 1849				+	+		+
<i>Aphanothece castagnei</i> (Kützing) Rabenhorst 1865				+			
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849			+				+
<i>Calothrix fusca</i> Bornet & Flahault 1886				+			
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli 1894							+
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun 1876			+				+
<i>Cyanosarcina</i> sp. Kováčik 1988	+						
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>polyedrica</i> (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis 1994	+	+					+
<i>Gloeocapsopsis</i> sp. 1 Geitler ex Komárek 1993	+	+			+		
<i>Gloeocapsopsis</i> sp. 2 Geitler ex Komárek 1993			+				
Kokoidna Cyanobacteria 1				+			
Kokoidna Cyanobacteria 3			+				+
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>truncata</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek 1988			+		+		+
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988					+		+
<i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann) Anagnostidis 2001			+				+
<i>Leptolyngbya valderiana</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988			+				+
<i>Leptolyngbya</i> spp. Anagnostidis & Komárek 1988					+		+
<i>Microcoleus</i> cf. <i>vaginatus</i> Gomont ex Gomont 1892				+			
<i>Nostoc punctiforme</i> Hariot 1891							+
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>ornat</i> Kützing ex Gomont 1892			+		+		
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925						+	
<i>Phormidium articulatum</i> (N.L.Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988			+		+		
<i>Phormidium</i> sp. 1 Kützing ex Gomont 1892					+		
<i>Symploca</i> cf. <i>muscorum</i> Gomont ex Gomont 1892			+		+		
<i>Symploca lacrimans</i> Claus 1962							+
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli 1849			+	+	+		
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegović 1925					+		
<i>Stigonema</i> sp. C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886							+
Chlorophyta							
<i>Bracteacoccus minor</i> (Schmidle ex Chodat) Petrová 1931	+						
<i>Chlorella</i> sp. 1 Beyerinck [Beijerinck] 1890	+				+		
<i>Chlorella</i> sp. 2 Beyerinck [Beijerinck] 1890					+		
Chlorococcales 2					+		

Chlorococcales 4			+			
Chlorococcales 5	+		+	+		+
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Persoon ex Acharius) J.R.Laundon 1985		+	+	+	+	+
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kützing) P.C.Silva, K.R.Mattox & W.H.Blackwell 1972				+		
<i>Scotiella</i> sp. Fritsch, 1912	+					
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli 1849						+
<i>Trebouxia</i> sp. Puymaly 1924			+			
Bacillariophyta						
<i>Cyclotella</i> sp. (Kützing) Brébisson 1838, nom. et typ. cons.		+				
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990		+		+		+
<i>Humidophila aerophila</i> (Krasske) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+		+		+	
<i>Humidophila biceps</i> G.A.Arnott ex Cleve 2014		+		+		+
<i>Humidophila brekkaensoides</i> (Bock) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	+	+	+	+
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	+	+	+	+
<i>Humidophila contemnata</i> (E.Reichardt) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+			+		
<i>Humidophila gallica</i> (W.Smith) Lowe, Kociolek, Q.You, Q.Wang & Stepanek 2017				+		+
<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	+	+		+
<i>Humidophila paracontenta</i> var. <i>magisconcava</i> (Lange-Bertalot) R.L.Lowe & al. 2014			+			
<i>Humidophila perpusilla</i> (Grunow) R.L.Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+		+		+
<i>Humidophila</i> sp. 2 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014	+					
<i>Humidophila</i> sp. 3 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2015	+					
<i>Humidophila</i> sp. 5 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2016				+		+
<i>Humidophila vidalii</i> (Van de Vijver, Ledeganck & Beyens) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+			+		
<i>Luticola</i> sp. D.G.Mann 1990		+		+		+
<i>Navicula</i> sp. 2 Bory 1822				+		
<i>Nitzschia</i> sp. 1 Hassall 1845						+
<i>Nitzschia valdestriata</i> Aleem & Hustedt 1951		+				
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) Pfitzer 1871	+	+	+	+	+	
<i>Pinnularia</i> sp. Ehrenberg 1843					+	
<i>Sellaphora</i> aff. <i>seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann 1989		+		+		+
<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) Wetzel & Ector 2015		+				+
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E.Wetzel & D.G.Mann 2015		+		+		
<i>Simonsenia delognei</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1979		+		+		+
<i>Tryblionella debilis</i> Arnott ex O'Meara 1873		+		+		+

Prema procentualnoj zastupljenosti razdela po sezonama (Slika 22), zapaža se dominacija predstavnika Bacillariophyta i Cyanobacteria tokom sve tri sezone, dok Chlorophyta ne prelaze 20%. U uzorcima biofilma iz ulazne zone pećine, Bacillariophyta su dominirale u Sezoni 1 i Sezoni 3, Cyanobacteria u Sezoni 2, dok su Chlorophyta bile skoro podjednako zastupljene kroz sezone. Ako poredimo uzorke biofilma iz ulazne zone pećine i lampenflore, veći broj taksona (koji raste od prve ka trećoj sezoni) zabeležen je u uzorcima lampenflore. U njima su pripadnici Cyanobacteria i Bacillariophyta približno jednako zastupljeni kroz sezone, a procentualni udeo Chlorophyta ne prelazi 17%.



Slika 22. Procentualna zastupljenost razdela po sezonama u Resavskoj pećini predstavljena zasebno za sve taksone cijanobakterija i eukariotskih algi, taksone dokumentovane u ulaznoj zoni pećine i taksone dokumentovane u lampenflori.

4.4.5. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Stopića pećini

U Stopića pećini (Tabela 13) je, u 2016. godini i sve tri sezone 2017. godine zabeleženo ukupno 136 taksona razvrstanih u tri dominantna razdela aerofitskih fototrofa: Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta. Uopšteno govoreći dominiraju pripadnici Cyanobacteria, pre svega kokoidne, a zatim trihalne (homocitne i heterocitne forme). Rodovi sa najviše zabeleženih taksona su *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Leptolyngbya* i *Scytonema*. Chlorophyta se karakterišu većim brojem kokalnih predstavnika, a rodovi poput *Chlorella* i *Trochiscia* su bili prisutni na gotovo svim ispitivanim tačkama. Što se tiče razdela Bacillariophyta, najveći broj vrsta je zabeležen u okviru rodova *Humidophila*, *Cymbopleura* i *Luticola*.

Kroz sezone 2017. godine nije primećeno značajno odstupanje u broju taksona inajviše ih je zabeleženo u Sezoni 1, zatim Sezoni 3 i Sezoni 2. Za sve sezone je karakteristično to što je broj taksona detektovanih u biofilmu iz ulazne zone pećine viši od broja taksona detektovanih u uzorcima lampenflore, dok je u odnosu na 2017. godinu, ukupan broj taksona u 2016. godini bio manji, kada je samo jednom uzorkovano.

Tabela 13. Spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi zabeleženih u Stopića pećini. PS – preliminarno uzorkovanje u Stopića pećini 2016. godine (podaci objavljeni u Nikolić i sar., 2020), S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3, La – uzorak lampenflore, U – uzorak biofilma iz ulazne zone pećine.

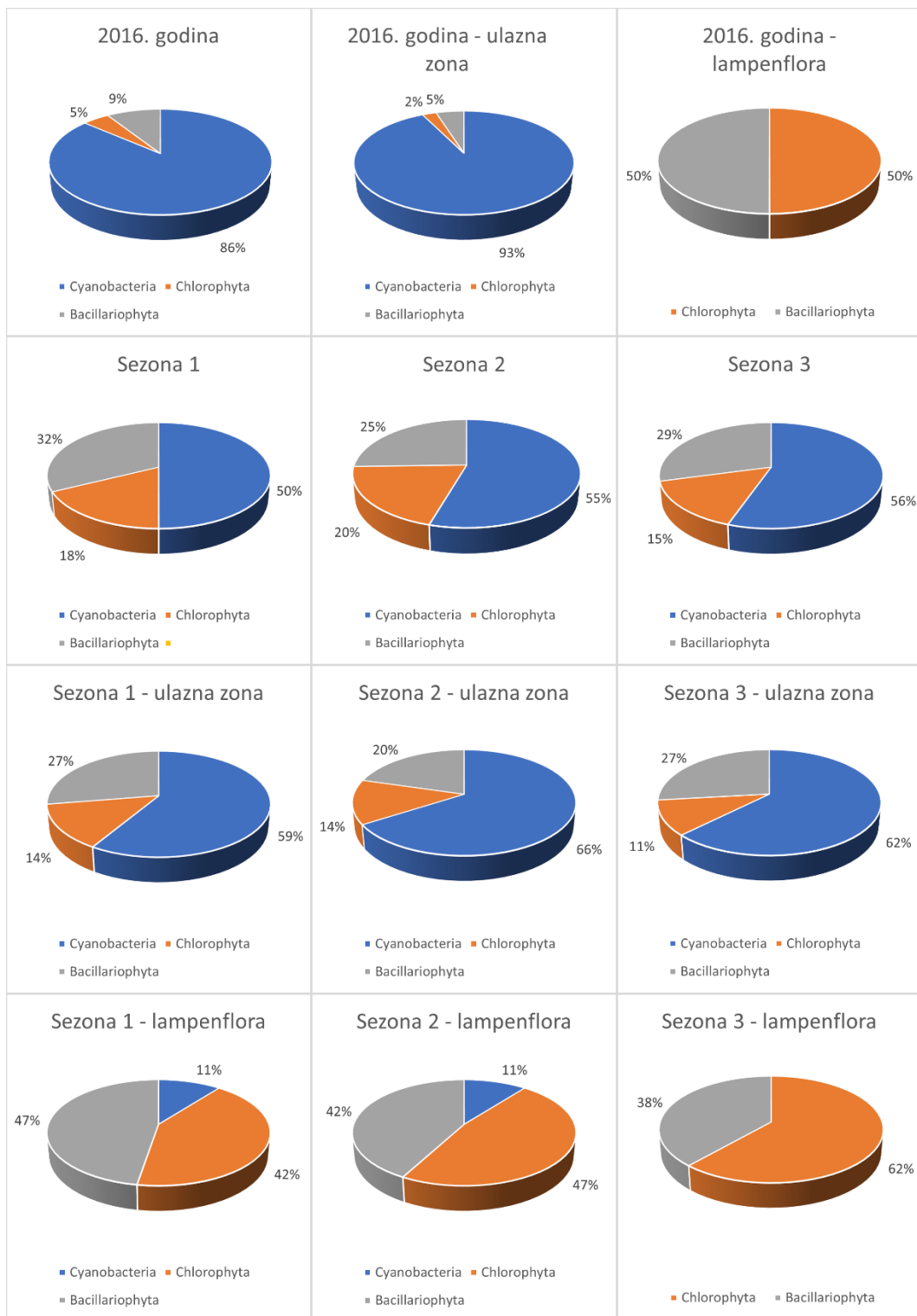
Takson	Sezona	PS		S1		S2		S3	
	Uzorak	U	La	U	La	U	La	U	La
Cyanobacteria									
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>planctonica</i> (G.M.Smith) Komárek & Anagnostidis		+							
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>endolithica</i> var. <i>violascens</i> Ercegović 1925								+	
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919		+		+				+	
<i>Aphanocapsa rivularis</i> (Carmichael) Rabenhorst		+							
<i>Aphanocapsa</i> sp. 1 C.Nägeli 1849		+		+		+			
<i>Aphanothece</i> cf. <i>bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst 1865				+					
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849		+		+					
<i>Asterocapsa</i> sp. 1 H.-J.Chu 1952				+		+			
<i>Asterocapsa</i> sp. 2 H.-J.Chu 1953				+		+			
<i>Asterocapsa</i> spp. H.-J.Chu		+							
<i>Calothrix fusca</i> Bornet & Flahault 1886								+	
<i>Calothrix</i> sp. 1 C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886								+	
<i>Chondrocystis dermochroa</i> (Nägeli) Komárek & Anagnostidis		+							
<i>Chroococcus</i> cf. <i>spelaeus</i> Ercegovic 1925		+		+		+		+	
<i>Chroococcus ercegovicii</i> Komárek & Anagnostidis 1995		+		+		+		+	
<i>Chroococcus helveticus</i> Nägeli 1849				+					
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli 1894				+		+			
<i>Chroococcus</i> sp. 1 (Kützing) Nägeli 1849				+					
<i>Chroococcus</i> sp. 2 (Kützing) Nägeli 1850				+				+	
<i>Chroococcus</i> sp. 5 (Kützing) Nägeli 1849						+			
<i>Chroococcus</i> spp. (Kützing) Nägeli 1851						+			
<i>Chroococcus tenax</i> (Kirchner) Hieronymus 1892				+		+		+	
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849		+		+		+		+	
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun 1876		+		+		+		+	
<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Nägeli) Komárek		+						+	
<i>Eucapsis</i> sp. 1 F.E.Clements & H.L.Shantz 1909		+		+		+			
<i>Eucapsis</i> sp. 2 F.E.Clements & H.L.Shantz 1910				+					
<i>Gloeobacter violaceus</i> Rippka, J.B.Waterbury & Cohen-Bazire, nom. cons. 1974		+							
<i>Gloeocapsa alpina</i> Nägeli		+							
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kützing		+							
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>alpina</i> Nägeli 1865						+		+	
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>atrata</i> Kützing 1843				+		+		+	
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>granosa</i> (Berkeley) Kützing		+							

<i>Gloeocapsa compacta</i> Kützing	+							
<i>Gloeocapsa nigrescens</i> Nägeli 1865	+		+		+	+	+	
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli 1849	+		+					
<i>Gloeocapsa</i> sp. Kützing	+							
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>pleurocapsoides</i> (Nováček) Komárek & Anagnostidis ex Komárek 1993			+				+	
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>polyedrica</i> (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis 1994							+	
<i>Gloeocapsopsis</i> sp. 1 Geitler ex Komárek 1993							+	
<i>Gloeothece</i> cf. <i>incerta</i> Skuja	+							
<i>Gloeothece</i> cf. <i>dubia</i> (Wartmann) Geitler 1932							+	
<i>Gloeothece fuscolutea</i> (Nägeli ex Kützing) Nägeli 1849			+					
<i>Gloeothece palea</i> (Kützing) Nägeli 1849					+			
<i>Gloeothece rupestris</i> (Lyngbye) Bornet 1880			+		+		+	
<i>Gloeothece</i> sp. 1 Nägeli 1849			+					
<i>Gloeothece tepidariorum</i> (A.Braun) Lagerheim 1883							+	
Kokoidna Cyanobacteria 3					+		+	
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>truncata</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek 1988			+					
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988	+		+		+			
<i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann) Anagnostidis 2001					+			
<i>Leptolyngbya</i> sp.1 Anagnostidis & Komárek	+							
<i>Leptolyngbya</i> sp.2 Anagnostidis & Komárek	+							
<i>Leptolyngbya</i> spp. Anagnostidis & Komárek 1988					+		+	
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet & Flahault 1931			+		+		+	
<i>Nostoc punctiforme</i> Hariot 1891	+		+		+		+	
<i>Nostoc</i> sp. 2 Vaucher ex Bornet & Flahault 1886	+		+					
Nostocales 1			+					
Nostocales 2			+					
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>ornata</i> Kützing ex Gomont 1892							+	
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>tenuis</i> C.Agardh ex Gomont 1892					+		+	
<i>Oscillatoria</i> sp. 1 Vaucher ex Gomont 1892							+	
<i>Phormidium articulatum</i> (N.L.Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988			+	+				
<i>Phormidium corium</i> Gomont ex Gomont	+							
<i>Phormidium</i> sp. 1 Kützing ex Gomont 1892							+	
<i>Phormidium</i> spp. Kützing ex Gomont 1892							+	
<i>Porphyrosiphon fuscus</i> Gomont ex Frémy	+							
<i>Pseudophormidium</i> sp. 1 (Forti) Anagnostidis & Komárek 1988							+	
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925							+	
<i>Scytonema</i> cf. <i>bruneum</i> Schmidle	+							
<i>Scytonema</i> cf. <i>varium</i> Kützing ex Bornet & Flahault 1886					+		+	
<i>Scytonema drilosiphon</i> Elenkin & V.I.Polyansky	+							
<i>Scytonema hofmannii</i> C.Agardh ex Bornet & Flahault	+							
<i>Scytonema mirabile</i> Wolle 1889	+				+			
<i>Scytonema subtile</i> K.Möbius	+							
<i>Scytonema</i> sp. 1 C.Agardh ex É.Bornet & C.Flahault 1886							+	
<i>Scytonema</i> sp. 2 C.Agardh ex É.Bornet & C.Flahault 1887	+						+	
<i>Stigonema</i> spp. C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886					+		+	

<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli 1849					+			
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegović 1925			+					
<i>Tolypothrix</i> sp. 1 Kützing ex Bornet & Flahault 1886					+		+	
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kützing ex Bornet & Flahault	+							
<i>Wolskyella</i> sp. Claus 1963			+		+		+	
Chlorophyta								
<i>Bracteacoccus minor</i> (Schmidle ex Chodat) Petrová 1931			+					
<i>Chlorella</i> sp. 1 Beyerinck [Beijerinck] 1890		+	+	+	+		+	+
<i>Chlorella</i> sp. 2 Beyerinck [Beijerinck] 1890			+	+	+	+	+	+
Chlorococcales 1				+				
Chlorococcales 2						+		
Chlorococcales 3			+					
Chlorococcales 4			+					
Chlorococcales 5			+		+	+	+	
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Persoon ex Acharius) J.R.Laundon 1985			+		+	+	+	+
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli 1849					+			
<i>Klebsormidium subtile</i> (Kützing) Mikhailyuk, Glaser, Holzinger & Karsten 2015				+		+		+
<i>Klebsormidium</i> sp. P.C.Silva, Mattox & W.H.Blackwell 1972						+		+
<i>Scotiella</i> sp. Fritsch, 1912				+		+		+
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli 1849				+				+
<i>Stichococcus chlorelloides</i> Grintzesco & Péterfi 1932				+				
<i>Trebouxia</i> sp. Puymaly 1924						+	+	
<i>Trochiscia</i> sp. Kützing 1888	+	+	+	+	+	+	+	+
Bacillariophyta								
<i>Aulacoseira</i> sp. Thwaites 1848			+					
<i>Cymbopleura frequens</i> Krammer 2003			+		+	+	+	
<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>korana</i> Krammer 2003							+	
<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>minor</i> Krammer			+		+	+	+	
<i>Cymbopleura similis</i> (Krasske) Krammer 2003			+					
<i>Cymbopleura</i> sp. (Krammer) Krammer 1999			+				+	
<i>Encyonema ventricosum</i> (C.Agardh) Grunow 1875				+				
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990							+	
<i>Hantzschia</i> sp. Grunow	+							
<i>Humidophila aerophila</i> (Krasske) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014			+		+		+	
<i>Humidophila biceps</i> G.A.Arnott ex Cleve 2014						+		
<i>Humidophila brekkaensoides</i> (Bock) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014			+		+			
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014			+	+	+	+	+	
<i>Humidophila contemnata</i> (E.Reichardt) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014			+					
<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014				+		+		+
<i>Humidophila</i> sp. 1 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014		+					+	+
<i>Humidophila</i> sp. 3 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2015						+		
<i>Luticola frequentissima</i> Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013			+					+
<i>Luticola quinquenodis</i> (Grunow) Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013			+	+	+		+	

<i>Luticola</i> sp. D.G.Mann 1990					+			
<i>Luticola triundulata</i> Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013					+			
<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827			+				+	
<i>Meridion constrictum</i> Ralfs 1843								+
<i>Navicula lundii</i> E.Reichardt 1985			+					
<i>Navicula</i> sp.1 Bory 1822					+		+	
<i>Navicula</i> sp.2 Bory 1823							+	
<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot 1976						+		+
<i>Nitzschia</i> sp. 1 Hassall 1845					+		+	
<i>Nitzschia</i> sp. 2 Hassall 1846			+					
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) Pfitzer 1871			+	+			+	
<i>Orthoseira</i> spp. Thwaites 1848		+						
<i>Pinnularia</i> sp. Ehrenberg 1843	+						+	
<i>Pinnularia rabenhorstii</i> Hilse 1859			+					
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999				+				
<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel & Van de Vijver 2015				+				
<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) Wetzel & Ector 2015				+		+		

Slika 23 prikazuje procentualnu zastupljenost razdela cijanobakterija i eukariotskih algi u 2016. kao i u 2017. godini po sezonama, pri čemu se za obe godine analiziraju zasebno svi podaci, podaci iz ulazne zone i podaci vezani za lampenfloru. U 2016.godini predstavnici razdela Cyanobacteria su značajno dominirale u ulaznoj zoni pećine, dok su u lampenflori podjednako bili zastupljeni razdela Chlorophyta i Bacillariophyta. Dominacija Cyanobacteria se zapaža kroz sezone i u 2017. godini ako posmatramo sve podatke zajedno, ali i u slučaju kada posmatramo samo ulaznu zonu. U uzorcima lampenflore taksoni iz razdela Cyanobacteria su retko zabeleženi, dok razdeo Chlorophyta dominiraju i njihova procentualna zastupljenost blago raste od Sezone 1 ka Sezoni 3. Od značaja je pomenuti i visok procentualni udeo razdela Bacillariophyta u uzorcima lampenflore.



Slika 23. Procentualna zastupljenost razdela po sezonama u Stopića pećini predstavljena zasebno za sve taksone cijanobakterija i eukariotskih algi, taksone dokumentovane u ulaznoj zoni pećine i taksone dokumentovane u lampenflori i procentualna zastupljenost razdela u 2016. godini, taksone dokumentovanih u ulaznoj zoni pećine i taksone dokumentovanih u uzorcima lampenflora.

4.4.6. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u Potpečkoj pećini

U Potpeć pećini (Tabela 14) je u 2016. godini i tri sezone uzorkovanja 2017. godine zabeleženo ukupno 96 vrsta iz tri dominantna razdela aerofitskih fototrofa: Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta. Najviše taksona pripada razdelu Cyanobacteria, a prate ga Bacillariophyta i Chlorophyta. Po broju zabeleženih vrsta u razdelu Cyanobacteria dominiraju rodovi *Aphanocapsa*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Leptolyngbya* i *Phormidium*. Najraznovrsniji rod silikatnih algi je *Humidophila*, a izdvajaju se i *Epithemia*, *Cymbopleura* i *Pinnularia*.

Kada poredimo sezone uzorkovanja u 2017. godini zapažamo da se sa većim brojem taksona izdvajaju Sezona 1 i 2, a najmanje ih je zabeleženo tokom Sezone 3. U sve tri sezone u 2017. godini dokumentovan je veći broj taksona u ulaznoj zoni pećine u odnosu na lampenfloru, a ista situacija je bila i u 2016. godini (Nikolić i sar., 2020).

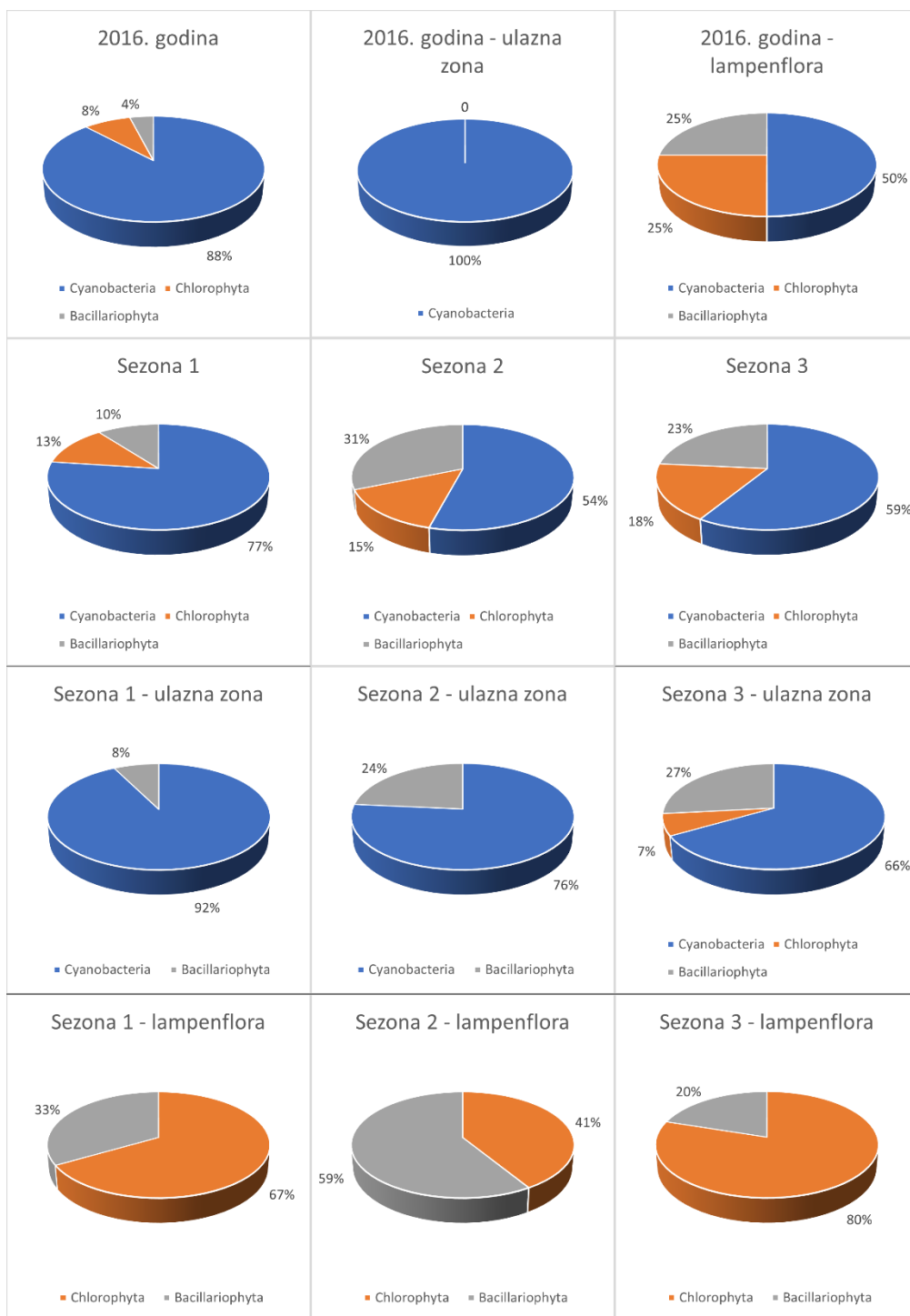
Tabela 14. Spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi zabeleženih u Potpečkoj pećini. PP – preliminarno uzorkovanje u Potpečkoj pećini 2016. godine (podaci objavljeni u Nikolić i sar., 2020), S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3, La – uzorak lampenflore, U – uzorak biofilma iz ulazne zone pećine.

Takson	Sezona	PP		S1		S2		S3	
	Uzorak	U	La	U	La	U	La	U	La
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>endolithica</i> var. <i>violacescens</i> Ercegović 1925				+		+			
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansgirg 1983				+					
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919				+					
<i>Aphanothece castagnei</i> (Kützing) Rabenhorst 1865						+			
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849						+			+
<i>Aphanothece pallida</i> (Kützing) Rabenhorst 1863				+					
<i>Aphanocapsa</i> sp. 1 C.Nägeli 1849						+			
<i>Asterocapsa</i> sp. 3 H.-J.Chu				+					
<i>Asterocapsa</i> spp. H.-J.Chu		+							
<i>Calothrix fusca</i> Bornet & Flahault 1886									+
<i>Calothrix</i> sp. 1 C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886						+			
<i>Calothrix</i> sp. 2 C.Agardh ex Bornet & Flahault 1887									+
<i>Chroococcus</i> cf. <i>spelaeus</i> Ercegovic 1925		+		+					
<i>Chroococcus ercegovicii</i> Komárek & Anagnostidis 1995		+		+		+			+
<i>Chroococcus pallidus</i> Nägeli		+							
<i>Chroococcus spelaeus</i> Ercegovic 1925				+					
<i>Chroococcus</i> sp. 3 (Kützing) Nägeli 1849						+			
<i>Chroococcus</i> sp. 4 (Kützing) Nägeli 1849						+			+
<i>Chroococcus</i> sp. 5 (Kützing) Nägeli 1849						+			
<i>Chroococcus tenax</i> (Kirchner) Hieronymus 1892				+					+
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849		+		+		+			
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun 1876				+		+			+
<i>Eucapsis</i> sp. 1 F.E.Clements & H.L.Shantz 1909		+		+					
<i>Eucapsis</i> sp. 2 F.E.Clements & H.L.Shantz 1909				+					
<i>Gloeobacter violaceus</i> Rippka, J.B.Waterbury & Cohen-Bazire, nom. cons. 1974		+		+					
<i>Gloeocapsa alpina</i> Nägeli 1865		+							
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kützing 1843		+	+						
<i>Gloeocapsa biformis</i> Ercegovic 1925				+					
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>alpina</i> Nägeli 1865				+					
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>atrata</i> Kützing 1843				+		+			+
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>granosa</i> (Berkeley) Kützing		+							
<i>Gloeocapsa compacta</i> Kützing		+							
<i>Gloeocapsa nigrescens</i> Nägeli 1865		+		+		+			+
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli		+							

<i>Gloeocapsa</i> sp. 2 Kützing 1843				+				+
<i>Gloeocapsa violacea</i> Kützing 1847	+			+		+		
<i>Gloeotheca confluens</i> Nägeli 1849				+		+		
<i>Gloeotheca fuscolutea</i> (Nägeli ex Kützing) Nägeli 1849				+				+
<i>Gloeotheca rupestris</i> (Lyngbye) Bornet 1880				+				
Homocitna, trihalna Cyanobacteria				+		+		+
Kokoidna Cyanobacteria 1						+		
Kokoidna Cyanobacteria 2						+		
Kokoidna Cyanobacteria 3				+		+		+
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>ercegovicii</i> (Cado) Anagnostidis & Komárek 1988				+		+		+
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>truncata</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek 1988						+		+
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	+	+						
<i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann) Anagnostidis 2001						+		
<i>Leptolyngbya</i> sp.1 Anagnostidis & Komárek	+							
<i>Leptolyngbya</i> sp. 2 Anagnostidis & Komárek	+							
<i>Leptolyngbya</i> spp. Anagnostidis & Komárek 1988				+				
<i>Leptolyngbya valderiana</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988								+
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet & Flahault 1931	+			+		+		
<i>Nostoc punctiforme</i> Hariot 1891	+			+		+		+
<i>Nostoc</i> sp. 1 Vaucher ex Bornet & Flahault 1886				+				
<i>Oscillatoria sancta</i> Kützing ex Gomont 1892				+				
<i>Phormidium</i> cf. <i>ambiguum</i> Gomont	+							
<i>Phormidium crassivaginatatum</i> (Claus) Anagnostidis & Komárek 1988				+				
<i>Phormidium</i> sp. 1 Kützing ex Gomont	+							
<i>Phormidium</i> sp. 2 Kützing ex Gomont 1892				+				
<i>Phormidium</i> spp. Kützing ex Gomont 1892				+		+		+
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925				+				
<i>Pseudophormidium</i> sp. 1 (Forti) Anagnostidis & Komárek 1988								+
<i>Scytonema</i> sp. Agardh ex Bornet et Flahault	+							
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegovic 1925				+				
<i>Tolypothrix</i> sp. 1 Kützing ex Bornet & Flahault 1886						+		
<i>Wolskyella</i> sp. Claus 1963				+				+
Chlorophyta								
<i>Chlorella</i> sp. 1 Beyerinck		+	+	+		+	+	
<i>Chlorella</i> sp. 2 Beyerinck						+		+
<i>Chlorococcales</i> sp. 2						+		
<i>Chlorococcales</i> sp. 3				+		+		+
<i>Chlorococcales</i> sp. 4				+				
<i>Chlorococcales</i> sp. 5				+		+	+	
<i>Scotiella</i> sp. Fritsch, 1912				+		+		+
<i>Trochiscia</i> sp. Kützing 1888		+		+		+		+
Bacillariophyta								
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki 1994								+
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1875						+		
<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>minor</i> Krammer 2003				+		+		
<i>Cymbopleura</i> sp. (Krammer) Krammer 1999				+				
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson 1838						+	+	
<i>Epithemia gibba</i> (Ehrenberg) Kützing 1844							+	
<i>Epithemia frickei</i> Krammer 1987							+	
<i>Epithemia sorex</i> Kützing 1844							+	
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990						+		
<i>Humidophila aerophila</i> (Krasske) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014						+	+	+
<i>Humidophila biceps</i> G.A.Arnott ex Cleve 2014						+		
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014			+	+	+	+	+	+
<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014				+		+	+	
<i>Humidophila</i> sp. 1 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014		+						
<i>Humidophila</i> sp. 2 (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe & al., 2014				+				

<i>Humidophila vidalii</i> (Van de Vijver, Ledeganck & Beyens) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014								+	
<i>Navicula cryptotenelloides</i> Lange-Bertalot 1993								+	
<i>Nitzschia</i> sp. 1 Hassall 1845							+		
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) Pfitzer 1871									+
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg 1843									+
<i>Pinnularia rabenhorstii</i> Hilse 1859							+		+
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E. Wetzel & D.G.Mann 2015								+	

U 2016. godini pripadnici Cyanobacteria su dominirali u odnosu na ostale razdele u uzorcima lampenflore, dok su u ulaznoj zoni bile zastupljene sa 100%. Njihova dominacija se zapaža i kroz sezone u 2017. godini, što naročito dolazi do izražaja u ulaznoj zoni Potpečke pećine (Slika 24). U uzorcima lampenflore one odsustvuju u svim sezonama, za razliku od Chlorophyta koje su prisutne u svim sezonama. U uzorcima lampenflore Bacillariophyta dominiraju u Sezonu 2.



Slika 24. Procentualna zastupljenost razdela po sezonama u Potpećkoj pećini predstavljena zasebno za sve taksone cijanobakterija i eukariotskih algi, taksone dokumentovane u ulaznoj zoni pećine i taksone dokumentovane u lampenflori i procentualna zastupljenost razdela u 2016. godini, taksona dokumentovanih u ulaznoj zoni pećine i taksona dokumentovanih u uzorcima lampenflore.

4.4.7. Taksonomski sastav cijanobakterija i eukariotskih algi – poređenje svih analiziranih pećina

Tabela 15 daje prikaz svih taksona koji su dokumentovani u istraženim pećinama uzimajući u obzir obe godine i sve sezone uzorkovanja. Ukupno je zabeleženo 179 taksona koji su razvrstani u razdele Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta. Po broju taksona dominira razdeo Cyanobacteria, gde se izdvajaju rodovi *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeothece*, *Leptolyngbya*, *Phormidium* i *Scytonema* u kojima je zabeleženo pet ili više predstavnika ovog razdela. U okviru razdela Chlorophyta identifikovan je manji broj taksona, a među njima se ističu rodovi *Chlorella*, *Klebsormidium* i *Stichococcus*. Najraznovrsniji rodovi Bacillariophyta bili su *Humidophila*, *Cymboplectra*, *Navicula* i *Nitzschia*, a od toga vrste roda *Humidophila* su ubedljivo bile najbrojnije. Što se tiče ukupnog broja taksona u odnosu na lokalitet, najviše taksona je dokumentovano u Stopića pećini, a najmanje u Lazarevoj.

Tabela 15. Spisak zabeleženih taksona cijanobakterija i eukariotskih algi. L – Lazareva pećina, RA – Rajkova pećina, RI – pećina Risovača, RE – Resavska pećina, P – Potpečka pećina, S – Stopića pećina.

	Pećina					
	L	RA	RI	RE	P	S
Taksoni						
Cyanobacteria						
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>endolithica</i> var. <i>violacescens</i> Ercegović 1925				+	+	+
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek 1994	+	+	+			
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>planctonica</i> G.M.Smith) Komárek & Anagnostidis 1995						+
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansgirg 1983		+		+	+	
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919	+	+	+	+	+	+
<i>Aphanocapsa rivularis</i> (Carmichael) Rabenhorst						+
<i>Aphanocapsa</i> sp. C.Nägeli 1849		+	+	+	+	+
<i>Aphanothece castagnei</i> (Kützing) Rabenhorst 1865				+	+	
<i>Aphanothece</i> cf. <i>bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst 1865					+	+
<i>Aphanothece pallida</i> (Kützing) Rabenhorst 1863					+	
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849		+	+	+		+
<i>Asterocapsa</i> spp. H.-J.Chu 1952					+	+
<i>Calothrix fusca</i> Bornet & Flahault 1886				+	+	+
<i>Calothrix</i> spp. C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886					+	+
<i>Chroococcus</i> cf. <i>spelaeus</i> Ercegovic 1925		+			+	+
<i>Chroococcus ercegovicii</i> Komárek & Anagnostidis 1995		+			+	+
<i>Chroococcus helveticus</i> Nägeli 1849						+
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli 1894		+	+	+		+
<i>Chroococcus pallidus</i> Nägeli 1849					+	
<i>Chroococcus tenax</i> (Kirchner) Hieronymus 1892		+	+		+	+
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849		+	+		+	+
<i>Chroococcus spelaeus</i> Ercegovic 1925						
<i>Chroococcus</i> spp. (Kützing) Nägeli 1849					+	+
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun 1876		+	+	+	+	+
<i>Chondrocystis dermochroa</i> (Nägeli) Komárek & Anagnostidis						+

<i>Cyanosarcina</i> sp. Kováčik 1988				+		
<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Nägeli) Komárek 1976						+
<i>Eucapsis microscopica</i> (Komárková-Legnerová & G.Cronberg) Komárek & Hindák 2016						
<i>Eucapsis</i> spp. F.E.Clements & H.L.Shantz 1909		+	+		+	+
<i>Gloeobacter violaceus</i> Rippka, J.B.Waterbury & Cohen-Bazire, nom. cons. 1974					+	+
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kützing 1843					+	+
<i>Gloeocapsa alpina</i> Nägeli 1865					+	+
<i>Gloeocapsa biformis</i> Ercegovic 1925					+	
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>alpina</i> Nägeli 1865					+	+
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>atrata</i> Kützing 1843		+	+		+	+
<i>Gloeocapsa</i> cf. <i>granosa</i> Kützing 1847					+	+
<i>Gloeocapsa compacta</i> Kützing 1847					+	+
<i>Gloeocapsa nigrescens</i> Nägeli 1865					+	+
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli 1849					+	+
<i>Gloeocapsa</i> spp. Kützing 1843					+	+
<i>Gloeocapsa violacea</i> Kützing 1847					+	
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>pleurocapsoides</i> (Nováček) Komárek & Anagnostidis ex Komárek 1993						+
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>polyedrica</i> (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis 1994		+		+		+
<i>Gloeocapsopsis</i> spp. Geitler ex Komárek 1993			+	+		+
<i>Gloeothece</i> cf. <i>dubia</i> (Wartmann) Geitler 1932						+
<i>Gloeothece</i> cf. <i>incerta</i> Skuja 1964						+
<i>Gloeothece confluens</i> Nägeli 1849		+	+		+	
<i>Gloeothece fuscolutea</i> (Nägeli ex Kützing) Nägeli 1849		+			+	+
<i>Gloeothece palea</i> (Kützing) Nägeli 1849		+				+
<i>Gloeothece rupestris</i> (Lyngbye) Bornet 1880					+	+
<i>Gloeothece tepidariorum</i> (A.Braun) Lagerheim 1883						+
<i>Gloeothece</i> spp. Nägeli 1849		+				+
Homocitna Cyanobacteria					+	
Kalcifikovana Cyanobacteria			+			
Kokoidna Cyanobacteria	+	+	+	+	+	+
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>angustissima</i> (West & G.S.West) Anagnostidis & Komárek 1988		+	+			
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>ercegovicii</i> (Cado) Anagnostidis & Komárek 1988		+	+		+	
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>truncata</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek 1988		+	+	+	+	+
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988	+	+		+	+	+
<i>Leptolyngbya henningsii</i> (Lemmermann) Anagnostidis 2001		+	+	+	+	+
<i>Leptolyngbya valderiana</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988		+		+	+	
<i>Leptolyngbya</i> spp. Anagnostidis & Komárek 1988	+	+			+	+
<i>Microcoleus</i> cf. <i>vaginatus</i> Gomont ex Gomont 1892						
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet & Flahault 1931					+	+
<i>Nostoc punctiforme</i> Hariot 1891				+	+	+
<i>Nostoc</i> spp. Vaucher ex Bornet & Flahault 1886					+	+
Nostocales						+
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>ornata</i> Kützing ex Gomont 1892				+		+
<i>Oscillatoria sancta</i> Kützing ex Gomont 1892					+	

<i>Oscillatoria</i> cf. <i>tenuis</i> C.Agardh ex Gomont 1892						+
<i>Oscillatoria</i> sp. 1 Vaucher ex Gomont 1892						+
<i>Phormidium articulatum</i> (N.L.Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988	+			+		+
<i>Phormidium crassivaginatatum</i> (Claus) Anagnostidis & Komárek 1988					+	
<i>Phormidium</i> cf. <i>ambiguum</i> Gomont 1892					+	
<i>Phormidium corium</i> Gomont 1892						+
<i>Phormidium</i> spp. Kützing ex Gomont 1892				+	+	+
<i>Porphyrosiphon fuscus</i> Gomont ex Frémy 1927						+
<i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925		+	+	+	+	+
<i>Pseudophormidium hollerbachianum</i> (Elenkin) Anagnostidis 2001		+				
<i>Pseudophormidium</i> sp. (Forti) Anagnostidis & Komárek 1988					+	+
<i>Symploca lacrimans</i> Claus 1962				+		
<i>Symploca</i> cf. <i>muscorum</i> Gomont ex Gomont 1892				+		
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli 1849		+	+	+		+
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegović 1925		+		+	+	+
<i>Wolskyella</i> sp. Claus 1963					+	+
<i>Scytonema</i> cf. <i>bruneum</i> Schmidle 1901						+
<i>Scytonema</i> cf. <i>varium</i> Kützing ex Bornet & Flahault 1886						+
<i>Scytonema drilosiphon</i> Elenkin & V.I.Poljansky 1922						+
<i>Scytonema hofmanii</i> C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886						+
<i>Scytonema mirabile</i> Wolle 1889						+
<i>Scytonema subtile</i> K.Möbius 1892						+
<i>Stigonema</i> spp. C.Agardh ex Bornet & Flahault 1886				+	+	+
<i>Tolypothrix</i> sp. Kützing ex Bornet & Flahault 1886					+	+
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kützing ex Bornet & Flahault 1886						+
Chlorophyta						
<i>Bracteacoccus minor</i> (Schmidle ex Chodat) Petrová 1931		+	+	+		+
<i>Chlorella</i> spp. Beyerinck [Beijerinck] 1890	+	+	+	+	+	+
Chlorococcales razno	+	+	+	+	+	+
<i>Coccomyxa</i> sp. Schmidle 1901		+				
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Persoon ex Acharius) J.R.Laundon 1985		+	+	+		+
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli 1849						+
<i>Haematococcus pluvialis</i> Flotow 1844		+				
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kützing) P.C.Silva, K.R.Mattox & W.H.Blackwell 1972	+			+		
<i>Klebsormidium subtile</i> (Kützing) Mikhailiyuk, Glaser, Holzinger & Karsten 2015	+		+			+
<i>Klebsormidium</i> sp. P.C.Silva, Mattox & W.H.Blackwell 1972						+
<i>Scotiella</i> sp. Fritsch 1912		+	+	+	+	+
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli 1849	+	+	+	+		+
<i>Stichococcus chlorelloides</i> Grintzesco & Péterfi 1932	+					+
<i>Trebouxia</i> sp. Puymaly 1924	+	+	+	+		+
Trihalna Chlorophyta		+	+			
<i>Trochiscia</i> sp. Kützing 1888			+		+	+
Bacillariophyta						
<i>Achnanthyidium jackii</i> Rabenhorst 1861		+	+			
<i>Achnanthyidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki 1994		+			+	

<i>Achnantheidium straubianum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999		+				
<i>Achnantheidium</i> sp. Kützing 1844		+				
<i>Amphora inariensis</i> Krammer 1980		+				
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1875			+		+	
<i>Aulacoseira</i> sp. Thwaites 1848			+			+
<i>Cavinula lapidosa</i> (Krasske) Lange-Bertalot 1996		+				
<i>Cavinula</i> sp. D.G.Mann & Stickle 1990		+				
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838			+			
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> Håkansson & J.R.Carter 1990		+				
<i>Cyclotella</i> sp. (Kützing) Brébisson 1838, nom. et typ. cons.		+		+		
<i>Cymbopleura frequens</i> Krammer 2003						+
<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>korana</i> Krammer 2003						+
<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>minor</i> Krammer					+	+
<i>Cymbopleura similis</i> (Krasske) Krammer 2003						+
<i>Cymbopleura</i> sp. (Krammer) Krammer 1999					+	+
<i>Diatoma ehrenbergii</i> Kützing 1844			+			
<i>Encyonema ventricosum</i> (C.Agardh) Grunow 1875						+
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson 1838					+	
<i>Epithemia gibba</i> (Ehrenberg) Kützing 1844					+	
<i>Epithemia frickei</i> Krammer 1987					+	
<i>Epithemia sorex</i> Kützing 1844					+	
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990		+		+	+	+
<i>Fallacia</i> sp. Stickle & D.G.Mann 1990		+				
<i>Fragilaria</i> sp. Lyngbye 1819		+				
<i>Hantzschia</i> sp. Grunow 1877						+
<i>Humidophila aerophila</i> (Krasske) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014			+	+	+	+
<i>Humidophila biceps</i> G.A.Arnott ex Cleve 2014		+	+	+	+	+
<i>Humidophila brekkaensoides</i> (Bock) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014				+		+
<i>Humidophila contemnata</i> (E.Reichardt) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014		+		+		+
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	+	+	+	+
<i>Humidophila gallica</i> (W.Smith) Lowe, Kociolek, Q.You, Q.Wang & Stepanek 2017	+			+		
<i>Humidophila paracontenta</i> (Lange-Bertalot & Werum) Lowe et al., Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+	+	+	+	+	+
<i>Humidophila paracontenta</i> var. <i>magisconcava</i> (Lange-Bertalot) R.L.Lowe et al. 2014				+		
<i>Humidophila perpusilla</i> (Grunow) R.L.Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014				+		
<i>Humidophila</i> spp. (Lange-Bertalot & Werum) R.L.Lowe et al., 2014	+	+	+	+	+	+
<i>Humidophila vidalii</i> (Van de Vijver, Ledeganck & Beyens) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	+			+	+	
<i>Luticola frequentissima</i> Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013						+
<i>Luticola quinquenodis</i> (Grunow) Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013	+		+			+
<i>Luticola</i> sp. D.G.Mann 1990			+	+		+
<i>Luticola triundulata</i> Levkov, Metzeltin & A.Pavlov 2013						+
<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827	+					+
<i>Meridion constrictum</i> Ralfs 1843						+

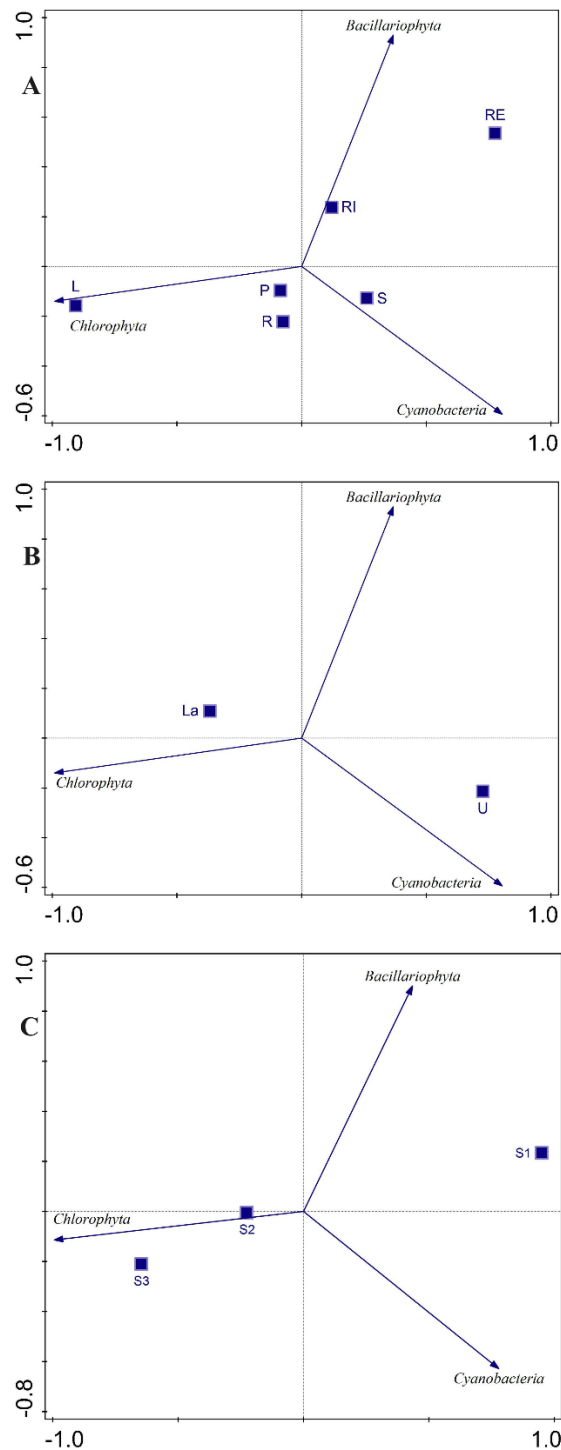
<i>Navicula cryptotenelloides</i> Lange-Bertalot 1993					+	
<i>Navicula lundii</i> E.Reichardt 1985						+
<i>Navicula veneta</i> Kützing 1844			+			
<i>Navicula</i> spp. Bory 1822			+	+		+
<i>Neidium</i> sp. Pfitzer 1871			+			
<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot 1976						+
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862			+			
<i>Nitzschia valdestriata</i> Aleem & Hustedt 1951				+		
<i>Nitzschia</i> spp. Hassall 1845				+	+	+
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) Pfitzer 1871				+	+	+
<i>Orthoseira</i> sp. Thwaites 1848		+				+
<i>Pantocsekiella ocellata</i> (Pantocsek) K.T.Kiss & Ács 2016.			+			
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg 1843					+	
<i>Pinnularia rabenhorstii</i> Hilse 1859					+	+
<i>Pinnularia</i> sp. Ehrenberg 1843				+		+
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999						+
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot 1999		+				
<i>Psammothidium</i> spp. L.Buhtkiyarova & Round 1996	+		+			
<i>Sellaphora</i> aff. <i>seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann 1989		+		+		
<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel & Van de Vijver 2015		+				+
<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) Wetzel & Ector 2015		+		+		+
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E.Wetzel & D.G.Mann 2015	+			+	+	
<i>Simonsenia delognei</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1979				+		
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round 1988		+				
<i>Tryblionella debilis</i> Arnott ex O'Meara 1873	+			+		
Ukupno	23	62	48	59	79	116

Napomena: Svi predstavnici identifikovani do nivoa roda su u zbirnoj tabeli spojeni i navedeni pod zbirnim pojmom „spp“ koji stoji uz naziv roda.

4.5. Statistička obrada podataka

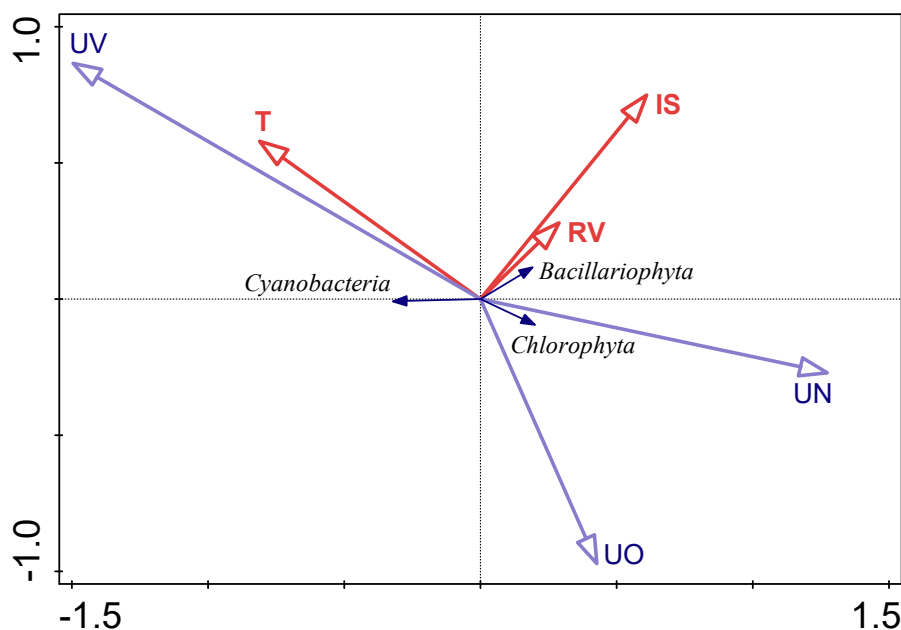
Na Slici 25 je predstavljen odnos zabeleženih fototrofa grupisanih u razdele i suplementarnih varijabli koje se odnose na lokalitet (pećinu), mesto uzorkovanja (biofilm u ulaznoj zoni pećina ili lampenflora) i sezonu u kojoj je uzorkovanje vršeno. Radi preglednosti, pomenute suplementarne varijable su u odnosu na razdele predstavljene na zasebnim dijagramima. Na osnovu broja taksona i imajući u vidu sve podatke, taksoni Cyanobacteria dominiraju u Stopića pećini, taksoni iz razdela Chlorophyta u Lazarevoj pećini, a razdeo Bacillariophyta u Resavskoj pećini, a zatim u pećini Risovača (Slika 25A). Cyanobacteria su češće beležene u uzocima biofilma sa pećinskih ulaza, Chlorophyta u lampenflori, dok su Bacillariophyta skoro podjednako identifikovane u uzorcima ulazne zone i lampenflore (Slika 25B). Posmatrajući odnos razdela fototrofa i sezone uzorkovanja (Slika 25C), zapaža se da u Sezonu 1 dominiraju Cyanobacteria i Bacillariophyta, a dodatne analize, koje nisu prikazane, su pokazale da Cyanobacteria dominiraju u Sezonu 1 ako uzmemo u obzir samo podatke vezane za ulaznu zonu pećina, dok Bacillariophyta dominiraju u Sezonu 1 ako uzmemo u obzir samo podatke vezane za lampenfloru. Zabeleženi

predstavnici Chlorophyta su pozitivno korelisani sa Sezonom 3 i Sezonom 2 (prema dodatnim analizama Chlorophyta dominiraju u Sezonu 3 ako uzmemo u obzir samo podatke vezane za lampenfloru, a u Sezonu 2 ako uzmemo u obzir samo podatke vezane za ulaznu pećinsku zonu).



Slika 25. Cijanobakterije i eukariotske alge grupisane u razdele u odnosu na: A) lokalitet (L – Lazareva pećina, RA – Rajkova pećina, RE – Resavska pećina, RI – pećina Risovača, P – Potpećka i S – Stopića pećina), B) mesto uzorkovanja (U – biofilm u ulaznoj zoni pećina, La – lampenflora), C) sezonu uzorkovanja (S1 – Sezona 1, S2 – Sezona 2, S3 – Sezona 3).

Analiza redundantnosti (Slika 26) prikazuje odnos cijanobakterija i eukariotskih algi grupisanih u razdele, ekoloških parametara i parametara biofilma (UV, UO, UN). Zapaža se da Cyanobacteria pokazuju pozitivnu korelaciju sa temperaturom vazduha, zabeleženi taksoni Bacillariophyta pozitivno korelišu sa intenzitetom svetla i relativnom vlažnošću vazduha, a predstavnici Chlorophyta sa relativnom vlažnošću vazduha. Sa druge strane, imajući u vidu UV, UO i UN, od značaja je pomenuti pozitivnu korelaciju razdela Cyanobacteria i procentualnog udela vode, kao i pozitivnu korelaciju razdela Chlorophyta i udela organske materije u biofilmu.

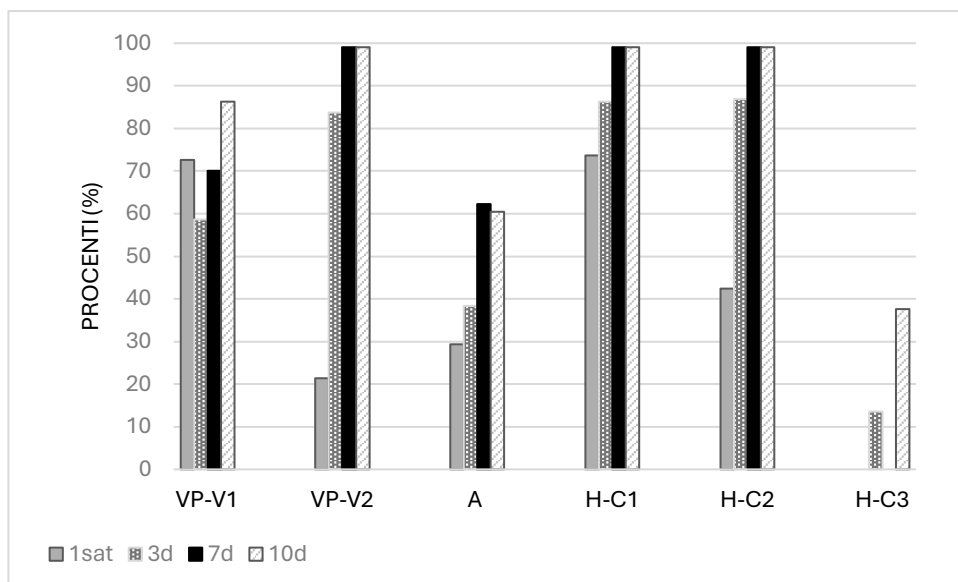


Slika 26. Cijanobakterije i eukariotske alge grupisane u razdele u odnosu na eksplanatorne varijable (T – temperatura vazduha, RV – relativna vlažnost vazduha i IS – intenzitet svetlosti) i suplementarne varijable (UV – procentualni udeo vode u biofilmu, UO – procentualni udeo organske materije u biofilmu i UN – procentualni udeo neorganske materije u biofilmu).

4.6. Ispitivanje efikasnosti biocida na suzbijanje rasta zelene alge *Chlorella* sp.

Efekat odabranih biocida (vodonik-peroksid, komercijalni algicid i jedinjenje na bazi hlora) na rast zelene alge (*Chlorella* sp.) ispitan je u laboratorijskim uslovima.

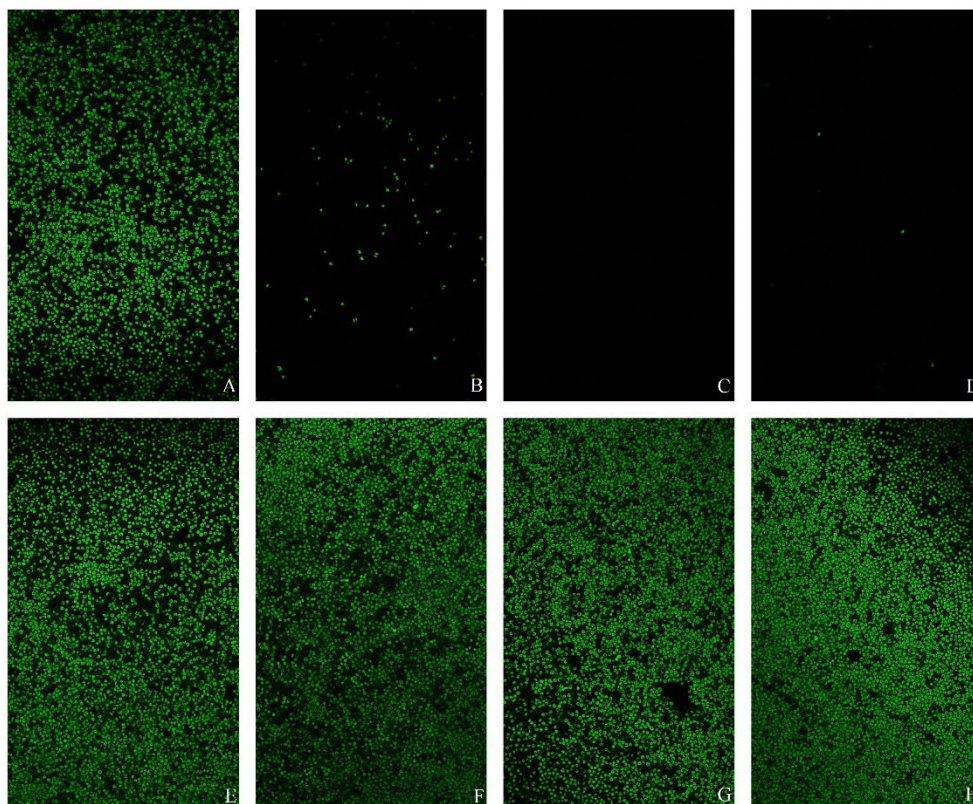
Komercijalni algicid je u smislu biocidnog dejstva, a u odnosu na ostala ispitana jedinjenja imao najmanju efikasnost. Maksimalni učinak ovog jedinjenja u pogledu eliminacije biomase zelene alge u kulturi zapažen je nakon 7 i 10 dana od početka tretmana, kada je ustanovljeno da je u odnosu na kontrolu koncentracija hlorofila *a* niža za oko 60% (Grafik 28).



Grafik 28. Efekat odabranih biocida na rast zelene alge *Chlorella* sp. izražen kroz procenat smanjenja koncentracije hlorofila *a* nakon jednog sata (1 sat), 3 dana (3d), 7 dana (7d) i 10 dana (10d); VP – vodonik-peroksid u koncentraciji od 15% (VP-V1 – 60 μ L, VP-V2 – 120 μ L), A – komercijalni algicid, H – jedinjenje na bazi hlora (H-C1 – koncentracija 0,1 ml/L, H-C2 – koncentracija 0,05 ml/L, H-C3 – koncentracija 0,01 ml/L). Rezultati eksperimenta objavljeni su u radu Nikolić i sar. (2021).

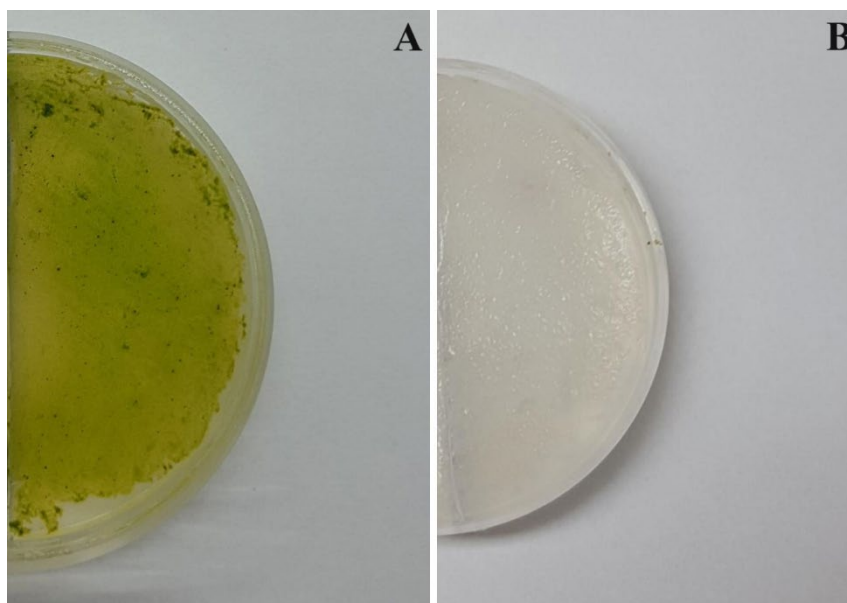
Vodonik-peroksid u koncentraciji od 15% je upotrebljen u dve zapremine (60 μ L (VP-V1) i 120 μ L (VP-V2) kojima je tretirana kultura zelene alge (*Chlorella* sp.) razvijena na čvrstom BG11 medijumu. Obe koncentracije H₂O₂ ispoljile su biocidno dejstvo, ali nisu bile efikasne u istoj meri. Koncentracija hlorofila *a* se nakon 10 dana od tretiranja prvom zapreminom (VP-V1) smanjila za 86,3% u odnosu na kontrolu, dok je VP-V2 nakon 7 dana dovela do potpune eliminacije biofilma u kulturi (Grafik 28).

Jedinjenje na bazi hlora je u svrhe ispitivanja biocidnog dejstva upotrebljeno u tri različite koncentracije od 0,01 ml/L, 0,05 ml/L i 0,1 ml/L. Najslabija koncentracija pomenutog jedinjenja je imala najbolji efekat nakon 10 dana od početka tretmana, kada je zapaženo da je koncentracija hlorofila *a* u odnosu na kontrolu niža za 37%. Maksimalna efikasnost jedinjenja na bazi hlora u koncentraciji od 0,05 ml/L je postignuta nakon 7 dana kada je u potpunosti redukovana biomasa alge koja se razvila u kulturi, odnosno kada je primećeno potpuno izbeljivanje hlorofila. Pri upotrebi koncentracije od 0,1 ml/L biocidni efekat je bio vidljiv već nakon 1 časa od tretmana kada je koncentracija hlorofila *a* od kontrolne bila manja za 7,6%, dok je maksimalni efekat postignut za 7 dana (Grafik 28). Konfokalnom skenirajućom laserskom mikroskopijom upoređeno je biocidno dejstvo najniže i najviše koncentracije ovog jedinjenja (Slika 27).



Slika 27. Prikaz biocidnog dejstva najviše i najniže koncentracije jedinjenja na bazi hlora u odnosu na kulturu zelene alge *Chlorella* sp. analiziran konfokalnom skenirajućom laserskom mikroskopijom (CLSM): 0,1 mL/L (A – 1 sat, B – 3 dana, C – 7 dana, D -10 dana); 0,01 mL/L (E – 1 sat, F – 3 dana, G – 7 dana, H – 10 dana). Rezultati eksperimenta objavljeni su u radu Nikolić i sar. (2021).

Izgled kulture zelene alge *Chlorella* sp. i primer potpunog biocidnog dejstva pre i posle tretmana efikasnom zapreminom ili koncentracijom određenog biocida prikazan je na Slici 28.



Slika 28. Izgled kulture zelene alge *Chlorella* sp. i primer potpunog biocidnog dejstva pre (A) i posle (B) tretmana efikasnom zapreminom ili koncentracijom određenog biocida. Rezultati eksperimenta objavljeni su u radu Nikolić i sar. (2021).

5. Diskusija

5.1. Ekološki parametri u pećinama

Pećine se definišu kao izolovana staništa, siromašna hranljivim materijama staništa, koja se odlikuju ekološkim parametrima i klimom koja se obično razlikuje od one koja vlada u spoljašnjoj sredini (Czerwik-Marcinkowska, 2013). Ulazna zona pećina na neki način predstavlja graničnu zonu između spoljašnje sredine i pravog pećinskog staništa u kom su ekološki faktori relativno stabilni. Međutim, na ekološke faktore u pećinama, naročito temperaturu i relativnu vlažnost vazduha, utiču mnogi drugi parametri, tako da njihove vrednosti zavise od geografske širine i dužine na kojoj se pećina nalazi, morfologije pećine, broja ulaza, prisustva vode, protoka vode i strujanja vazduha, a bitan podatak je i da li je pećina prilagođena turističkim posetama (Cigna, 2012; Czerwik-Marcinkowska, 2013; <https://nckri.org/caves/cave-climates/>; Pentecost i Whitton, 2012).

Temperatura vazduha u pećinama je relativno stabilna, jer stenama u blizini ulaza treba više vremena da se ohlade ili ugrelu, pa pećine ne menjaju brzo temperaturu. Umesto toga, u ulaznoj zoni pećine topli i hladni vazduh se ujednačavaju, pa temperatura u unutrašnjosti pećine postaje prosečna temperatura spoljašnje temperature tokom godine (<https://nckri.org/caves/cave-climates/>). Jedan od bitnih faktora koji utiče na pomenuti parametar je veličina pećinskog ulaza, kao i njihov broj, jer po pravilu, u pećinama sa jednim i manjim ulazom ekološki faktori su stabilniji i manje podložni promenama (<https://nckri.org/caves/cave-climates/>; Popović, 2018). Za evropske pećine karakteristična je takođe stabilna relativna vlažnost vazduha koja se kreće od 85% - 95% (Czerwik-Marcinkowska i Mrozińska, 2011). Ipak, i ovaj parametar je podložan promenama i odstupanjima, a na njega najviše utiče prisustvo vode u pećinama – prisustvo potoka ili reka, podzemnih ili prokapnih voda, kao i prisustvo veštačkog osvetljenja u turističkim pećinama (Nikolić i sar., 2020). Vrednosti RV se razlikuju u različitim pećinskim zonama i zavise i od toga kakva su morfologija pećine, veličina ulaza, kao i tip supstrata (Mejía-Ortíz i sar., 2021). Što je veća udaljenost od pećinskog ulaza, to je RV stabilnija, što se naročito odnosi na manje pećine koje se obično karakterišu prisustvom samo jednog ulaza obično manjih dimenzija (Simões i sar., 2015).

U Lazarevoj pećini vladaju tipični uslovi karakteristični za pećinska staništa, gde su ekološki faktori relativno stabilni. Izdvaja se tačka L11-Sez1* gde je zabeležena najviša vrednost T, a ujedno i najniža RV (Tabela 3). To je najverovatnije posledica blizine pećinskog ulaza, pa je pomenuto mesto uzorkovanja samim tim i pod blagim uticajem faktora spoljašnje sredine. Ulaz Lazareve pećine je u prvoj fazi rekonstrukcije pećine bio potpuno otvoren, što je značajno narušilo mikroklimu u unutrašnjosti pećine i dovelo do sušenja pećinskih struktura. Međutim, u drugoj fazi rekonstrukcije ulaz je pregrađen zidom i napravljena su vrata (Lazarević, 1998; Popović i sar., 2023). Iako između pećinske zone i spoljašnje sredine postoji fizička pregrada, otvaranje i zatvaranje vrata i blizina ulaza ipak imaju uticaja na ona mesta u pećini koja se nalaze nedaleko od ulaza. Više prosečne vrednosti RV na pojedinim mestima u pećini (L3*-L6*) (Grafik 1) možda se mogu dovesti u vezu sa morfologijom pećine. U Rajkovojoj pećini, takođe, temperatura je relativno stabilna kroz sve sezone na mestima gde je uzorkovana lampenflora (Tabela 4) sa nešto višim vrednostima na pojedinim tačkama u Sezoni 2 i 3. Prosečna RV u Rajkovojoj pećini (Grafik 3) je nešto viša u Sezoni 1, čemu doprinosi tačka RA4* (92%) (Slika 11) koja se nalazila na vlažnom sedimentu. Treba napomenuti i da su prosečne vrednosti RV bile više na tačkama koje se nalaze dublje u pećini (RA5-Pro*, RA6-Pro*) (Grafik 3), što je i očekivano. Rajkova pećina ima pregrađen mali ulaz koji se samo po potrebi otvara, tako da na ekološke parametre u pećini minimalno utiču promene u spoljašnjoj sredini, a dodatno, spada i u najduže pećine u Srbiji (Lazarević, 2004). Treba napomenuti da se odabrane tačke uzorkovanja ne nalaze u neposrednoj blizini ulaza i uglavnom

oslikavaju pravo pećinsko stanište kada se ekološki parametri uzmu u obzir. Na tački uzorkovanja (RA7) koja se nalazi ispred samog ulaza u pećinu (Slika 8) zabeležena je nešto viša T, a ujedno i viša RV što je rezultat zaklonjenosti, zasenčenosti i blizine pećinske sredine (Tabela 4). U Resavskoj pećini dve tačke (RE6 i RE7) u ulaznoj zoni pećine, koja je na ovom lokalitetu nešto veća, bile su pod uticajem klime spoljašnje sredine, što je za posledicu imalo znatna variranja vrednosti T i RV kroz sezone (Tabela 5). U pećini, tačka RE4* se izdvojila po nešto višim vrednostima T i RV, naročito u Sezonu 3. Može se pretpostaviti da ovakvim vrednostima ekoloških parametara na ovoj tački koja se nalazi na vlažnom sedimentu, doprinose pozicija mesta uzorkovanja, karakteristike staništa u tom delu pećine, kao i sam položaj reflektora koji je na samo 10 cm udaljen od mesta uzorkovanja. Osim toga, u pitanju je uzani kanal u čijoj se blizini nalazi i tačka RE3*, a koji je povezan sa poznatim delom pećine koji se naziva Koncertna dvorana. Većina tačaka uzorkovanja u pećini Risovača nalazila se u ulaznoj zoni ispred samog ulaza u pećinu, tako da su na njih izrazito uticali faktori spoljašnje sredine (Tabela 6). Vrednosti T i RV na dve tačke u pećini (RI1* i RI2*) nisu tako ekstremno varirale, ali su donekle ipak pratile sezonalnost. Pećina Risovača je manja pećina (Petrović i sar., 2012), sa kraćom turističkom stazom, a tačke RI1* i RI2* se nalaze blizu ulaza što je moguće jedan od razloga nešto većih varijacija T i RV kroz sezone u odnosu na druge prethodno pomenute lokalitete. Ipak, odlika pećinskog staništa je znatno viša srednja vrednost RV na RI1* i RI2* nego na ostalim tačkama (Grafik 7). Stopića pećina je kraća pećina koja se karakteriše velikom ulaznom zonom (Đurović, 1998; Jakovljević i sar., 2024; Kličković, 2014; Lazarević, 2004; Nikolić i sar., 2020). Ne samo da je ulazna zona pod uticajem klime spoljašnje sredine, već i ceo uređeni deo pećine, i to upravo zbog veoma velikog i imponantnog ulaza. Ekološki faktori, T i RV, u ulaznoj zoni i u pećini, su izrazito podložni promenama u zavisnosti od sezone, što se jasno zapaža u Tabeli 7. Prosečne vrednosti RV su među tačkama u pećini (S6-Pro*-S10-Pro*) skoro ujednačene i imaju nešto više vrednosti u odnosu na ulaznu zonu. Potpećka pećina (Tabela 8) se takođe karakteriše veoma velikim ulazom (Lazarević, 1981), ali varijacija T i RV na tačkama uzorkovanja u pećini (P1*-P6*) nije ni približno tako izražena kao u Stopića pećini (Tabela 7). Kada posmatramo prosečne vrednosti po tački uzorkovanja u Potpećkoj pećini, zapaža se razlika u vrednostima između ulazne i pećinske zone, ali se zapaža i da vrednosti između tačaka nisu baš ujednačene, što se posebno odnosi na P1-Pro* do P6-Pro* (Grafik 11). Pretpostavlja se da u tome značajnu ulogu igra velika ulazna zona, kao i veliki broj mikrostaništa koja doprinose različitoj mikroklimi na mestima uzorkovanja. Ujednačenost ekoloških parametara na različitim mikrostaništima – različitim mestima je od značaja i za faunu koja naseljava pećinu. Na primer, Meija-Ortíz i saradnici (2021) navode da razlike u temperaturi od samo 1 °C utiče na to da li će određeno mesto naseljavati pećinski paukovi. Isto tako, Howart (1980) navodi da smanjenje relativne vlažnosti sa 100% na 90% utiče na dugovečnost paukova *Lycosa howarthi*, smanjujući mu životni vek za 25%.

Uzimajući u obzir prosečne vrednosti T po sezoni (Grafik 13), nisu primećena značajnija variranja između sezona u Lazarevoj, Rajkovojoj i Resavskoj pećini, u kojima je većim delom uzorkovano u delovima pećina karakterističnim za tipično pećinsko stanište (Czerwik-Marcinkowska i Mrozińska, 2011). Sa druge strane, u Risovači, Stopića i Potpećkoj pećini, najviša prosečna T vezuje se za Sezonu 2, odnosno letnji period, iz razloga što se u ovim pećinama mnogo tačaka uzorkovanja nalazi u ulaznoj zoni pećina, a i morfologija im je takva da na ona mesta uzorkovanja koja se nalaze u pećini, značajnije utiču faktori spoljašnje sredine nego što je to slučaj sa prve tri pomenute pećine (Albertano, 2012; Pentecost i Whitton, 2012). Prosečna vrednost RV je kod svih pećina uvek bila najviša u Sezonu 1 (Grafik 13), što se dovodi u vezu sa prolećnim periodom, tj. većom količinom padavina, otapanjem snega, većom hidrološkim aktivnošću pećina i većom količinom prokapnih voda.

Za razliku od T i RV, intenzitet svetlosti pokazuje veća variranja (Grafik 13). U ulaznoj zoni pećina, na vrednosti IS utiči mnogi faktori među kojima su morfologija, veličina i ekspozicija pećinskog ulaza, prisustvo vegetacije, godišnje doba, doba dana ili vremenske prilike u datom trenutku (Popović, 2018). Za razliku od ulazne zone pećina, u pećinama gde je prirodno mrak,

jedini izvor svetlosti je veštačko osvetljenje, a IS na nekom mestu zavisi od tipa lampi koje se koriste, udaljenosti rasvete, ekspozicije mesta uzorkovanja. Dodatno, vremenom se IS menja i kao posledica dužine upotrebe lampi ili razvoja prašine na njima (Smith i Olson, 2007).

Na tačkama u ulaznoj zoni skoro svih pećina zabeležene su nešto niže vrednosti intenziteta svetlosti u odnosu na pojedina mesta u pećinama osvetljena rasvetom, i te vrednosti su pokazale zavisnost od kombinacija mnogih prethodno pomenutih faktora. Na mestima gde je uzorkovana lampenflora, određeni ekstremi, što se najčešće odnosi na veoma visoke vrednosti IS, zabeleženi su na svim lokalitetima. U Lazarevoj pećini je na dve tačke, L7* i L8*, zabeležen visok IS usled blizine reflektora i činjenice da je isti usmeren tako da direktno osvetljava mesta uzorkovanja (Tabela 3). U Rajkovojoj pećini izdvojila se tačka RA3*, kod koje se intenzitet svetlosti kretao od preko 5000 lux u Sezonu 1, do preko 9000 lux u Sezonu 3 (Tabela 4 i Slika 8). Položaj lampe nije promenjen u Sezonu 3, ali kako je površina na kojoj je izvršeno merenje neravna, moguće je da je uređaj za merenje drugačije bio usmeren ka svetlosti u odnosu na Sezonu 1.

5.2. Udeo vode, organske i neorganske materije u uzorcima biofilma i lampenfore

Neorganska komponenta dominira u uzorcima biofilma i lampenfore u svim pećinama. Fototrofni biofilmovi često obiluju ekstracelularnim polimernim supstancama (EPS) koje imaju lepljiva svojstva (Albertano, 2012). Na taj način biofilmovi vezuju neorganske čestice i minerale koji se vremenom talože i nakupljaju (Popović, 2018). Takođe, ulogu u obogaćivanju biofilma neorganskim česticama može imati i deterioracija supstrata. U toku metaboličke aktivnosti fototrofni mikroorganizmi rastvaraju krečnjak čime se delovi stene i neorganskih materija mešaju sa biofilmom (Macedo i sar., 2009, Pfindler i sar., 2018). Tačke uzorkovanja koje se izdvajaju na osnovu visokog UN materije u biofilmu su L11* u Sezonu 3 (Grafik 14) i RE2* u Sezonu 3 (Grafik 17). Moguće je da je prilikom uzorkovanja na L11* zahvaćen i gornji deteriorirani deo stene, a kod RE2* i deo sedimenta na kome se ova tačka uzorkovanja nalazi, što je u oba slučaja doprinelo povišenoj vrednosti UN materije u biofilmu koja je na RE2* iznosila čak 90%.

Udeo organske materije (UO) zavisi od razvijenosti biofilma ili lampenfore. Kao što je napomenuto, biofilmove čine zajednice različitih fototrofnih i drugih mikroorganizama, mnoge organske i neorganske čestice, a sve ih zajedno povezuje EPS (Popović i sar., 2020). Mogu biti jednostavni, kada su razvijeni u tankom sloju na površini supstrata, ili visoko kompleksni, heterogeni i dobro razvijeni (Albertano, 2012; Popović i sar., 2020). Često biofilmovi u ulaznoj zoni pećina imaju viši UO čemu mogu doprineti i delovi vegetacije i razne organske materije iz sredine koje na biofilm dospevaju vodom ili vetrom, a koje se u biofilm inkorporiraju zahvaljujući EPS-u (Albertano, 2012). Na mestima gde je razvijena lampenflora, UO materije može biti visok ukoliko je biofilm dobro razvijen, ali i ukoliko u sastav lampenfore pored fototrofnih mikroorganizama ulaze i mahovine (npr P6-Sez1*) (Slika 15). Bez obzira što i biofilmovi iz ulazne zone pećine i lampenflora mogu ponekad biti veoma složeni, Roldán i Hernández-Mariné (2009) su zapazili da se biofilmovi u ulaznoj zoni pećina mogu smatrati kompleksnijim zajednicama.

Na udeo vode (UV) u uzorcima biofilma i lampenfore takođe utiče razvijenost biofilma (Popović, 2018), ali i prisustvo EPS-a u biofilmu i sposobnost biofilma da zadrži vodu (Helm i Potts, 2012; Stal, 2012), dostupnost vode, godišnje doba i vreme uzorkovanja. Padavine, kao i prisustvo prokapsnih voda koje se slivaju niz zidove pećina mogu doprineti većem UV u određenom momentu, dok je kod želatinoznih uzoraka (Slika 14, Stopića pećina, tačka S1) voda u biofilmu vezana EPS-om koji sprečavaju isušivanje (Albertano 2012; Popović, 2018). EPS je izgrađen od polisaharida, proteina, lipida i nukleinskih kiselina koji zbog svoje hidrofilne prirode privlače vodu što je najbitnija uloga ovih polisaharida (Decho i Gutierrez, 2017; Helm i Potts, 2012; Pentecost i Whitton, 2012). Tačka u Resavskoj pećini RE2-Sez3* čiji je položaj bio na sedimentu i u

neposrednoj blizini reflektora (Grafik 17), imala je svega 2,38% udela vode u biofilmu. Na sedimentima nisu primećeni dobro razvijeni biofilmovi kao što je to slučaj sa ulaznom zonom pećina ili mestima koja su bila udaljena od direktnog osvetljenja i u takvim uzorcima je pretežno dominirala neorganska materija. Generalno, mišljenje je da će uzorci koji su slabo razvijeni, suvi ili teži za uzorkovanje imati manji udeo vode (Popović, 2018). Najviše vrednosti UV u biofilmu su prema ordinacionom dijagramu bili korelisani sa Stopića pećinom, čemu su posebno doprineli uzorci biofilma iz ulazne zone pećine (Slika 18).

Prema ordinacionom dijagramu (Slika 18), vrednosti sva tri parametra su veće u uzorcima biofilma iz ulazne zone pećina, što je i očekivano, imajući u vidu da su biofilmovi u ulaznoj zoni uglavnom bili kompleksniji, složeniji i bolje razvijeni od lampenflore. Takođe, zapaženo je da UV koreliše pozitivno sa Sezonom 1, dok UN i UO korelišu sa Sezonom 3. Od značaja je korelacija UO sa Sezonom 3, pogotovo u kontekstu proučavanja lampenflore.

5.3. Koncentracija hlorofila *a* u uzorcima biofilma i lampenflore

U pećinama kvalitet veštačkog osvetljenja utiče na proces fotosinteze, kao i na raznovrstnost fototrofnih mikroorganizama koji se u lampenflori razvijaju (Janeeshma i sar., 2022). U ulaznoj zoni pećina fotosinteza i produkcija hlorofila zavise od trajanja i intenziteta dnevnog svetla, uslova sredine, godišnjeg doba, prisustva padavina, i drugih faktora (Bayat i sar., 2018; Jung i Arar, 2023; Mulec i sar., 2008; Whitton, 2012). Na vrednosti koncentracije hlorofila *a* u ovom istraživanju uticalo je i to koliko su fototrofni biofilmovi bili razvijeni na određenom mestu, da li je u pitanju pretežno epilitska ili endolitska zajednica, kao i način i mogućnost prikupljanja uzoraka. Na primer, u Lazarevoj pećini (Grafik 21) najniža koncentracija hlorofila *a* je izračunata iz uzoraka sa tačaka L10* i L11*, gde je lampenflora bila razvijena u tankom sloju na stenovitom supstratu i gde je uglavnom primećen endolitski rast fototrofa (Slika 10). U Rajkovoju i pećini Risovača veća koncentracija hlorofila *a* je izračunata u uzorcima biofilma koji su prikupljeni u ulaznoj zoni pećine u odnosu na uzorke lampenflore (Grafik 22 i 23). Biofilm u ulaznoj zoni ovih pećina bio je vizuelno znatno izraženiji i kompleksniji za razliku od lampenflore. Na tački RE2* (Resavska pećina) koja se nalazi na 10 cm od veštačkog osvetljenja zabeležene su najniže vrednosti koncentracije hlorofila *a* u sve tri sezone (Grafik 24). Kao što je pomenuto, prejako osvetljenje može dovesti do oksidativnog stresa i degradacije plastida (Asencio i Aboal, 1996). Treba pomenuti, da je to ujedno ista tačka uzorkovanja na kojoj je UV bio oko 2% i gde je lampenflora uzorkovana sa sedimenta (Grafik 17). Takođe je zapaženo da pojedini uzorci lampenflore i biofilma iz ulazne zone koji su dobro hidratizirani imaju više koncentracije hlorofila *a*. Tako je u Stopića pećini, u ulaznoj zoni, viša koncentracija hlorofila *a* izračunata iz uzoraka biofilma na tačkama S1 i S2 kod kojih je određen i viši UV (Grafik 18). Iz uzoraka lampenflore na tačkama koje se nalaze bliže potoku (S7* i S8*) je takođe određena viša koncentracija hlorofila *a* u odnosu na ostale tačke, jer je za normalno funkcionisanje, obavljanje fotosinteze i metaboličke aktivnosti potrebna voda (McKew i sar., 2011; Popović, 2018).

5.4. Cijanobakterije i eukariotske alge u pećinama

Fototrofni mikroorganizmi koje naseljavaju pećine uključuju vrste koje su kosmopolitske, vrste koje su aerofitske, mada se usled prisustva prokapnih voda ili vodnih tela u pećinama mogu pronaći i vrste koje su planktonske ili potiču iz drugih tipova staništa (Falasco i sar., 2014; Levkov i sar. 2013; Pentecost i Whitton, 2012; Tofilovska 2014). Tri najvažnije grupe fototrofa koje su

ustanovljene u istraženim pećinama su Cyanobacteria (cijanobakterije), Chlorophyta (zelene alge) i Bacillariophyta (silikatne alge).

Zbog spektra mehanizama koje poseduju, a koji im omogućavaju preživljavanje u različitim uslovima životne sredine, mnoge cijanobakterije uspešno preživljavaju i u aerofitskoj sredini i pećinskim staništima. Biofilmovi u kojima cijanobakterije dominiraju su obično dobro razvijeni i usled velike količine EPS-a imaju sposobnost zadržavanja vode, što je od značaja i drugim mikroorganizmima u biofilmu (Albertano, 2012; Pentecost i Whitton, 2012, Whitton i Potts, 2012). Cijanobakterije mogu biti prisutne u pećinama i u ulaznoj zoni i lampenflori pri čemu različite morfološke grupe mogu dominirati u različitim delovima pećine: kokoidne forme u ulaznoj i prelaznoj zoni, filamentozne (homocitne i heterocitne) u pećinama na mestima koja karakteriše niži intenzitet svetlosti (Lamprinou i sar., 2009; Roldán i Hernandez-Marin, 2009). Prema nekim autorima može biti obrnuto, pa su filamentozne cijanobakterije zastupljenije u osvetljenoj zoni, a kokoidne u mračnijim delovima pećine (Czerwik-Marcinkowska i Mrozińska, 2011; Martínez i Asencio, 2011; Vinogradova i sar., 1998).

Što se zelenih algi tiče, u pećinama (bilo da je reč o ulaznoj zoni ili lampenflori) je primećena dominacija lokalnih taksona koji su malih dimenzija i jednostavne morfološke građe (Gustavs, 2010; Mulec i sar., 2008). Kokalne zelene alge imaju malu površinu u odnosu na zapreminu što usporava gubitak vode koji je krucijalan za preživljavanje. Još neke od adaptacija koje su alge razdela Chlorophyta razvile su: debeli ćelijski zid, formiranje sluznog omotača (Karsten i sar., 2007) i formiranje kolonija (Gustavs, 2010 sa pratećim referencama). Kada se formira biofilm, ćelije zelenih algi se obično nalaze u njegovim dubljim slojevima zaštićene od nepovoljnih uslova životne sredine (Franklin i Larkum 1997; Stal, 1995).

Razvoj silikatnih algi u pećinskim staništima takođe diktiraju već pomenuti faktori koji uopšteno utiču na razvoj aerofitskih fototrofa, ali se pored njih ističu i priroda supstrata, pH sredine i dostupnost silicijuma. One se mogu naći i u biofilmovima u ulaznoj zoni pećina, ali i u lampenflori, a poznato je da je njihov diverzitet veći na mestima koja su vlažnija i gde su razvijene mahovine (Falasco i sar., 2014). Prema Falasco i saradnicima (2014), ako su u pitanju biofilmovi u ulaznoj zoni pećina, treba istaći da se silikatne alge pretežno nalaze u površinskim slojevima biofilma. Među silikatnim algama, veoma često se sreću aerofitski taksoni, ali ima i mnogih koji potiču iz drugih staništa (Roldán i Hernández-Mariné, 2009; Popović, 2018; Pouličková i Hašler, 2007). Neki autori zapažaju i morfološke promene kod silikatnih algi u pećinama kao adaptaciju na specifične ekološke uslove staništa u kojima se pve alge razvijaju. To se pre svega odnosi na dimenzije ćelija, ali i na smanjen broj areola i odsustvo rafe kod nekih predstavnika (Falasco i sar., 2014 i reference iz rada).

5.4.1. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u istraženim pećinama – razdeli, diverzitet i odnos sa ekološkim parametrima

Prema mnogim autorima, u ulaznoj zoni pećine, ali i u uzorcima lampenflore, najčešće se beleže tri grupe fototrofnih mikroorganizama: Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta (Hoffmann, 2003; Piano i sar., 2015; Smith i Olson, 2007). U određenim slučajevima zabeleženo je i prisustvo Xanthophyceae i Rhodophyta (Czerwik-Marcinkowska i Mrozińska, 2009; 2011; Czerwik-Marcinkowska i sar., 2015; Kosznik-Kwaśnicka, 2022; Nikolić i sar., 2020; Popović i sar., 2021), ali su predstavnici ovih razdela ipak zastupljeni u manjoj meri.

Imajući u vidu sve lokalitete, u ovom istraživanju je zabeleženo ukupno 179 taksona iz tri razdela Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta. Najveći broj taksona (Tabela 15) je zabeležen u Stopića pećini, zatim u Potpečkoj, Rajkovoj, Resavskoj, Risovača i na kraju u Lazarevoj pećini

(Tabela 15). Iako je prosečno po sezoni sa najviše tačaka uzorkovano u Lazarevoj pećini, broj zabeleženih taksona u njoj je bio najmanji (Tabela 9). To se dovodi u vezu sa činjenicom da je u Lazarevoj pećini uzorkovana samo lampenflora u kojoj nije zabeležen veliki diverzitet fototrofa i u kojoj su uglavnom dominirale zelene i silikatne alge. U Stopića pećini je prosečno po sezoni uzorkovano takođe sa velikog broja tačaka, ali je na ovom lokalitetu nasuprot Lazarevoj pećini identifikovan najveći broj taksona (Tabela 13). Od značaja je napomenuti da je u ovoj pećini sakupljen jednak broj uzoraka biofilma sa ulazne zone i iz lampenflore, a većem diverzitetu su doprineli uzorci dobro razvijenih fototrofnih biofilma iz ulazne zone pećine (Tabela 13).

Prema ordinationom dijagramu na Slici 25 pripadnici Cyanobacteria dominiraju u Stopića pećini, razdeo Chlorophyta u Lazarevoj pećini, a pripadnici Bacillariophyta u Resavskoj i pećini Risovača. Ako se osvrnemo na statističku analizu koja prikazuje razdele u odnosu na ekološke parametre (Slika 26), Cyanobacteria pozitivno korelišu sa temperaturom vazduha, Bacillariophyta sa relativnom vlažnošću i intenzitetom svetlosti, a Chlorophyta sa relativnom vlažnošću vazduha. Uopšteno, za silikatne i zelene alge je poznato da preferiraju vlažnija staništa (Pouličková i Hašler, 2007, Pouličková i sar., 2004), a sa druge strane cijanobakterije u svojim sluzavim omotačima zadržavaju vodu, pa preživljavaju i na mestima gde voda ne mora često biti dostupna i koja su podložnija isušivanju (Whitton, 2012).

5.4.2. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u istraživanim pećinama – poređenje ulazne zone i lampenflore

Kada poredimo ulaznu zonu pećina i lampenfloru, zapažamo određene razlike imajući u vidu sastav zajednice. Ukoliko detaljno analiziramo podatke iz 2017. godine, u ulaznoj zoni Rajkove, Stopića i Potpečke pećine dominirali su predstavnici Cyanobacteria (Slike 20, 23, 24), kod pećine Risovača nije uočen jasan trend (Slika 21), a u Resavskoj pećini je na ulazu zabeležen nešto veći diverzitet Bacillariophyta (Slika 22). U lampenflori Stopića i Potpečke pećine isključivo dominiraju taksoni Chlorophyta, koji su brojni i u Lazarevoj i Rajkovojoj pećini. U Risovači i Resavskoj pećini u lampenflori se ističu Bacillariophyta (Slike 21, 22). Rezultati statističke analize (Slika 25) koja je obuhvatila sve podatke su pokazali da razdeo Cyanobacteria pretežno dominira u ulaznoj zoni pećina, razdeo Chlorophyta u uzorcima lampenflore, dok su predstavnici razdela Bacillariophyta relativno ravnomerno zastupljene na oba mesta. Nikolić i saradnici (2020) su došli do istog zaključka kada se posmatra raznovrsnost predstavnika razdela Cyanobacteria i Chlorophyta u odnosu na zonu pećine gde se biofilm razvija. Što se tiče odnosa cijanobakterija i eukariotskih algi i njihove zastupljenosti u ulaznoj zoni pećina i u uzorcima lampenflore, iz različitih istraživanja su izvedeni različiti zaključci. Jedna grupa autora (Asencio i Aboal, 2001; Buczkó i sar, 1989; Mulec i sar., 2008; Vinogradova i sar., 1995, 1998) navodi da predstavnici Cyanobacteria dominiraju u ulaznoj zoni pećina, dok su u uzorcima lampenflore uglavnom zabeležene Chlorophyta i u nešto manjoj meri Bacillariophyta. Sa druge strane, Alaoui-Sosse i saradnici (2021) navode da Chlorophyta dominiraju u ulaznoj zoni pećine, dok je procentulna zastupljenost Cyanobacteria i Bacillariophyta manja. Pouličková i Hašler (2007) su takođe zabeležili dominaciju Chlorophyta u ulaznoj zoni, dok su u zoni pećine sa instaliranim veštačkim osvetljenjem pretežno bile prisutne Cyanobacteria. Prema Mulec (2008), u lampenflori se zapaža manji diverzitet cijanobakterija i eukariotskih algi u poređenju sa ulazima pećina, a za zelene alge se smatra da su obično prvi kolonizatori i da dominiraju u uzorcima lampenflore (Mulec i Kosi, 2008; Czerwik-Marcinkowska i sar., 2015; Meyer i sar., 2017).

5.4.3. Kvalitativna analiza cijanobakterija i eukariotskih algi u istraživanim pećinama – sezonska dinamika

U Lazarevoj pećini nije zabeležen veliki divezitet fototrofnih mikroorganizama (Tabela 9). Kao što je već napomenuto, na ovom lokalitetu je uzorkovana samo lampenflora i u uzorcima su dominirali predstavnici Chlorophyta i Bacillariophyta, a nešto manje Cyanobacteria. Kroz sezone, procentualna zastupljenost silikatnih algi je opadala, dok je procentualna zastupljenost predstavnika razdela Cyanobacteria i Chlorophyta rasla (Slika 19). Veći diverzitet silikatnih algi u Sezonu 1 se možda može dovesti u vezu sa pojačanom hidrološkom aktivnošću pećine u tom periodu i većom količinom prokapnih voda (Falasco i sar., 2014). U sve tri sezone je zabeleženo prisustvo predstavnika rodova *Chlorella* i *Humidophila* koje su inače često beležene u pećinskim staništima, naročito u lampenflori (Popović i sar., 2023). U ulaznoj zoni Rajkove pećine dominirao je razdeo Cyanobacteria po broju zabeleženih taksona, čija je procentualna zastupljenost opadala od prve ka trećoj sezoni (Slika 20). Predstavnici roda *Chroococcus*, aerofitski taksoni koji se inače često beleže na krečnjačkoj podlozi (Komárek i Anagnostidis, 1998) su najčešće identifikovani. Sa druge strane, u uzorcima lampenflore dominiraju predstavnici Chlorophyta koje inače imaju široko rasprostranjenje (John i sar., 2003; Nikolić i sar., 2020a) i predstavnici Bacillariophyta čija procentualna zastupljenost blago raste od prve ka trećoj sezoni. U pećini Risovača je u uzorcima lampenflore zabeleženo prisustvo sva tri razdela u Sezonu 1, dok u Sezonu 3 razdeo Cyanobacteria nije zabeležen (Slika 21). Kao i u Rajkovoju pećini, procentualna zastupljenost silikatnih algi blago raste ka Sezonu 3. Diverzitet silikatnih algi u ovoj pećini u lampenflori nije visok, a najčešće su utvrđene vrste roda *Humidophila*. U Risovači je identifikovana *H. paracontenta* koja je još pronađena u još 12 pećina (u ulaznoj zoni i na vlažnim zidovima i sedimentu) (Nikolić i sar., 2020a), ali i u reci Rasina i na lokalitetima Jasika potok i Konjski potok (Vidaković i sar., 2018). Imajući u vidu ulaznu zonu pećine, kroz sve tri sezone je uočeno prisustvo zelene alge *Desmococcus ollivaceus* (Tabela 11), koja je inače široko rasprostranjena kosmopolitska vrsta (Rindi, 2007). U ulaznoj zoni u Sezonama 1 i 3 je zabeležena neidentifikovana homocitna cijanobakterija koja se odlikovala prisustvom deponovanog kalcijum karbonata na omotačima trihoma (slika u Prilogu, Tabla IV, slika 19). Ovaj proces se označava kao kalcifikacija i zabeležen je kod mnogih prokariotskih i eukariotskih organizama (Jung i Arar, 2023), a jedna od pretpostavki je da cijanobakterije usled deponovanja kalcijum-karbonata imaju bolju sposobnost absorpcije neorganskog ugljenika koji koriste u procesu fotosinteze. U Resavskoj pećini uzorci biofilma iz ulazne zone i lampenflore su uzeti sa različitih podloga (sa zidova, sa sedimenta blizu pešačkih staza) i u njima je registrovano prisustvo pripadnika sva tri razdela, ali se ne vidi njihov jasan trend u procentualnoj zastupljenosti po broju zabeleženih taksona kroz sezone (Slika 22). U razdelu Cyanobacteria i Chlorophyta najbrojniji su bili predstavnici koji su tipični za aerofitska staništa (taksoni koji su u identifikacionim ključevima zabeleženi kao aerofitski ili taksoni koji su morfološki više adaptirani na život u aerofitskoj sredini, kao što su kokalne zelene alge). U razdelu Bacillariophyta, dominirao je rod *Humidophila*. Prema Falasco i saradnicima (2014) vrste roda *Humidophila* su veoma zastupljene u aerofitskoj sredini i mogu se naći na različitim suvim i vlažnim supstratima, ali i u pećinama u svim osvetljenim zonama. Među identifikovanim predstavnicima roda *Humidophila* u Resavskoj pećini, ističe se prisustvo *H. brekkaensoides* u ulaznoj zoni i u uzorcima lampenflore, u svim sezonama, što je prvi nalaz ove alge na teritoriji Srbije (Nikolić i sar., 2020a). Ova vrsta je prvi put zabeležena na stenovitom supstratu u Alpima, a prema Bock (1963) *H. brekkaensoides* ne preferira krečnjak. Međutim, prema Nikolić i saradnicima (2020a), ova vrsta je zabeležena u ulaznoj zoni i uzorcima lampenflore 7 krečnjačkih pećina u Srbiji. U radu je takođe istaknuto da se zabeležene individue ovog taksona u pećinskim staništima u Srbiji karakterišu manjim dimenzijama u odnosu na one do sada dostupne u literaturi, što je verovatno posledica prilagođavanja ekstremnim uslovima života i specifičnom staništu. U Stopića i Potpečkoju pećini je zabeležena dominacija taksona iz razdela Cyanobacteria u ulaznoj zoni, kako u

2016. godini, tako i u 2017. godini, dok su Chlorophyta i Bacillariophyta dominirale u uzorcima lampenfore (Slike 23, 24). Treba napomenuti da je u Stopića i Potpečkoj pećini u 2016. godini registrovan takson klase Xanthophyceae koji nije identifikovan do nivoa roda ili vrste (Nikolić i sar., 2020), pa samim tim nije uključen u spiskove i analize u ovom istraživanju. U obe pećine su u razdelu cijanobakterija utvrđeni predstavnici kokoidnih i trihalih (homocitnih i heterocitnih formi). Sa druge strane, u uzorcima lampenfore se često nalaze rodovi *Chlorella* i *Trochiscia*, kao i predstavnici roda *Humidophila*. Prema Urzi i saradnicima (2010), *Chlorella* je često dominantna u uzorcima lampenfore. Prema Mulec (2008), *Chlorella* je često prvi kolonizator supstrata i opisana je kao r-selektivan takson (Borderie i sar., 2014) koji se odlikuje brzom reprodukcijom, brzim rastom i sposobnošću da brzo kolonizuje supstrate na kojima se ekološki uslovi menjaju usled poremećaja prirodne ravnoteže (npr. instalacija veštačkog osvetljenja koje remeti odnos temperature i relativne vlažnosti).

Generalno posmatrano, diverzitet cijanobakterija i eukariotskih algi u ulaznoj zoni i lampenflori se razlikuje i menja kroz sezone. Jasan trend u promeni zajednica od Sezone 1 ka Sezoni 3 se teško uočava, kako za ulaznu zonu, tako i za lampenfloru. I biofilmovi u ulaznoj zoni i lampenflora su podložni uticaju različitih faktora, uopšteno, na dnevnom nivou i kroz sezone, a bitno je napomenuti da veliku ulogu igraju i karakteristike mikrostaništa. Od značaja je osvrnuti se na hidrološku aktivnost pećina i prisustvo prokapnih voda koje sa sobom nose spore različitih mikroorganizama i same mikroorganizme koji se mogu inkorporirati u biofilm, privremeno ili trajno. Više prokapnih voda u pećinama se obično sreće u proleće ili nakon obilnijih padavina i topljenja snega, što povećava transport mikroorganizama i različitih čestica iz gornjih slojeva karsta u pećine.. Prolećna sezona se poklapa se početkom turističke sezone ili većim brojem turista u pećinama koje rade tokom cele godine, što utiče na veći broj mikroorganizama u pećinama koje posetioци raznose prilikom poseta, a sve traje tokom perioda kada su pećine najaktivnije i najčešće otvorene za turiste.

Ipak, prema ordinacionom dijagramu na Slici 25 u Sezoni 1 dominiraju predstavnici razdela Cyanobacteria i Bacillariophyta (Cyanobacteria dominiraju u Sezoni 1 u ulaznoj zoni pećina, dok Bacillariophyta dominiraju u Sezoni 1 u lampenflori). Predstavnici Chlorophyta pozitivno korelišu sa Sezonom 2 i Sezonom 3 (Chlorophyta dominiraju u Sezoni 3 u lampenflori, a u Sezoni 2 u ulaznoj zoni pećine).

5.5. Efekat biocida na rast zelene alge *Chlorella* sp.

Lampenflora je zabeležena širom sveta u mnogim pećinama koje su adaptirane za turističke posete, a zbog svojih najčešće negativnih posledica po stenoviti supstrat, proučavana je sa različitih aspekata (Borderie i sar., 2014; Mulec i Kosi, 2009; Nikolić i sar., 2020; Popović i sar., 2021, 2023; Pfendler i sar., 2018). U istraživanjima je najčešće fokus na njenom negativnom efektu po pećinski ekosistem uopšte. Pre svega, lampenflora menja izgled pećinskih struktura i nakita na kojima se razvija i narušava njihovu prirodnu lepotu, a pored toga ima i daleko štetnije posledice po pećinski ekosistem jer se dovodi u vezu sa deterioracijom stenovitog supstrata. Lampenflora u pećinama utiče i na trofiju pećinskog staništa, a u njenom sastavu se mogu pronaći i bakterije koje mogu izazvati respiratorne i kožne infekcije posetilaca (Jurado i sar., 2010; Saiz-Jimenez, 2012).

Lampenflora je u ovom istraživanju zabeležena u svih 6 istraživanih turističkih pećina, gde se uglavnom manifestovala kao zeleni biofilm koji se razvija na stenovitom supstratu u blizini veštačkog osvetljenja. Uzimajući u obzir sve pećine i sve tačke uzorkovanja, zapaženo je da se razvija na različitim udaljenostima od veštačkog osvetljenja. Za Lazarevu pećinu je, na primer, napomenuto da je lampenflora ustanovljena i u delovima pećine koji su udaljeni nekoliko desetina

metara od veštačkog osvetljenja, a koji su nedostupni za uzorkovanje (Popović i sar. 2023). Sa druge strane, Nikolić i saradnici (2020) su primetili da je lampenflora razvijena u neposrednoj blizini reflektora u Stopića i Potpečkoj pećini. U uzorcima lampenfore je uočena dominacija *Chlorella* sp. koja je invazivna, brzo se razmnožava i ima sposobnost da duže vremena preživljava u mraku, jer se po potrebi osim autotrofno, može hraniti i miksotrofno i heterotrofno (Borderie i sar., 2014; Fedorov i sar., 2023; Popović i sar. 2023).

U istraživanju koje su sprovedi Nikolić i saradnici (2021) je ispitan efekat komercijalnog algicida, 15% rastvora vodonik-peroksida i jedinjenja na bazi hlora u tri različite koncentracije (0,1 mg/L, 0,05 mg/L i 0,01 mg/L). Sva tri rastvora su imala biocidni efekat, ali različite efikasnosti. Komercijalni algicid se pokazao kao najslabiji u eliminaciji *Chlorella* sp., zatim vodonik-peroksid, dok je najefikasnije bilo jedinjenje na bazi hlora u koncentraciji od 0,1 mg/L. Komercijalni algicid, koji se inače koristi za sprečavanje rasta algi u akvarijumima, ima kao aktivni sastojak salicilnu kiselinu. U nekim istraživanjima je utvrđeno da salicilna kiselina stimuliše rast i razvoj viših biljaka (Hayat i sar., 2010), ali inhibira rast patogena (Yousuf, 2018). Osim toga, pomenuto je da salicilna kiselina izaziva stres u algalnim ćelijama usled povećanog protoka natrijumovih jona, što može uzrokovati ćelijsku smrt (Xu i sar., 2020). Što se tiče vodonik-peroksida, to je za sada jedno od najprihvatljivijih jedinjenja u borbi protiv lampenfore jer prilikom njegove primene nema negativnih posledica po okolinu (Cigna i Burri, 2002; Faimon i sar., 2003; Mulec i Kosi, 2009). U istraživanju Nikolić i saradnici (2021) vodonik-peroksid je u zapremini od 120 µL eliminisao kulturu roda *Chlorella* sp. za samo 7 dana. U toku procesa oksidacije kiseonik iz vodonik-peroksida privlači elektrone iz živih ćelija i na taj način dovodi do oštećenja ćelijske membrane i degradacije plastida (Draabkova i sar, 2007; Russell, 2003). Vodonik-peroksid je testiran i na fitoplanktonskoj zajednici cijanobakterija i eukariotskih algi (Weenink i sar., 2015). Utvrđeno je da niže koncentracije vodonik-peroksida (2,5 mg/L i 5 mg/L) vode do suzbijanje rasta cijanobakterija, ali nemaju efekat u borbi protiv zelenih i silikatnih algi. Osim toga, nakon primene ovih nižih koncentracija, zajednica se brzo oporavila. Sa druge strane, vodonik-peroksid čija je koncentracija bila viša od 10 mg/L je suzbio rast čitave zajednice fototrofa (Weenink i sar., 2015). Jedinjenje na bazi hlora u koncentraciji od 0,1 mg/L i 0,05 mg/L je bilo najefikasnije u eliminaciji zelene alge *Chlorella* sp. u kulturi (Nikolić i sar., 2021). Iako je ovo jedinjenje ispitivano na bakterijskim ćelijama, najverovatnije po istom principu reaguje i sa eukariotskim ćelijama, odnosno dolazi u interakciju sa enzimima i inhibira sintezu proteina (Benarde i sar., 1965, 1967; Ingols i Ridenour, 1948).

Drugi autori su takođe ispitivali efekte različitih biocida na sprečavanje rasta i razvoja lampenfore. Na primer, u Puerta-Aulesa pećini u Italiji (Addesso i sar., 2022), mesta sa razvijenom lampenflorom su tretirana rastvorom natrijum-hipohlorita, 15% rastvorom vodonik-peroksida i UV zračenjem. Eksperiment je pokazao da natrijum-hipohlorit ima najbolji i najduži efekat u eliminaciji lampenfore, dok je vodonik-peroksid imao kratkotrajni efekat, jer se posle aplikacije lampenflora ponovo razvila nakon 3 meseca. Interesantno je da u ovom istraživanju UV lampe nisu imale uticaja na lampenfloru iako su neki od autora (Borderie i sar., 2011, 2014; Pfendler i sar., 2018) naveli da UV lampe predstavljaju najefikasnije i ekološki najbolje rešenje u suzbijanju rasta lampenfore. Rugnini i saradnici (2020) su ispitivali efekat fito-derivata kao potencijalno novih biocida u cilju eliminacije biofilмова u arheološkom nalazištu Domus Aurea u Rimu. Mikroskopijom je utvrđeno da biofilm sadrži prevashodno filamentozne cijanobakterije, ali i različite bakterije i gljive. U laboratorijskim uslovima biofilm je tretiran ekstratom sladića i lavande, dok je *in situ* tretiran samo ekstratom sladića. U prvom slučaju je potvrđeno da oba rastvora imaju pozitivan efekat u suzbijanju razvoja biofilma, što se ogledalo u inhibiciji rasta cijanobakterija, dok je efekat u eliminaciji ostalih bakterija i heterotrofa bio slabiji. Biofilm se posle kratkog vremena oporavio, ali Rugnini i saradnici navode (2020) da nije u pitanju razvoj novog biofilma, već više pokušaj oštećenih ćelija fototrofa da oporave fotosintetički aparat. *In situ*, vizuelno se moglo uočiti biocidno dejstvo ekstrata sladića jer su fotosintetičke ćelije promenile boju iz zelene u svetlo žutu. Franco-Castillo i saradnici (2022) su testirali efekat dve vrste poliksometalat jonske tecnosti koje se

razlikuju po sastavu katjona (POM-IL1 i POM-IL2) i komercijalnog Preventol RI80 (koji sadrži benzalkonijum-hlorid i izopropanol) u eliminaciji lampenflore na suvom i na vlažnom krečnjačkom kamenom supstratu. POM-IL1 je imao dugotrajniji efekat u odnosu na POM-IL2 i Preventol RI80. Na suvoj steni POM-IL2 je imao veću efikasnost pri upotrebi 0,4 g, ali je njegov efekat bio značajno slabiji na vlažnom supstratu. Preventol RI80, koji inače ima antibakterijsko i antifugicidno dejstvo, pokazao se kao najslabiji rastvor u borbi protiv lampenflore (Franco-Castillo i sar., 2022). Očigledno je da samo visoke koncentracije biocida imaju brz i dugotrajan efekat u eliminaciji lampenflore, mada je još uvek nepoznato da li bi dugotrajna i česta upotreba dovela do značajnih negativnih posledica po supstrat.

U Italiji su četiri pećine bile zatvorene zbog pandemije COVID-19, što je pružilo jedinstvenu priliku za procenu uticaja privremenog zatvaranja pećina na lampenfloru u odsustvu veštačkog osvetljenja i posetilaca. Merena je koncentracija hlorofila *a* pre zatvaranja pećina, zatim nakon šest meseci od zatvaranja i ponovo nakon završetka turističke sezone. Rezultati su pokazali da privremeno zatvaranje pećina, odustvo veštačkog osvetljenja i posetilaca nisu redukovali lampenfloru (Piano i sar., 2023). Sličan zaključak je izveden i u našem radu koji je proistekao iz petogodišnjeg monitoringa lampenflore u Lazarevoj pećini (Popović i sar., 2023). Ovo sugerise da su neke vrste unutar lampenflore već adaptirane na život u uslovima niskog nivoa svetlosti ili čak potpunog mraka, što objašnjava njihovu sposobnost da opstanu u takvim uslovima bez obzira na promene uslova osvetljenja (Piano i sar., 2023).

6. Zaključci

Na osnovu istraživanja i predstavljenih rezultata izvode se sledeći zaključci:

- Prikupljanje uzoraka biofilma u ulaznoj zoni pećina i lampenflore je izvršeno u 6 turističkih pećina Srbije: Lazareva, Rajkova, Resavska, Risovača, Stopića i Potpećka pećina.
- Uzorkovanje je obavljeno 3 puta u toku 2017. godine : proleće (Sezona 1), leto (Sezona 2), jesen (Sezona 3), što se poklapa sa turističkom sezonom pećina ili periodom kada su pećine najviše posećene. Tokom 2016. godine, preliminarno je uzorkovano u Potpećkoj i Stopića pećini.
- Prikupljeno je od 7 do 12 uzoraka po svakoj sezoni u svim pećinama, sa zidova pećina, ređe sa sedimenta ili tavanice.
- U ulaznoj zoni pećina, vrednosti ekoloških parametara bili su pod uticajem faktora spoljašnje sredine, dok su u pećini mereni ekološki parametri bili relativno stabilni. Odstupanja kod pojedinih tačaka uzorkovanja i kroz sezone su posledica pozicije mesta uzorkovanja (npr. blizina ulaza, blizina veštačkog osvetljenja), veličine pećinskog ulaza, morfologije pećine.
- Udeo neorganske materije je dominirao u biofilmu, dok su udeli vode i organske komponente biofilma zavisili od stepena razvijenosti biofilma na ulazu pećina i lampenflore.
- Prosečan udeo vode (UV) se kretao od 5,04% u Rajkovoju pećini, do 68,83% u Stopića pećini, prosečan udeo organske materije (UO) je varirao od 2,54% u Rajkovoju pećini, do 41,34% u Stopića pećini, dok je neorganska materija (UN) varirala od 19,8% u Stopića pećini, do 85,57% u Lazarevoj pećini.
- Statističke analize su pokazale da su vrednosti sva tri parametra (UV, UO, UN) veće u uzorcima biofilмова iz ulazne zone pećina, a da se najmanje vrednosti sva tri parametra vezuju za Lazarevu pećinu. Dodatno, UV najviše vrednosti ima u Sezoni 1, dok UN i UO najviše vrednosti ima u Sezoni 3.
- Koncentracija hlorofila *a* je varirala kako među tačkama, tako i kroz sezone, u svim pećinama i zavisila je od razvijenosti i tipa biofilma. Najniža ($0,01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) i najviša ($34,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) vrednost koncentracije hlorofila *a* je izračunata za uzorke sakupljene iz Lazareve pećine.
- Kvalitativna analiza uzoraka biofilma iz ulazne zone pećina i lampenflore, pokazala je prisustvo ukupno 179 taksona koji pripadaju razdelima Cyanobacteria, Chlorophyta i Bacillariophyta.
- Najveći broj taksona je identifikovan u Stopića pećini (116), a najmanji u Lazarevoj (23).
- Razdeo Cyanobacteria po broju taksona korelišu sa Stopića pećinom, razdeo Bacillariophyta sa Resavskom pećinom, a razdeo Chlorophyta sa Lazarevom.
- Kada uzmemo u obzir ekološke parametre, predstavnici Cyanobacteria pozitivno korelišu sa temperaturom vazduha, predstavnici Bacillariophyta sa relativnom vlažnošću vazduha i intenzitetom svetlosti, a predstavnici razdela Chlorophyta sa relativnom vlažnošću vazduha.

- U ulaznoj zoni pećina, a na osnovu statističkih analiza, dominira razdeo Cyanobacteria, a u lampenflori razdeo Chlorophyta, dok su Bacillariophyta ravnomerno zastupljene u oba tipa uzoraka.
- Statističke analize su pokazale korelaciju predstavnika razdela Bacillariophyta i Cyanobacteria sa Sezonom 1 (Cyanobacteria u Sezonu 1 imaju veći diverzitet u ulaznoj zoni pećina, a Bacillariophyta u lampenflori), a veći diverzitet razdela Chlorophyta vezuje se za Sezone 2 i 3 (za Sezonu 3 u lampenflori, a za Sezonu 2 u ulaznoj zoni pećine).
- Testirani biocidi su pokazali različitu efikasnost u suzbijanju rasta zelene alge *Chlorella* sp. Najefikasnije je bilo jedinjenje na bazi hlora u koncentraciji od 0.1 mg/L, zatim vodonik-peroksid, dok je komercijalni algicid bio najmanje efikasan.

7. Literatura

- Addesso, R., Baldantoni, D., De Waele, J., and Miller, A.Z. 2022. Controlling lampenflora, the green disease of show caves. In 18th International Congress of Speleology - Savoie Mont Blanc 2022, Vol. IV - Karstologia Mémoires n°24 - SYMPOSIUM 04 - Geomorphology and Speleogenesis.
- Alaoui-Sosse, B., Ozaki, S., Barriquand, L., De Luca, D., Cennamo, P., Vallot, B., Alaoui-Sosse, L., Bourgeade, P., Boust, F., Aleya, L., and Pfendler, S. 2021. Does Microbial Diversity of Cave Ecosystems Differ from Outside? The Case of the Azé Show Cave (France). Research Square.
- Albertano P. 1993. Epilithic algal communities in hypogean environments. *Giornale botanico italiano* 127 (3): 386–392.
- Albertano P. 2012. Cyanobacterial biofilms in monuments and caves. In: Whitton B.A. (Ed), *Ecology of Cyanobacteria II: their diversity in space and time*. Springer, Netherlands.
- Albertano P., Bruno L., D'Ottavi D., Moscone D., and Palleschi G. 2000. Effect of photosynthesis on pH variation in cyanobacterial biofilms from Roman catacombs. *Journal of Applied Phycology* 12: 279–384.
- Albertano, P. 2003. Methodological approaches to the study of stone alteration caused by cyanobacterial biofilms in hypogean environments. In: Koestler, R.J., Koestler, V.R., Charola, A.E., and Nieto Fernandez, F.E., (Eds), *Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*. The Metropolitan Museum of Art, New York. p. 302–315.
- Aley, T. 2004. Tourist caves: Algae and lampenflora. In: J. Gunn (Ed), *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Taylor & Francis, New York. p. 1568-1570.
- Aleya L., Dauta A., and Reynolds SC. 2011. Endogenous regulation of the growth-rate responses of a spring-dwelling strain of freshwater alga, *Chlorella minutissima*, to light and temperature. *European Journal of Protistology* 47: 239-44.
- Asencio A.D., and Aboal M. 1996. Cyanophytes from Andragulla cave (Murcia, SE Spain) and their environmental conditions. *Archiv fur Hydrobiologie. Supplementband: Algological Studies* 83: 55–72.
- Asencio A.D., and Aboal M. 2001. Biodeterioration of wall paintings in caves of Murcia (SE Spain) by epilithic and chasmoendolithic microalgae. *Algological Studies* 103: 131-142.
- Baković, N. 2017. Mikrobiološka ravnoteža u špiljama otovorenim za javnost. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Georaznolikost, geobaština i geoturizam u kraškim područjima“, Perušić. 18.-19. februar 2017., 1-2 str. (poster, knjiga sažetaka).
- Bastian F., Alabouvette C. 2009. Lights and shadows on the conservation of a rock art cave: The case of Lascaux Cave. *International Journal of Speleology* 38 (1): 55-60.

- Baquedano-Estévez, C., Moreno Merino, L., de la Losa Román, A., and Durán Valsero, J. J. 2019. The lampenflora in show caves and its treatment: An emerging ecological problem. *International Journal of Speleology* 48 (3): 249-277.
- Bayat, L., Arab, M., Aliniaiefard, S., Seif, M., Lastochkina, O., and Li, T. 2018. Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. *Annals of Botany Company* 10(5), ply052.
- Benarde M.A., Israel B.M., Olivieri V.P., and Granstrom M. 1965. Efficiency of chlorine dioxide as a bactericide. *Applied Microbiology* 13 (5): 776-80.
- Benarde M.A., Snow W.B., Olivieri V.P., and Davidson B. 1967. Kinetics and mechanism of bacterial disinfection by chlorine dioxide. *Applied Microbiology* 15 (2) :257-65.
- Bock W. 1963. Diatomeen extrem trockener Standorte. *Nova Hedwigia*. 5: 199-254.
- Borderie F., Laurence A., Naoufal R., Faisl B., and Geneviève B. 2011. UV-C irradiation as a tool to eradicate algae in caves. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65: 579-84.
- Borderie F., Tête N., Cailhol D., Alaoui-Sehmer L., Bousta F., Rieffel D., Aleya L., and Alaoui-Sossé B. 2014. Factors driving epilithic algal colonization in show caves and new insights into combating biofilm development with UV-C treatments. *The Science of the Total Environment* 484: 43-52.
- Brunet J., Vidal P., and Vouvé J. 1985. *Concervation de l'Art Rupestre*. Paris:UNESCO; p 107.
- Bruno, L., and Valle, V. 2017. Effect of white and monochromatic lights on cyanobacteria and biofilms from Roman Catacombs. *International Biodeterioration & Biodegradation* 123: 286-295.
- Buczko, K., and Rajczy, M. 1989. Contributions to the flora of the Hungarian caves II. Flora of the three caves near Beremend, Hungary. *Studia Botanica Hungarica (Antea: Fragmenta Botanica)* 21: 13-26.
- Buczko K. 2003. *Diadsmis brekkaensoides* (W.Bock) Moser, Lange-Bertalot et Metzeltin: A new aerophytic diatom for the Hungarian flora. *Studia Botanica Hungarica* 34: 5-10.
- Caneva, G., Nugari, M.P., and Salvadori, O. 2009. *Plant Biology for Cultural Heritage*. Getty Conservation Institute, Los Angeles, 408 pp.
- Castellani, V. 1988. Frassasi e speleomonitoraggio. *Speleologia* 9 (18): 33-55.
- Chattova. B., Lebouvier M., and Van de Vijver B. 2018. Morphological and taxonomical analysis of the terrestrial diatom genus *Humidophila* (Bacillariophita) on Ile Amsterdam and Ile Saint-Paul (Southern Indian Ocean). *Phytotaxa* 336: 28-42.
- Chiarini, V., Duckeck, J., and De Waele, J. 2022. A Global Perspective on Sustainable Show Cave Tourism. *Geoheritage*, 14: 82.
- Cigna, A. 1993. Environmental Management of Tourist Caves: The Examples of Grotta di Castellana and Grotta Grande del Vento, Italy. *Environmental Geology* 21: 173-180.

- Cigna, A. 2005. Radon in caves. *International Journal of Speleology* 34 (1–2): 1–18. Reprinted also in the *Proc. of the 6th ISCA Congress, 2006*: 83–118.
- Cigna, A. 2011. Problem of Lampenflora in Show Caves. In *Proceedings of the 6th International Show Caves Association Congress, October 18-23, 2010, Liptovský Mikuláš, Slovakia*. Slovak Caves Administration and State Nature Conservancy of the Slovak Republic. ISBN: 978-80-89310-59-3.
- Cigna, A. 2012. Show caves. In: W.B. White, and D.C. Culver (Eds), *Encyclopedia of Caves* Elsevier, Amsterdam. p. 690-697.
- Cigna, A. 2016. Tourism and Show Caves. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues, Volume 60, Supplementary Issue 2*, pages 217-233.
- Cigna A., and Burri E. 2000. Development, management and economy of show caves. *International Journal of Speleology* 29: 1-27.
- Cigna, A., and Forti, P. 2013. Caves: The Most Important Geotouristic Feature in the World. *Tourism and Karst Areas*, 6 (1).
- Cvijan M. and Fužinato S. 2011. *Ekologija algi, skripta*. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Cvijić J. 1914. Pećina u Potpeći (promatranja iz 1913.godine) *Glasnik Srpskog geografskog društva*, sv. 3-4., Beograd.
- Czerwik-Marcinkowska J. 2013. Observations on aerophytic cyanobacteria and algae from ten caves in the Ojców national park. *Acta Agrobotanica* 66 (1): 39–52.
- Czerwik-Marcinkowska J., and Mrozińska T. 2009. Epilithic algae from caves of the Krakowsko-Częstochowska Upland (Southern Poland). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 78 (4): 301–309.
- Czerwik-Marcinkowska J., and Mrozińska T. 2011. Algae and cyanobacteria in caves of the polish jura. *Polish Botanical Journal* 56 (2): 203–243.
- Czerwik-Marcinkowska J., Wojciechowska A., and Massalski A. 2015. Biodiversity of limestone caves: aggregations of aerophytic algae and cyanobacteria in relation to site factors. *Polish Journal of Ecology* 63: 481–499.
- De Virville D., 1928. *Influence de la lumière électrique discontinue sur la flore d'une grotte*. Mayenne, Laval, Imprimerie Libraire Goupil. France.
- Decho, A.W., and Gutierrez, T. 2017. Microbial Extracellular Polymeric Substances (EPSs) in Ocean Systems. *Frontiers in Microbiology* 8: 922.
- Dobat K., 1963. Höhlenalgen bedrohen die Eiszeitmalereien von Lascaux. *Die Höhle*, 14 (2): 41-45.
- Dobat K., 1969. Die Lampenflora der Barenhöhle. In: Wagner G. (Ed), *Die Barenhöhle von Erpfingen*. Gemeinde Erpfingen, Germany, p. 29-35.

- Donlan R.M., and Costerton J.W. 2002. Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms, *Clinical Microbiology Reviews* 15 (2): 167-93.
- Douzery E.J.P., Snell E.A., Baptiste E., Delsuc F., and Philippe H. 2004. The timing of eukaryotic evolution: Does a relaxed molecular clock reconcile proteins and fossils? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101: 15386-15391.
- Draábkova A.M., Admiral W., and Marsálek B. 2007. Combined Exposure to Hydrogen Peroxide and Lights Selective Effects on Cyanobacteria, Green Algae, and Diatoms. *Environmental Science Technology* 41(1): 309-14.
- Dunne Jr, W.M. 2002. Bacterial Adhesion: Seen Any Good Biofilms Lately?. *Clinical Microbiology Reviews* 15 (2): 155-66.
- Engel, A.S. 2011. Karst microbial ecosystems. In: Reitner, J., and Thiel, V. (Eds), *Encyclopedia of Geobiology*. Springer Encyclopedia of Earth Sciences Series (EESS, formerly Kluwer Edition), Berlin, Germany, p. 521–531.
- Esteban, R. 2014. Actuaciones para la eliminación del tapiz algal presente en los espeleotemas en la rehabilitación de las grutas visitables de La Paz y de La Viña en Ortigosa de Cameros, La Rioja. *Zubía*, 32: 7-32.
- Ćurčić B., Dimitrijević R., Makarov S., Lučić I., Karamata O., and Tomić V. 1997. The Zlot Cave – a unique faunal refuge (Serbia, Yugoslavia). *Archives of Biological Science* 49 (3-4): 318-328.
- Đurović P. 1998. *Speleološki atlas Srbije*. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd.
- Ettl H. 1978. Xanthophyceae. 1. Teil. In: Ettl H., Gerloff J., and Heynig H. (Eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 3. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Ettl H. 1980. Xanthophyceae. 2. Teil. In: Ettl H., Gerloff J., and Heynig H. (Eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 4. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Ettl H., and Gärtner G. 1988. Chlorophyta II, Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., and Mollenhauer D. (Eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 10. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. Falasco E., Ector L., Isaia M., Wetzel C.E.
- Faimon J., Stelcl J., Kubesova S., and Zimák J. 2003. Environmentally acceptable effect of hydrogen peroxide on cave ‘‘lamp-flora’’, calcite speleothems and limestones. *Environmental Pollution* 122 (3): 417-22.
- Falasco E., Ector L., Isaia M., Wetzel C.E., Hoffmann L., and Bona F. 2014. Diatom flora in subterranean ecosystems: a review. *International Journal of Speleology* 43 (3): 231–251.
- Fedorov, A.S., Mazina, S.E., and Popkova, A.V. 2023. Mixotrophy of few strains of cyanobacteria and algae isolated from lampenflora communities. *E3S Web of Conferences*, 411, 02071.
- Ford, D.C., and Williams, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, UK, 576 p.

- Forti, P. 1980. Formazione di aragonite nella Grotta di Castellana: Un esempio della modifica indotta dalla turisticizzazione. *Grotte d'Italia* 4 (8): 1-10.
- Franco-Castillo, I., Misra, A., Laratte, S., Gommeaux, M., Perarnau, R., Vaillant-Gaveau, N., Pierlot, C., Streb, C., Mitchell, S.G., and Eyssautier-Chuine, S. 2022. New protective coatings against lampenflora growing in the Pommery Champagne cellar. *International Biodeterioration & Biodegradation* 173: 105459.
- Franklin, L.A., and Larkum, A.W.D. 1997. Multiple strategies for a high light existence in a tropical marine macroalga. *Photosynthesis Research* 53: 149-159.
- Gaylarde P.M., and Gaylarde C.C. 1998. A rapid method for the detection of algae and cyanobacteria on the external surfaces of buildings. In: Gaylarde C.C., Barbosa T.C.P., and Gabilan N.H. (Eds), *Third Latin American Biodegradation and Biodeterioration Symposium*. The British Phycological Society, UK, p 37.
- Gaylarde P.M., and Gaylarde C.C. 2000. Algae and cyanobacteria on painted buildings in Latin America. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 93-97.
- Golubić S. 1967. Algenvegetation der Felsen, eine ökologische Algenstudie im dinarischen Karstgebiet. In: Elster H.J. and Ohle W. (Eds), *Die Binnengewässer*, vol 23. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Golubić S., Friedmann I., and Schneider J. 1981. The lithobiontic niche, with special reference to microorganisms. *Journal of Sedimentary Petrology* 51: 475–478.
- Gorbushina A.A. 2007. Life on the rocks. *Environmental Microbiology* 9 (7): 1613-1631.
- Grobbelaar JU. 2000. Lithophytic algae: A major threat to the karst formation of show caves. *Journal of Applied Phycology* 12(3):309-15.
- Gunn, J. 2004. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Taylor and Francis, New York, 1940 p.
- Gustavs L. 2010. Biodiversity and ecophysiology of aeroterrestrial green algae (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Doktorska disertacija*. Univerzitet Rostock, Nemačka.
- Hashimoto H., Sugai Y., Uragami C., Gardiner A.T., and Cogdell R.J. 2015. Natural and artificial light-harvesting systems utilizing the functions of carotenoids. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 25: 46–70.
- Hayat Q., Hayat S., Irfan M., and Ahmad A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68(1): 14-25.
- Heaton T. 1986. Caves, a tremendous range in energy environments on Earth. *National Speleology Society* 8 (44): 301-304.
- Hebelka J. 2014. Methodology of lampenflora removal in caves accessible for tourists. *Průhonice: Cave Administration of the Czech Republic*; p15 .
- Helm, R. F., and Potts, M. 2012. In: Whitton, B.A. (Ed), *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer Science+Business Media B.V. Extracellular Matrix (ECM).

- Hena S., Fatimah S., and Tabassum S. 2015. Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production. *Water Resource and Industry* 10: 1-14.
- Herrera L.K., Arroyave C., Guiamet P., de Saravia S.G., and Videla H. 2004. Biodeterioration of peridotite and other constructional materials in a building of the Colombian cultural heritage. *International Biodeterioration & Biodegradation* 54: 135-141.
- Hoffmann L. 2003. Caves and other low-light environments: aerophitic photoautotrophic microorganisms. In: Bitton G. (Ed), *Encyclopedia of environmental microbiology*. JohnWiley & Sons, New York, p. 835-843.
- Howarth FG. 1980. The zoogeography of specialized cave animals: a bioclimatic model. *Evolution* 34: 394-406.
- Iliopoulou-Georgoudaki J., Pantazidou A., and Theoulakis P. 1993. An assessment of cleaning photoautotrophic microflora: The case of “Perama” cave, Ioannina Greece. *Mémoires de Biospéologie* 20: 117-120.
- Ingols R.S., and Ridenourm G.M. 1948. Chemical properties of chlorine dioxide in water treatment. *Journal American Water Works Association* 40: 1207-27.
- Jakovljević O., Predojević D., Knežević J., Karadžić V., Krizmanić J., Subakov Simić G., and Popović S. 2024. First insight into cyanobacterial and algal communities from cave stream (Stopić Cave, Serbia). *Aquatic Sciences* 86: 10.
- Janeeshma E., Johnson R., Amritha M.S., Noble L., Aswathi K.P.R., Telesiński A., Kalaji H.M., Auriga A., and Puthur J.T. 2022. Modulations in Chlorophyll *a* Fluorescence Based on Intensity and Spectral Variations of Light. *International Journal of Molecular Sciences* 23: 5599.
- John D.M., Whitton B.A., and Brook A.J. 2003. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge University Press, UK. p 702.
- Johnson, K. 1979. Control of Lampenflora at Waitomo Caves, New Zealand. In: A.A. Robinson (Ed), *Cave Management in Australia III: Proceedings of the 3rd Australasian Cave Tourism and Management Conference*. 105-122. South Australian National Parks and Australian Speleological Federation, Adelaide.
- Jung C., and Arar M. 2023. Natural vs. Artificial Light: A Study on the Influence of Light Source on Chlorophyll Content and Photosynthetic Rates on Indoor Plants. *Buildings* 13(6): 1482.
- Jurado V., Laiz L., Rodriguez-Nava V., Boiron P., Hermosin B., Sanchez-Moral S., and Saiz-Jimenez C. 2010. Pathogenic and opportunistic microorganisms in caves. *International Journal of Speleology* 39 (1): 15-24.
- Karsten U., Schumann R., and Mostaert A. 2007. Aeroterrestrial algae growing on man-made surfaces: what are the secrets of their ecological success? In: J. Seckbach (Ed), *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Springer Verlag, Dordrecht. p 585-597.
- Keshari N., Adhikary S.P. 2014. Diversity of cyanobacteria on stone monuments and building facades of India and their phylogenetic analysis. *International Journal of Biodeterioration & Biodegradation* 90: 45-91.

- Kličković, M. 2014. Stopića pećina - nova turistička pećina Srbije. Naš Krš 47: 65–76.
- Koszniak-Kwaśnicka K., Golec P., Jaroszewicz W., and Lubomska D. 2022. Into the Unknown: Microbial Communities in Caves, Their Role, and Potential Use. *Microorganisms* 10 (2): 222.
- Komárek J. 2013: Cyanoprokaryota. 3. Teil: Heterocytous Genera. In: Büdel B., Gärtner G., Krienitz L. and Schagerl M. (Eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Springer, Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Komárek, J. 2016. A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications. *European Journal of Phycology* 51(3): 346-353.
- Komárek J., and Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokariota. 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H. and Mollenhauer D. (Eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin. 212 p.
- Komárek J., and Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel B., Gärtner G., Krienitz L. and Schagerl M. (Eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Kopalová K., Kociolek P.J., Lowe R.L., Zidarova R., and Van de Vijver B. 2015. Five new species of the genus *Humidophila* (Bacillariophyta) from the Maritime Antarctic Region. *Diatom Research* 30 (2): 117-31.
- Krammer K. 1997. Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2: *Encyonema* part., *Encyonopsis* und *Cymbellopsis*. In: Lange-Bertalot H. and Kociolek P. (Eds), *Bibliotheca Diatomologica* 37. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- Krammer K. 2000. The genus *Pinnularia*. In: Lange-Bertalot H. (Ed), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*, Vol 1. Gantner Verlag, Ruggell. 213
- Krammer K. 2002. *Cymbella*. In: Lange-Bertalot H. (Ed), *Diatoms of Europe: Diatoms of European Inland Waters and Comparable Habitats*, Vol 43. Gantner Verlag, Ruggell.
- Krammer K. 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. In: Lange-Bertalot H. (Ed), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland waters and Comparable Habitats*, Vol 4. Gantner Verlag, Ruggell.
- Krammer K., and Lange-Bertalot H. 1985. Naviculaceae: neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen. 1st ed. Berlin: J. Cramer, German. 230 p.
- Krammer K., and Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. and Mollenhauer D. (Eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1. G. Fischer Verlag, Jena.
- Krammer K., and Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. and Mollenhauer D. (Eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. G. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena.

- Krammer K., and Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In: Ettl H., Gartner G., Gerloff J., Heynig H. and Mollenhauer D. (Eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Kyrle G. 1923. Grundriss der theoretischen Speläologie, Österreichischen Staatsdruckerei, Wien, 353 p.
- Kuczynska P., Jemiola-Rzeminska M., and Strzalka K, 2015. Photosynthetic Pigments in Diatoms. *Marine Drugs* 13: 5847-5881.
- Lamprinou V., Pantazidou A., Papadogiannaki G., Radea C. and Economou-Amilli A. 2009. Cyanobacteria and associated invertebrates in Leontari Cave, Attica (Greece). *Fottea* 9: 155–164.
- Lange-Bertalot H. 2001. *Navicula* sensu stricto. 10 Genera Separated from *Navicula* sensu lato. *Frustulia*. Vol. 2. In: Lange-Bertalot H. (Ed), *Diatoms of Europe: 215 Diatoms of European Inland Waters and Comparable Habitats*. Gantner Verlag, Ruggell.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., and Cantonati M. 2017. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment*. Engl. ed. with updated taxonomy and added species. SchmittensOberreifenberg: Koeltz Botanical Books. 942 p.
- Laskri N., Hamdaoui O., and Nedjah N. 2015. Anaerobic digestion of waste organic matter and biogas production. *Journal of Clean Energy Technologies* 3(3): 181-184.
- Lazarević R. 1981. Potpećka pećina. Turisticki savez opštine Titovo Uzice. RO „D. Tucović”, Užice.
- Lazarević R. 1998. Kras Dubašnice, Gornjana i Majdanpeka. Srpsko geografsko društvo, Beograd.
- Lazarević, R. 2004. Rajkova pećina. Ženid. Beograd.
- Lazarević R. 2012. Stopića pećina – Zlatibor. Drugo dopunjeno izdanje. Ženid, Beograd.
- Lefèvre, M. 1974. La “maladie verte” de Lascaux. *Studies in Conservation* 19: 126-156.
- Levkov Z., Metzeltin D, and Pavlov A. 2013. *Luticola* and *Luticulopsis*. In: LangeBertalot H. (Ed), *Diatoms of Europe: Diatoms of European Inland Waters and Comparable Habitats*, Vol 7. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Lohaj R., Čeplik D., and Lakota J. 2013. A new species of the genus *Duvalius* sg. *Neoduvalius* from Montenegro with taxonomical remarks on the genus *Duvalius* (Coleoptera, Carabidae, Trechini). *Zookeys*. 278:91-104
- Lopez-Bautista J.M., Rindi F, and Casamatta D. 2007. The systematic of subaerial algae. In: Seckbach J. (Ed), *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Springer.
- Lowe R.L, Kociolek P., Johansen J.R., Van de Vijver B., Lange-Bertalot H., and Kopalová K. 2014. *Humidophila* gen. nov., a new genus for a group of diatoms (Bacillariophyta) formerly within the genus *Diademsis*: species from Hawaii, including one new species. *Diatom Research* 29 (4): 351 – 360.

- Macedo M.F., Miller A.Z., Dionisio A., and Saiz-Jimenez C. 2009. Biodiversity of cyanobacteria and green algae on monuments in the Mediterranean Basin: an overview. *Microbiology* 155: 3476-3490.
- McKew B.A., Taylor J.D., McGenity T.J., and Underwood G.J.C. 2011. Resistance and resilience of benthic biofilm communities from a temperate saltmarsh to desiccation and rewetting. *International Society for Microbial Ecology* 5(1): 30-41.
- Martinez A., and Asencio A.D. 2010. Distribution of cyanobacteria at the Gelada Cave (Spain) by physical parameters. *Journal of Cave and Karst Studies* 72: 11–20.
- Mejía-Ortiz, L., Christman, M.C., Pipan, T., and Culver, D.C. 2021. What's the relative humidity in tropical caves? *PLoS ONE* 16(9) e0250396.
- Meyer E., Seale L.D., Permar B., and McClary A. 2017. The effect of chemical treatments on lampenflora and a Collembola indicator species at a popular tour cave in California, USA. *Environmental Management* 59 (6): 1034–1042.
- Milanov D., Ašanin R., Vidić B., Krnjajić D., and Petrović J., 2008. Biofilm - organizacija života bakterija u prirodnim ekosistemima. *Arhiv veterinarske medicine* 1(2): 10-16.
- Milanović S. 2012. Speleologija i speleoronjenje u hidrogeologiji karsta. Rudarskogeološki fakultet, Beograd.
- Mišić R., Subotić A., Samardžić M., Trifunović Z., Vasić D., Pantelić N., Dragulović D., Milošević M., Miliwojević M, and Hopmans L. 2019. Speleološka istraživanja Lazareve pećine u periodu 2016 – 2019. 9. Simpozijum o zaštiti karsta, 1-3. novembar, Beograd. Izdavač: Akademski speleološko – alpinistički klub (ASAK), ISBN 978-86-907923-4-4.
- Montechiaro F., and Giordano M. 2006. Effect of prolonged dark incubation on pigments and photosynthesis of the cave-dwelling cyanobacterium *Phormidium autumnale* (Oscillatoriales, Cyanobacteria). *Phycologia* 45 (6): 704-710.
- Morton F., and Gams H. 1925. Höhlenpflanzen. Verlag Eduard Hölzel, Wien, 227 p.
- Mulec J. 2005. Algae in the karst caves of Slovenia. Doctoral dissertation. University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia.
- Mulec J. 2008. Microorganisms in hypogean: examples from slovenian karst caves. *Acta Carsologica* 37 (1): 153-160.
- Mulec J. 2012. Lampenflora, In: White W.B., and Culver D.C. (Eds), *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Amsterdam, p. 451-456.
- Mulec, J. 2014. Human impact on underground cultural and natural heritage sites, biological parameters of monitoring and remediation actions for insensitive surfaces: Case of Slovenian show caves. *Journal for Nature Conservation* 22 (2).
- Mulec J., and Kosi G. 2008. Algae in the aerophytic habitat of Račiške ponikve cave (Slovenia). *Natura Sloveniae* 10 (1): 39-49.

- Mulec J., and Kosi G. 2009. Lampenflora algae and methods of growth control. *Journal of Cave and Karst Studies* 71: 109–115.
- Mulec J., and Glažar S. 2011. First results on use of a hydrogen peroxide solution in Postojnska jama (Slovenia) to remove lampenflora, In: Bella P., and Gazik P. (Eds), *Proceedings of the 6th International Congress of Speleology*.
- Mulec J., Kosi G., and Vrhovšek D. 2008. Characterization of cave aerophytic algal communities and effects of irradiance levels on production of pigments. *Journal of Cave and Karst Studies* 70 (1): 3–12.
- Nikolić N., Zarubica N., Gavrilović B., Predojević D., Trbojević I, Subakov Simić G and Popović S, 2020. Lampenflora and the entrance biofilm in two show caves: comparison of microbial community, environmental, and biofilm parameters. *Journal of Cave and Karst Studies* 82 (2): 69-81.
- Nikolić N., Popović S., Vidaković D., Subakov Simić G., and Krizmanić J. 2020a. Genus *Humidophila* from caves in Serbia with an improved detailed description of rare *H. brekkaensoides*. *Archives of Biological Sciences* 72(2): 279-289.
- Nikolić N., Subakov Simić G., Golić I., and Popović S. 2021. The effects of biocides on the growth of aerophytic green algae (*Chlorella* sp.) isolated from a cave environment. *Archives of Biological Sciences* 73 (3): 341-351.
- Padisák J., Rajczy M., Paricsy-Komaromy Z., and Hazslinszky T. 1984. Experiments on algae and mosses developing around different lamps in the cave “Pal-Völgyi-Barlang” In: T. Hazslinszky (Ed), *International Colloquium on Lamp Flora*. Barlangkutató Tarsulat, Budapest. p 83-102.
- Pentecost A., and Whitton B.A. 2012. Subaerial Cyanobacteria. In: Whitton B.A. (Ed.) *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer Science+Business Media B.V.
- Petrović Z., Starčević O., Drobac-Krstić L., and Stojanović M, 2012. Plan upravljanja Spomenika Prirode „Risovača“ za period od 2013. do 2022. Narodni muzej, Aranđelovac.
- Pfendler S., Munch T., Bousta F., Alaoui-Sosse L., Aleya L., and Alaoui-Sosse B. 2018. Bleaching of biofilm-forming algae induced by UV-C treatment: a preliminary study on chlorophyll degradation and its optimization for an application on cultural heritage. *Environmental Science and Pollution Research* 25:14097-105.
- Pfendler S., Alaoui-Sossé B., Alaoui-Sossé L., and Aleya L. 2018a. Effects of UV-C radiation on *Chlorella vulgaris*, a biofilm-forming alga. *Journal of Applied Phycology* 30 (1).
- Piano E., Bona F., Falasco E., La Morgia V., Badino G., and Isaia M. 2015. Environmental drivers of phototrophic biofilms in an Alpine show cave (SW Italian Alps). *Science of the Total Environment* 536: 1007-1018.
- Piano E., Nicolosi G., and Isaia M. 2023. Scheduling Closure Periods Is Not an Effective Management Strategy to Reduce Lampenflora in Show Caves. *Geoheritage* 15: 20.
- Piontek M., and Lechów H. 2014. Aerophytic Cyanobacteria as a Factor in The Biodegradation of Technical Materials on External Building Walls. *Civil And Environmental Engineering Reports* 13 (2): 109-119.

Popović S., Subakov Simić G., Stupar M., Unković N., Predojević D., Jovanović J, and Ljaljević Grbić M. 2015. Cyanobacteria, algae and microfungi present in biofilm from Božana Cave (Serbia). *International Journal of Speleology* 44 (2): 141-149.

Popović S., Subakov Simić G., Stupar M., Unković N., Krunić O., Savić N., and Ljaljević Grbić M. 2017. Cave biofilms: characterization of phototrophic cyanobacteria and algae and chemotrophic fungi from three caves in Serbia. *Journal of Cave and Karst Studies* 79(1): 10–23.

Popović S. 2018. Diverzitet aerofitskih cijanobakterija i algi u biofilmu odabranih pećina u Srbiji. Doktorska disertacija. Univerzitet Beograd, Srbija.

Popović S., Krizmanić J., Vidaković D., Karadžić V., Milovanović Ž., Pečić M., and Subakov Simić G. 2020. Biofilms in caves: Easy method for the assessment of dominant phototrophic groups/taxa in situ. *Environmental Monitoring and Assessment* 192: 720.

Popović S., Nikolić N., Predojević D., Jakovljević O., Rađa T., Anđelković A., and Subakov Simić G. 2021. Endolithic phototrophs: Examples from cave-like environments. *Kragujevac Journal of Science* 43: 123-137.

Popović S., Nikolić N., Pečić M., Anđelković A., and Subakov Simić G. 2023. First Report on a 5-Year Monitoring of Lampenflora in a Famous Show Cave in Serbia. *Geoheritage* 15: 14.

Pouličková A., Lhotsky O., and Dřimalova D. 2004. Review of cyanobacteria and algae of the Czech Republic. *Czech Phycology* 4: 19–35.

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

Reichardt E. 2004. Eine bemerkenswerte Diatomeenassoziation in einem Quellhabitat im Grazer Bergland, Österreich. Ein Beitrag zur Kenntnis seltener und wenig bekannter Diatomeen. *Iconographia Diatomologica* 13:419-479.

Rindi F. 2007. Diversity, distribution and ecology of green algae and cyanobacteria in urban habitats In: Seckbach J (Ed) *Algae and cyanobacteria growing in extreme environments*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Rippka R., Deruelles J., Waterbury J., Herdman M., and Stanier R. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *The Journal of General Microbiology* 111: 1-61.

Roldán M., Clavero E., Canals T., Gómez-Bolea A., Ariño X., and Hernández-Marine M. 2004. Distribution of phototrophic biofilms in cavities (Garraf, Spain). *Nova Hedwigia* 78: 329-351.

Roldán M., and Hernández-Mariné M. 2009. Exploring the secrets of the threedimensional architecture of phototrophic biofilms in caves. *International Journal of Speleology* 38 (1): 41-53.

Rugnini L., Migliore G., Tasso F., Ellwood N.T.W., Sprocati A.R., and Bruno L. 2020. Biocidal Activity of Phyto-Derivative Products Used on Phototrophic Biofilms Growing on Stone Surfaces of the Domus Aurea in Rome (Italy). *Applied Sciences* 10: 6584.

Russell A.D. 2003. Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 52(5):750-63.

Saiz-Jiménez C. 1994. Biodeterioration of stone in historic buildings and monuments In: Llewellyn G.C., Dashek W.W., and O'Read C.E. (Eds), *Biodeterioration Research 4: Mycotoxins, Wood Decay, Plant Stress, Biocorrosion, and General Biodeterioration*, Plenum, New York. p. 587-603.

Saiz-Jiménez C., Cuezva S., Jurado V., Fernández-Cortés Á., Porca E., Benavente D., Cañaveras J. C., and Sánchez-Moral S. 2011. Paleolithic art in peril: policy and science collide at Altamira Cave. *Science* 334 (6052): 42-43

Saiz-Jiménez C. 2012. Microbiological and environmental issues in show caves. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28 (7): 2453-2464.

Simões M.H., Souza-Silva M., and Ferreira R.L. 2015. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology* 16:103–121.

Smith T., and Olson R. 2007. A taxonomic survey of Lamp Flora (Algae and Cyanobacteria) in electrically lit passages within Mammoth Cave National Park, Kentucky. *International Journal of Speleology* 36:105–114.

Smith H. L., McAusland L., and Murchie E.H. 2017. Don't ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes. *Journal of Experimental Botany* 68 (9): 2099–2110.

Stal L.J 1995. *Physiological Ecology of Cyanobacteria in Microbial Mats and Other Communities*. *New Phytologist* 131: 1-32.

Stal L.J. 2007. Cyanobacteria: diversity and versatility, clues to life in extreme environments In: Seckbach J. (Ed), *Algae and cyanobacteria in extreme environments*. Springer, Dordrecht, p 661–680.

Stal L.J. 2012. *Cyanobacterial Mats and Stromatolites* In B.A. Whitton (Ed), *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer Science+Business Media B.V.

Stanier R.Y, Kunisawa R., Mandel M, and Cohen-Bazire G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (Order Chroococcales). *Bacteriological reviews* 35(2): 171-205.

Starmach K., 1972. Chlorophyta III. Zielenice nitkowate: Ulotrichales, Ulvales, Prasiolales, Sphaeropleales, Cladophorales, Trentepohliales, Siphonales, Dichotomosiphonales. Warszawa and Krakow, Państwowe,Wyadwnictwo Naukowe, series Flora słodkowodna Polski 10. p 750.

Stowe W.C., Brodie-Kommit J., and Stowe-Evans E. 2011. Characterization of Complementary Chromatic Adaptation in *Gloeotrichia* UTEX 583 and Identification of a Transposon-like Insertion in the *cpeBA* Operon. *Plant and Cell Physiology* 52 (3): 553-562.

Taylor J.C., De Le Rey P.A, and Van Rensburg L. 2005. Recommendations for the collection, preparation and enumeration of diatoms from riverine habitats for water quality monitoring in South Africa. *African Journal of Aquatic Science* 30 (1): 65-75.

Taylor J.C, Harding W.R, and Archibald C.G.M. 2007. An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. Report to the Water Research Commission TT 282/07. Pretoria, South Africa.

ter Braak, C.J.F., Smilauer, P. (2012). *Canoco reference manual and user's guide: software for ordination*, version 5.0. Microcomputer Power.

Tobin B.W., Hutchins B.T, and Schwartz B.F. 2013. Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave. *International Journal of Speleology* 42 (3): 203-214.

Tofilovska S. 2014. Аерофитни дијатомеи на отвори на пештери во Македонија. *Diplomski rad. Универзитет —Св. Кирил и Методиј| ПриродноМатематички Факултет – Скопје, Институт за Биологија.*

Urzi C., and De Leo F. 2001. Sampling with adhesive tape strips: an easy and rapid method to monitor microbial colonization on monument surfaces. *Journal of Microbiological Methods* 44: 1-11.

Urzi C., De Leo F., Bruno L., and Albertano P. 2010. Microbial diversity in Paleolithic caves: a study case on the phototrophic biofilms of the Cave of Bats (Zuheros, Spain). *Microbial Ecology* 60: 116–129.

Van der Molen J.M., Garty J., Aardema B.W., and Krumbein W.E. 1980. Growth control of algae and cyanobacteria on historical monuments by a mobile UV unit (MUVU). *Studies in Conservation* 25: 71-77.

Vidaković D., Jakovljević O., Predojević D., Radovanović S., Subakov Simić G., Lazović V., and Krizmanić J. 2018. An updated list of Serbian diatom flora - new recorded taxa. *Archives of Biological Sciences* 70 (2): 259-75.

Villar E., Bonet A., Diaz-Caneja B., Fernandez P.L., Guiterrez I., Quindos L.S., Solana J.R., and Soto J. 1984. Ambient temperature variations in the hall of paintings of Altamira Cave due to the presence of visitors. *Cave Science* 11(2): 99-104.

Vincent W. 2007. Cold tolerance in cyanobacteria and life in the cryosphere In: Seckbach J (Ed) *Algae and cyanobacteria in extreme environments*. Springer, Dordrecht, p 289–301.

Vinogradova O.N., Kovalenko O.V., Wasser S., Nevo E., Tsarenko P.M., Stupina V.V., and Kondratiuk E.S. 1995. Algae of the Mount Carmel National Park (Israel): *Algologia* 5 (2): 178–192.

Vinogradova O.N., Kovalenko O.V., Wasser S.P., Nevo E., and Weinstein-Eviron M. 1998. Species diversity gradient to darkness stress in blue-green algae/cyanobacteria: a microscale test in a prehistoric cave, Mount Carmel, Israel. *Israel Journal of Science* 46: 229–238.

Weenink E.F.J., Luimstra V.M., Schuurmans J.M., Van Herk M.J., Visser P.M., and Matthijs H.C.P. 2015. Combatting cyanobacteria with hydrogen peroxide: A laboratory study on the consequences for phytoplankton community and diversity. *Frontiers in Microbiology* 6: 714.

Werum M., and Lange-Bertalot H. 2004. Diatoms in springs, from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. *Iconografia Diatomologica* 13. Rugell: A.R.G. Gantner Verlag KG. German. P 417.

White W., and Culver D. 2012. *Encyclopedia of caves*. Academia Press. p 680.

Whitton B.A. 2012. *Ecology of Cyanobacteria II, their diversity in space and time*. Springer, London, p 760.

Whitton B.A., and Potts 2012. Introduction to the Cyanobacteria In: Whitton B.A. (Ed) Ecology of Cyanobacteria II, Their Diversity in Space and Time. Springer

Wynn-Williams D.D. 2000. Cyanobacteria in deserts – life at the limit In: Whitton B.A., and Potts M. (Eds), The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Springer, Dordrecht, p 341–361.

Xu Q., Shi M., Wang S., and Qing Y. 2020. Study on the effect of exogenous salicylic acid on algae growth in the environment. E3S Web Conf. 165:02001.

Yarish C., Redmond S., and Kim Jang K. 2012. Gracilaria Culture Handbook for New England. Wrack Lines. p 72.

Yousuf D.Y.M. 2018. Effects sprayed solution of salicylic acid to prevent of wilt disease caused by *Fusarium oxysporium*. Journal of Physics. Conference Series 1003 (1):1-6.

Zelinka J., Hebelka J., Fillo M., and Novomesky' J. 2002. Illumination reconstruction in Slovakian show caves in relation to “lampflora” creation prevention In: Hazslinszky T. (Ed), International Conference on Cave Lighting, Budapest, Hungary, Hungarian Speleological Society p 151–157.

<http://www.riznicasrpska.net/riznicasrpska/index.php?topic=36.0> 24.02.2020.

<http://www.serbia.com/srpski/posetite-srbiju/prirodne-lepote/pecine/resavska-pecina-pogled-u-ledeno-doba/> 24.02.2020.

<https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/techniques/confocal/confocalintro/> 25.02.2020.

<http://tobor.rs/turisticka-ponuda/lazareva-pecina/> 17.04.2021.

<https://zzps.rs> 25.03.2024.

8. Prilog

Mikrografije odabranih taksona aerofitskih cijanobakterija i eukariotskih algi

Tabla I

Slika 1. Aphanocapsa muscicola

Slika 2. Aphanocapsa cf. endolithica var. violacescens

Slika 3. Aphanothece cf. bullosa

Slika 4. Asterocapsa

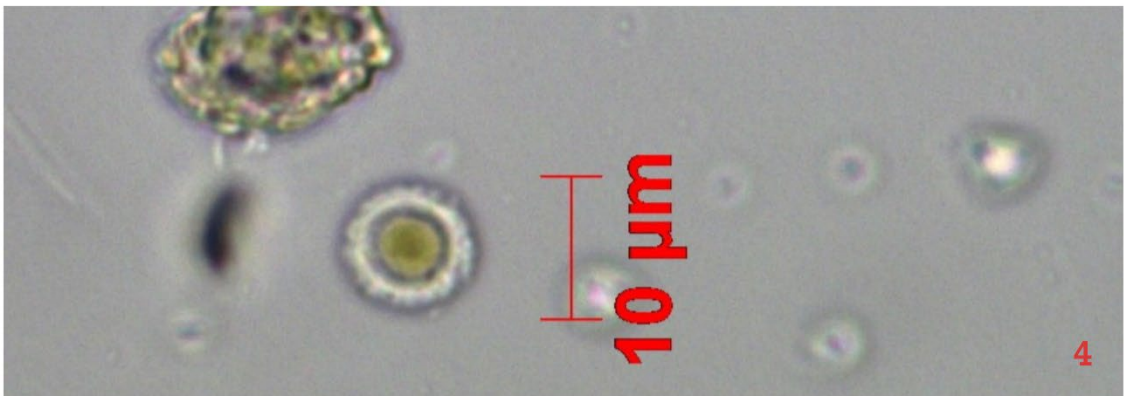
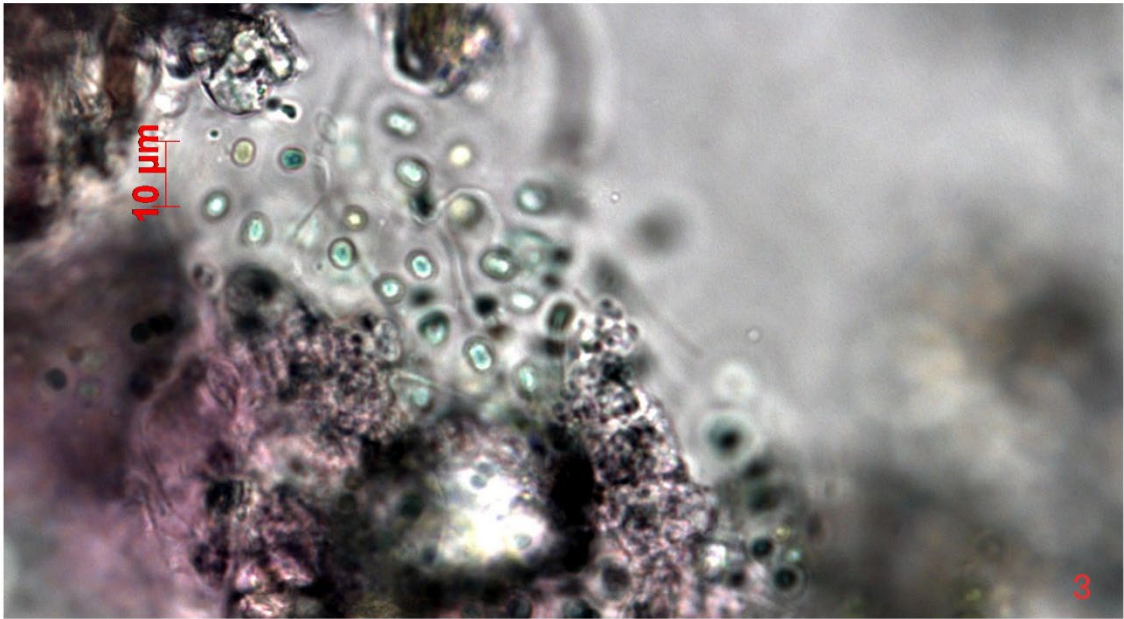
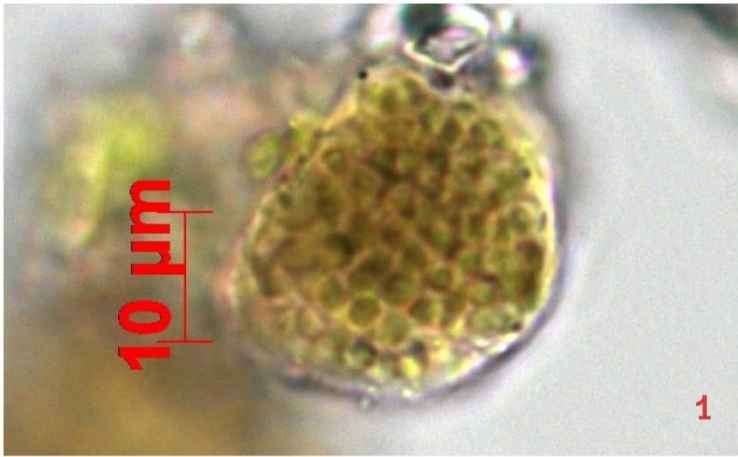


Tabla II

Slika 5. Chroococcus cf. spaeleus

Slika 6. Chroococcus ercegovicii

Slika 7. Gloeocapsa nigrescens

Slika 8. Gloeocapsa violacea

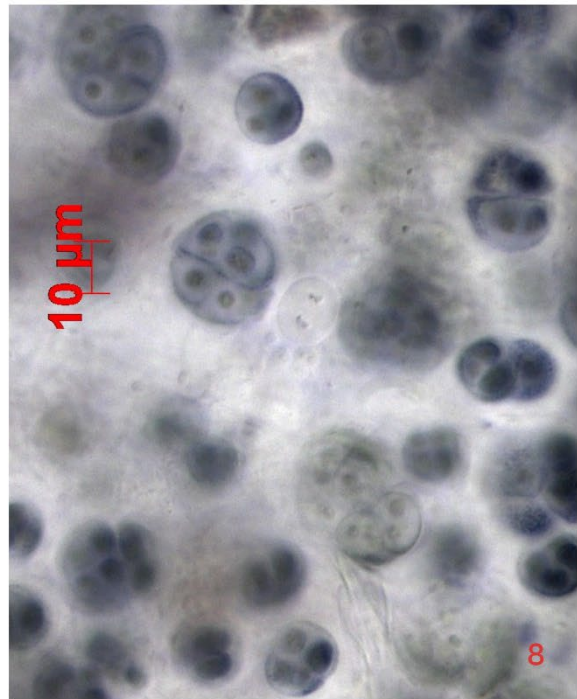
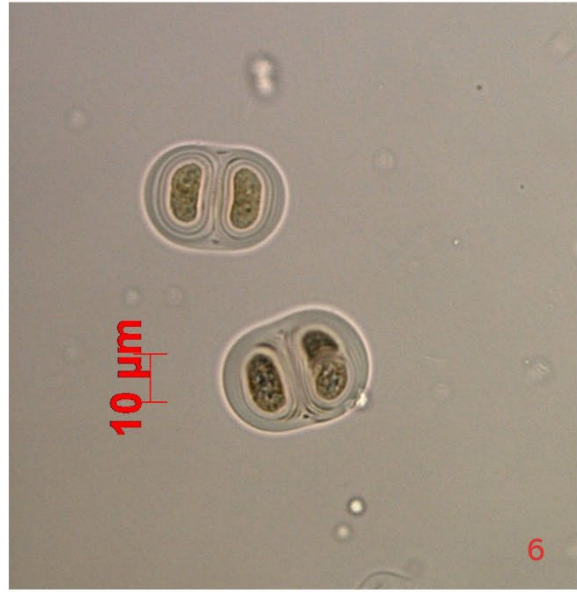
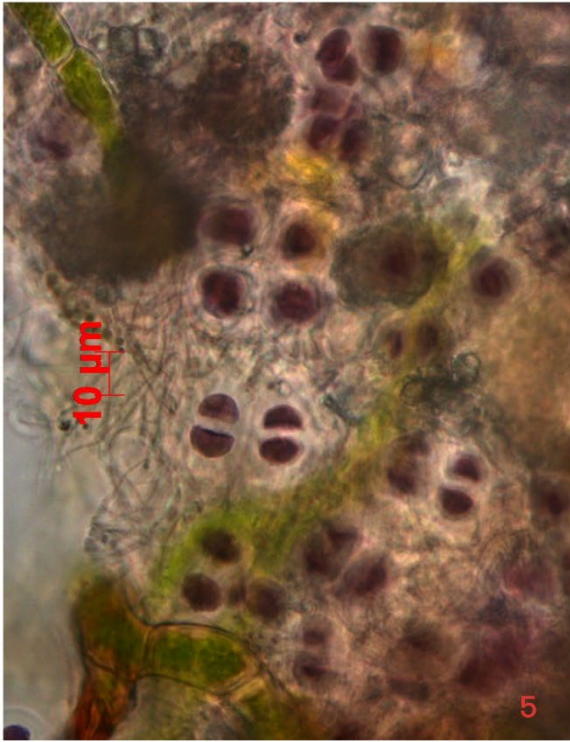


Tabla III

Slika 9. Gloeocapsopsis sp.

Slika 10. Gloeotheca fusco-lutea

Slika 11. Gloeotheca rupestris

Slika 12. Pseudocapsa dubia

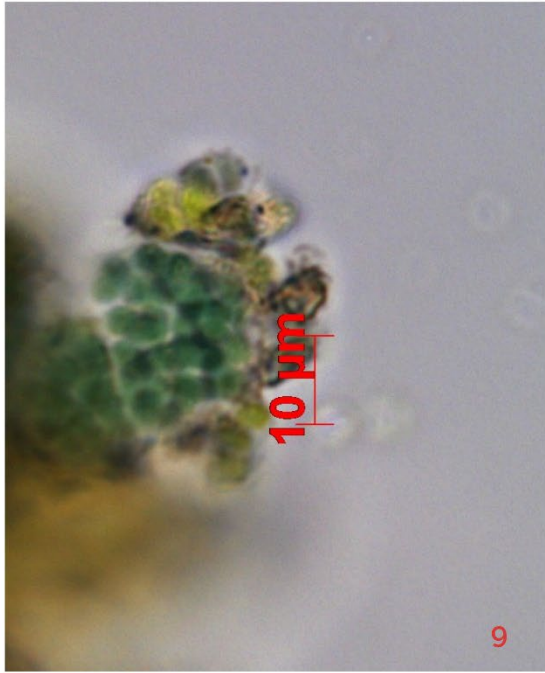


Tabla IV

Slika 13. Leptolyngbia foveolarum

Slika 14. Leptolyngbya henningisii

Slika 15. Nepoznata kalcifikovana cijanobakterija



Tabla V

Slika 16. Nostoc commune

Slika 17. Nostoc punctiforme

Slika 18. Scytonema sp.

Slika 19. Stigonema sp.

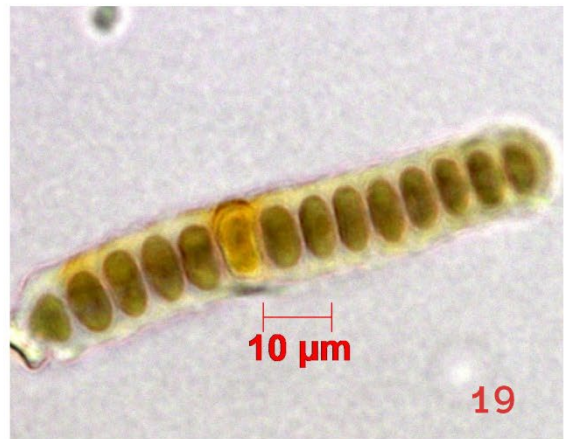
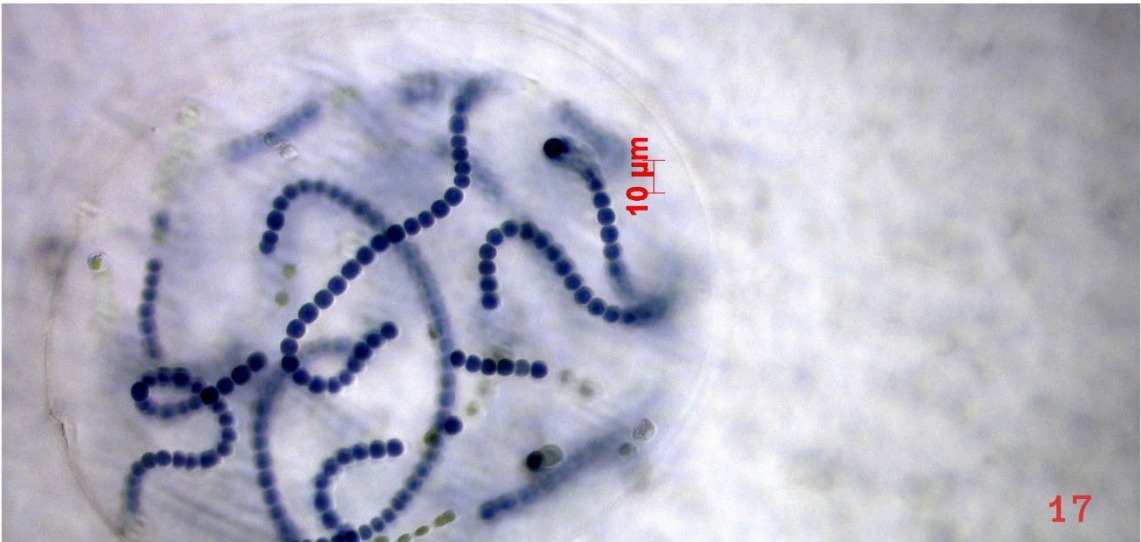


Tabla VI

Slika 20. Chlorella sp. 1

Slika 21. Desmococcus olivaceus

Slika 22. Gloeocystis vesiculosa

Slika 23. Klebsormidium flaccidum

Slika 24. Scotiella sp.

Slika 25. Stichococcus bacillaris

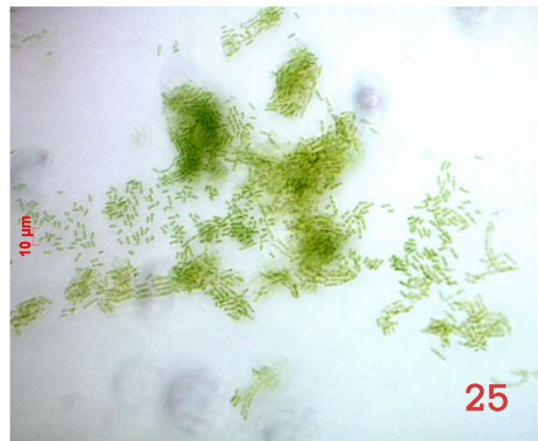
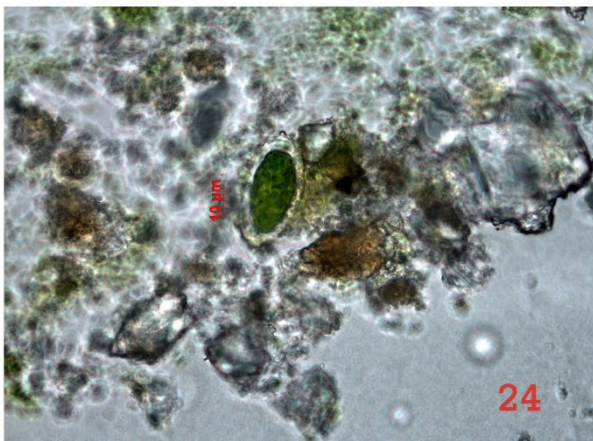
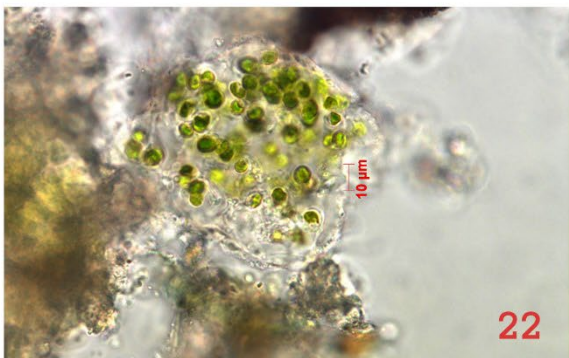
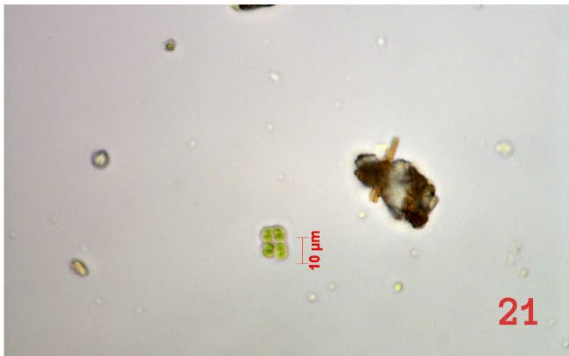
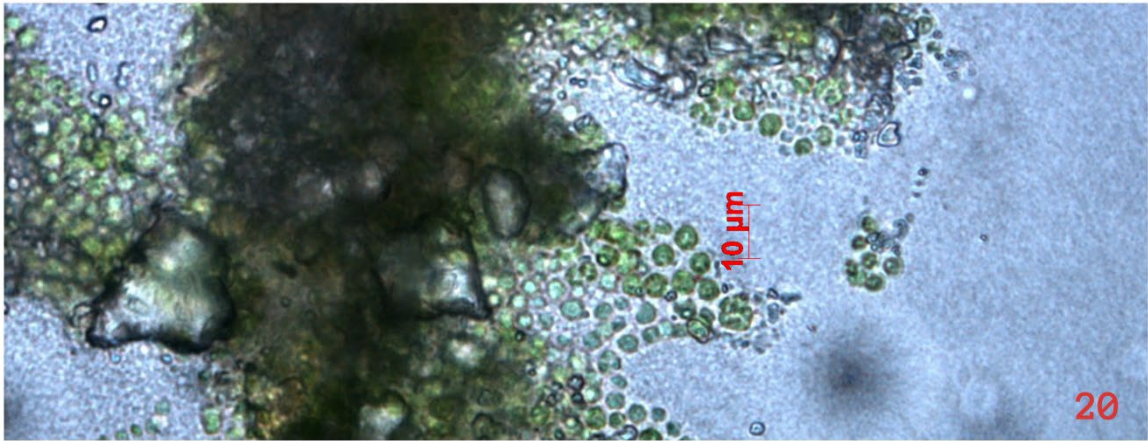


Tabla VII

Slika 26. Amphora pediculus

Slika 27. Pantocsekiella ocellata

Slika 28. Cymbopleura rupicola var. korana

Slika 29. Encyonema ventricosum

Slika 30. Meridion constrictum

Slika 31. Orthoseira roseana

Slika 32. Pinnularia rabenhorstii

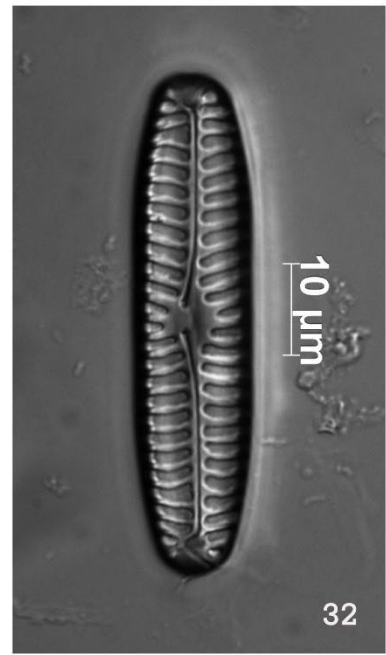
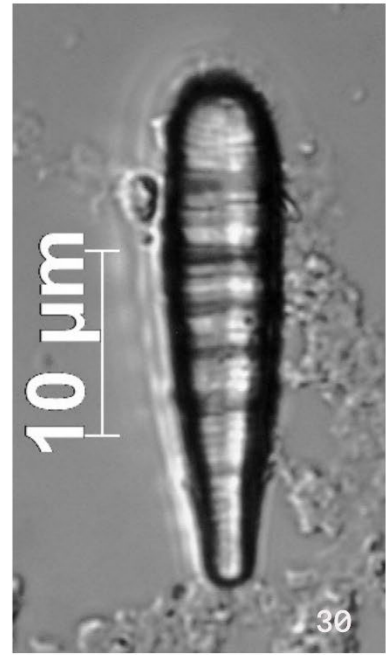
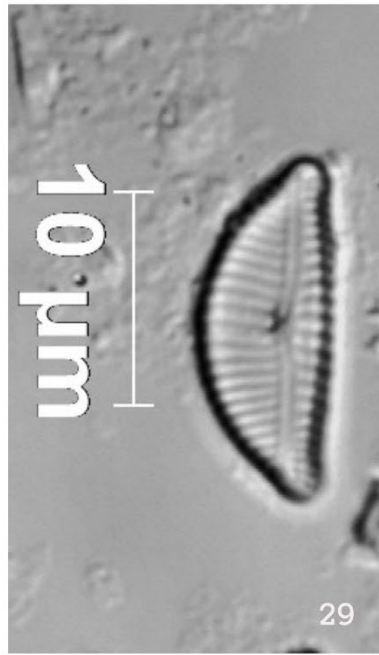
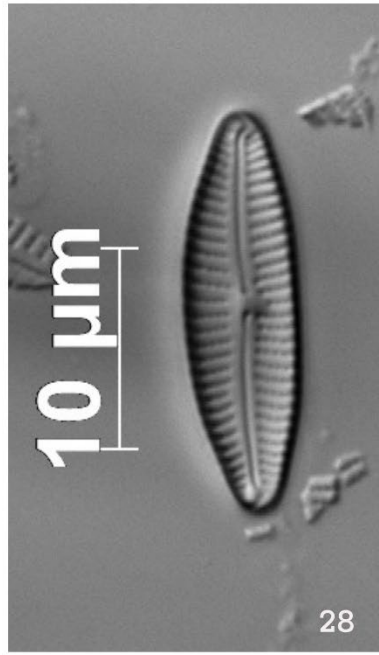
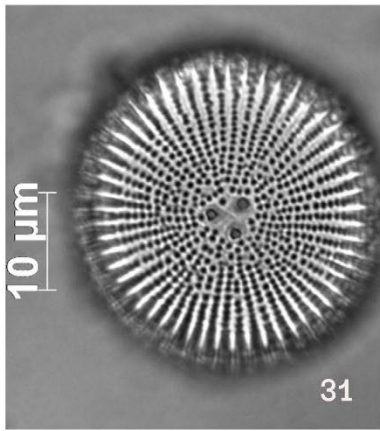
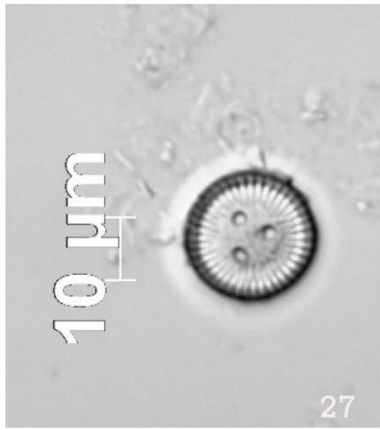


Tabla VIII

33-56 *Humidophila braeckensoides*

57-67 *Humidophila comperei*

68-77 *Humidophila aerophila*

78-83 *Humidophila perpusila*

84-96 *Humidophila contenta*

97-104 *Humidophila contemnata*

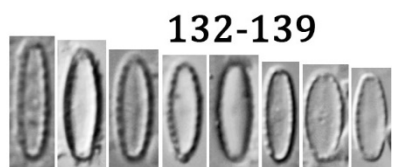
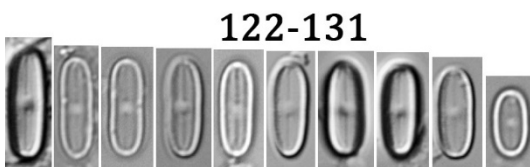
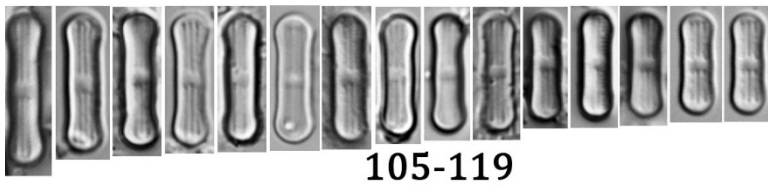
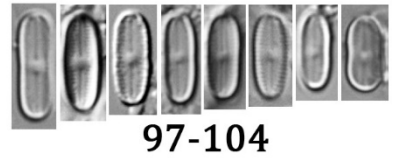
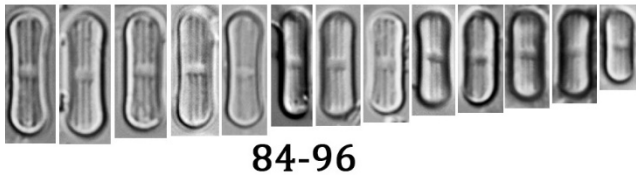
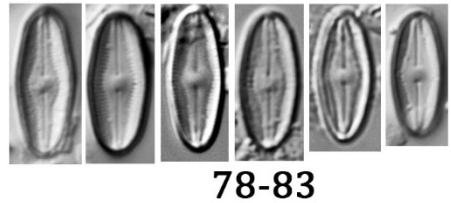
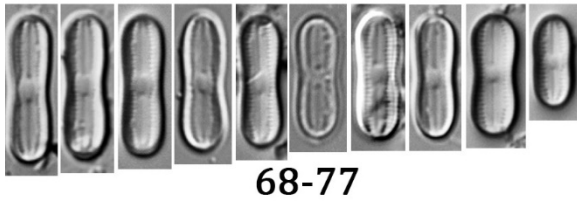
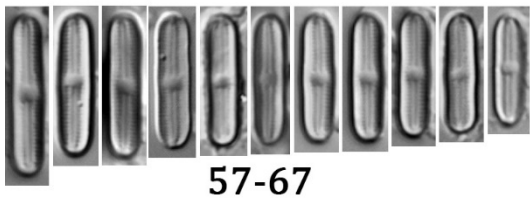
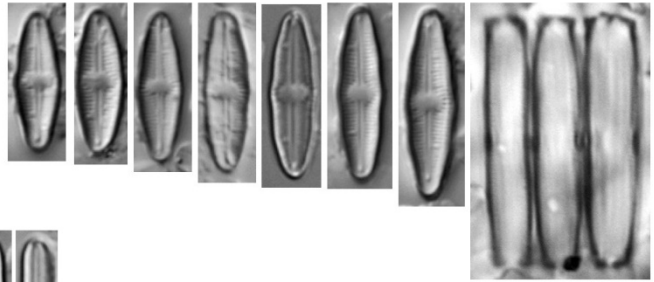
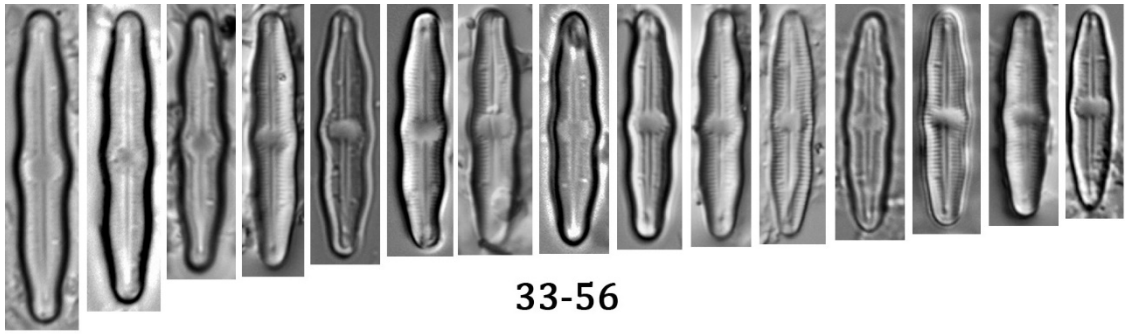
105-119 *Humidophila paracontenta*

120-121 *Humidophila pyrenaica*

122-131 *Humidophila vidalii*

132-139 *Humidophila gallica*

Napomena: objavljeno u radu Nikolić i sar., 2020a



Biografija

Nataša (Vojin) Nikolić rođena je 05.08.1985. godine u Beogradu. Osnovnu školu „Ilija Garašanin“ i gimnaziju „XI Beogradska gimnazija“ je završila u Beogradu, Grocka.

Osnovne akademske studije Biološkog fakulteta, Univerziteta Beograd (smer Biologija) upisuje 2004. godine.

Nakon završenog volonterskog rada u okviru Zavoda za Zaštitu prirode u Srbiji, gde je bila deo tima za određivanje kvaliteta voda, iz želje da produbi znanje iz oblasti algologije, upisuje doktorske studije školske 2015/2016 godine na Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, modul Algologija.

Tokom 2019-2020. godine uspešno je završila IBM kurseve za programski jezik Python, analiza i vizualizacija naučnih podataka.

Do sadašnja istraživanja su objavljena u 16 bibliografskih jedinica.

Član je Kraljevskog Društva za Biologiju (Royal Society of Biology) Ujedinjenog Kraljevstva Velike Britanije i Severne Irske.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а _____

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора _____

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада _____

Ментор _____

Потписани/а _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____

1. Ауторство - Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.