

# Alge kremenjašice kao biološki pokazatelji ekološkog stanja izvora rijeke Krčić

---

Pichler, Josipa

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:834122>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Josipa Pichler

ALGE KREMENJAŠICE KAO BIOLOŠKI POKAZATELJI  
EKOLOŠKOG STANJA IZVORA RIJEKE KRČIĆ

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

Ovaj rad, izrađen na Botaničkom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Naučnoj oblasti Ekologija bilja i životinja Odsjeka za biologiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Tuzli, pod vodstvom doc. dr. sc. Marije Gligore Udovič i doc. dr. sc. Jasmine Kamberović, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke ekologije i zaštite prirode.

Veliko hvala mentorici i voditeljici doc. dr. sc. Mariji Gligori Udovič na strpljivosti i susretljivosti, uloženom trudu i nesebičnoj pomoći pri izradi ovog rada.

Hvala mentorici doc. dr. sc. Jasmini Kamberović s Univerziteta u Tuzli na uloženom vremenu, stručnoj pomoći i korisnim savjetima koje su pridonijele kvaliteti mog rada.

Zahvaljujem Centru za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“ i doc. dr. sc. Gordanu Mršiću i Igoru Špoljariću na ustupljenim SEM fotografijama.

Zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Sanji Gottstein, voditeljici projekta MULTISEK, u sklopu kojeg su uzorci za izradu ovog diplomskog rada sakupljeni.

Veliko hvala mojoj obitelji i dečku na strpljivosti, savjetima i pruženoj ljubavi tijekom pisanja ovog rada.

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

**ALGE KREMENJAŠICE KAO BIOLOŠKI POKAZATELJI  
EKOLOŠKOG STANJA IZVORA RIJEKE KRČIĆ**

Josipa Pichler

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SAŽETAK

Alge kremenjašice su jedna od najvažnijih komponenti perifitona i fitobentosa te je njihov sastav od velike važnosti u procjeni ekološkog stanja kopnenih voda. Fitobentos izvora rijeke Krčić uzorkovan je u nepravilnim razmacima od lipnja 2012. godine do studenog 2015. godine. Izvor je povremen, s pravilnom izmjenom razdoblja stalnog toka i presušivanja. Ukupno je određeno 36 vrsta algi kremenjašica. Dominantne vrste su bile *Achnanthydium minutissimum*, *Meridion circulare* var. *circulare*, *Nitzschia fonticola*, *Navicula cryptotenella* te *Encyonema silesiacum*. Fizikalno-kemijski čimbenici koji opisuju staništesu pH, alkalinitet, provodljivost i brzina strujanja vode. Prema indikatorskim vrijednostima najveći broj dijatomejskih vrsta opisan je kao alkalifilne i cirkumneutralne vrste, karakteristične za eutrofna do oligotrofna staništa. Ekološko stanje izvora procijenjeno je na temelju trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) i saprobnog indeksa ( $SI_{HRIS}$ ) i ocjenjeno je kao dobro.

(56 stranica, 26 slika, 16 tablica, 55 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: alge kremenjašice, krški izvor, ekološko stanje

Voditelj: Dr. sc. Marija Gligora Udovič, doc.

Dr. sc. Jasmina Kamberović, doc.

Ocjenitelji: Dr. sc. Marija Gligora Udovič, doc.

Dr. sc. Ivana Maguire, izv. prof.

Dr. sc. Duje Lisičić, doc.

Rad prihvaćen: 02.06.2016.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Graduation Thesis

### DIATOMS AS BIOLOGICAL QUALITY ELEMENT OF KRČIĆ SPRING

Josipa Pichler

Division of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb

#### ABSTRACT

Diatoms are one of the most important organisms living in periphyton and phytobenthos. The assemblages of diatoms are of great importance for assessing the ecological status of inland running waters. Diatom communities of Krčić Spring were sampled from June 2012 to November 2015. The Krčić Spring is intermittent, with proper changing of constant flow and dried up period. Diatom flora consisted of 36 taxa, with *Achnantheidium minutissimum*, *Meridion ciculare* var. *ciculare*, *Nitzschia fonticola*, *Navicula cryptotenella* and *Encyonema silesiacum* as dominant species. Main environmental variable in during the investigation period spring were: pH, conductivity, alkalinity, oxygen saturation and current velocity. According to their ecological requirement most of the taxa of Krčić Spring were alkaliphilous and circumneutral, eutrphentic and oligo- to eutrphentic, with fairly high to continuously high oxygen requirements. The ecological status of springs was estimated by using Trophic Diatom index (TID<sub>RH</sub>) and Saprobic Index (SI<sub>HRIS</sub>). According to both indices the ecological status of Krčić Spring was moderate.

(56 pages, 26 figures, 16 tables, 55 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: benthic diatoms, karstic spring, ecological assessment

Supervisor: Dr. Marija Gligora Udovič, Asst. Prof.  
Dr. sc. Jasmina Kamberović, Asst. Prof.

Reviewers: Dr. Marija Gligora Udovič, Asst. Prof.  
Dr. sc. Ivana Maguire, Asst. Prof.  
Dr. sc. Duje Lisičić, Asst. Prof.

Thesis accepted: 02.06.2016.

# Sadržaj

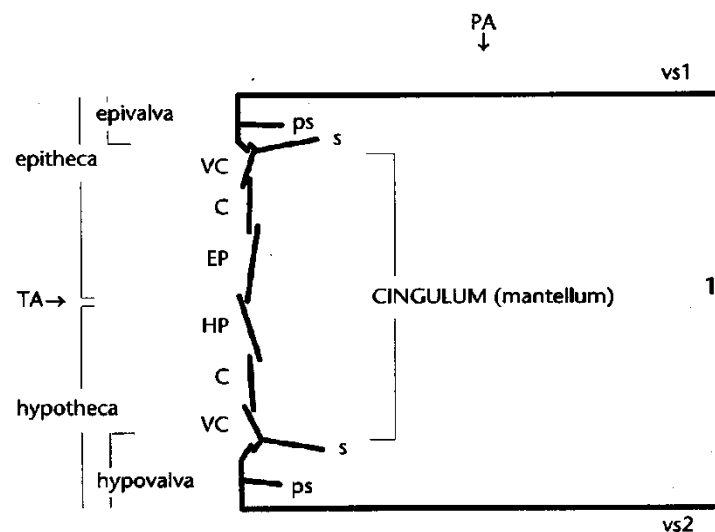
1. UVOD .....	1
1.1. Alge kremenjašice .....	1
1.2. Opće značajke obraštaja .....	6
1.3. Fitobentos kao biološki element kakvoće vode .....	10
1.4. Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela .....	10
1.5. Cilj istraživanja .....	12
2. MATERIJALI I METODE .....	13
2.1. Područje istraživanja .....	13
2.1.1. Geografski smještaj rijeke i slapa Krčić .....	13
2.1.2. Hidrološka i hidrogeološka obilježja rijeke Krčić .....	13
2.2. Vrijeme istraživanja .....	17
2.3. Određivanje fizikalno-kemijskih čimbenika vode .....	17
2.4. Analiza klorofila <i>a</i> .....	18
2.5. Uzorkovanje fitobentosa .....	18
2.6. Obrada algološkog materijala .....	18
2.6.1. Ispiranje konzervansa iz uzorka .....	19
2.6.2. Čišćenje ljušturica algi kremenjašica od organske i anorganske tvari .....	19
2.6.3. Izrada trajnih preparata .....	19
2.6.4. Mikroskopiranje i determinacija algi kremenjašica .....	21
2.7. Analiza podataka .....	21
2.8. Numerička i grafička obrada podataka .....	26
3. REZULTATI .....	27
3.1. Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika vode .....	27
3.2. Struktura zajednice bentičkih algi kremenjašica .....	29
3.2.1. Analiza sastava algi kremenjašica u odnosu na ekološke čimbenike .....	40
3.2.2. Trofički indeks dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) i saprobni indeks ( $SI_{HRIS}$ ) .....	41
4. RASPRAVA .....	45
5. ZAKLJUČAK .....	49
6. LITERATURA .....	50
7. ŽIVOTOPIS .....	56

# 1. UVOD

## 1.1. Alge kremenjašice

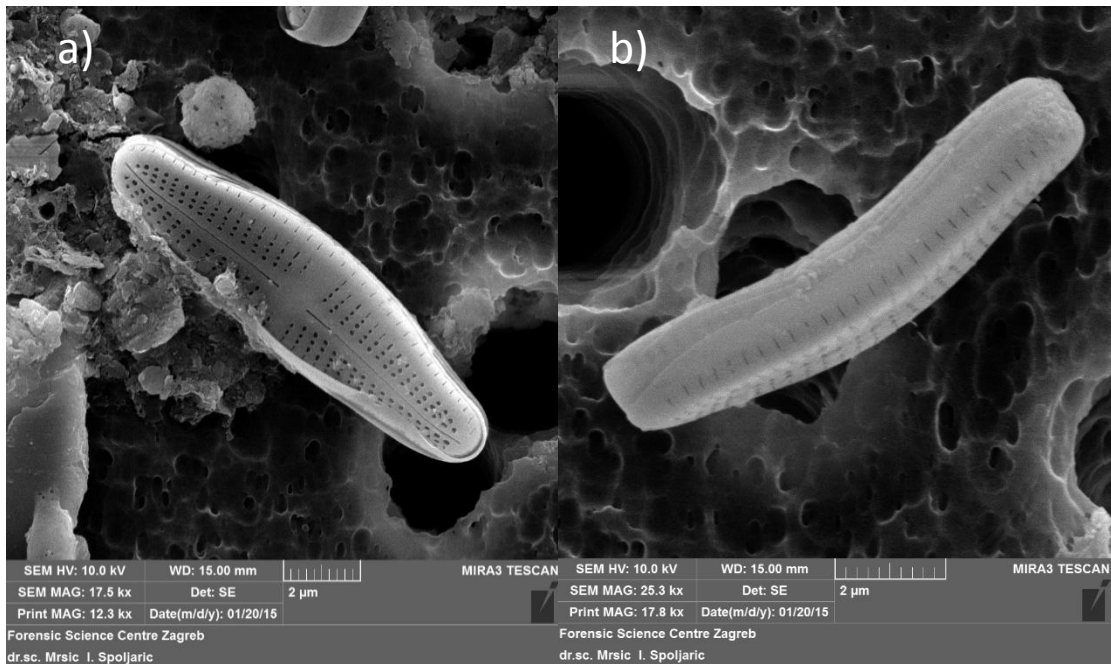
Alge kremenjašice ili dijatomeje su najraznolikija skupina jednostaničnih eukariotskih protista. Nastanjuju sve vrste vodenih staništa, kao i vlažna kopnena staništa. Odgovorne su za približno polovicu primarne produkcije i gotovo četvrtinu svjetske fiksacije ugljika (Smetacek, 1999).

Stanična stijenka algi kremenjašica građena je od silicijevog dioksida tj. amorfno opala ( $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ), čija se sinteza odvija u vezikulama ispod plazmaleme. Opal sintetiziraju iz netopivog silicija, koji je u vodi prisutan u obliku ortosilicijeve kiseline ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ) i njezinih topivih polimera. Na površini svih silikatnih dijelova stanice nalazi se tanki sloj organske tvari čija je funkcija zaštita kremene ljušturice (Round i sur., 1990). Ljušturica algi kremenjašica naziva se frustulom (lat. *frustulum* – djelić), a sastoji se od dva dijela (*valvae*), koje se međusobno preklapaju poput Petrijeve zdjelice (Slika 1). Svaka se stanica sastoji od dvije valve, gornja (*epivalva*) i donja (*hypovalva*). Valve mogu biti različitih oblika (okrugle, eliptične, stožaste ili valovite), a bočno su položene u pleure (Slika 2). Pleure gornjeg i donjeg dijela ljušturice stvaraju pojas (*cyngulum*), koji drži valve zajedno čime štiti stanicu te sudjeluje u povećanju staničnog volumena prilikom staničnog ciklusa (John, 2012). Pojas grade *copulae*, *valvocopulae*, *epipleurae* i *hypopleurae*. Veličina stanice algi kremenjašica varira između 5 i 200  $\mu\text{m}$ , a najveći dio volumena zauzimaju vakuole koje zapremaju 90 % staničnog prostora.



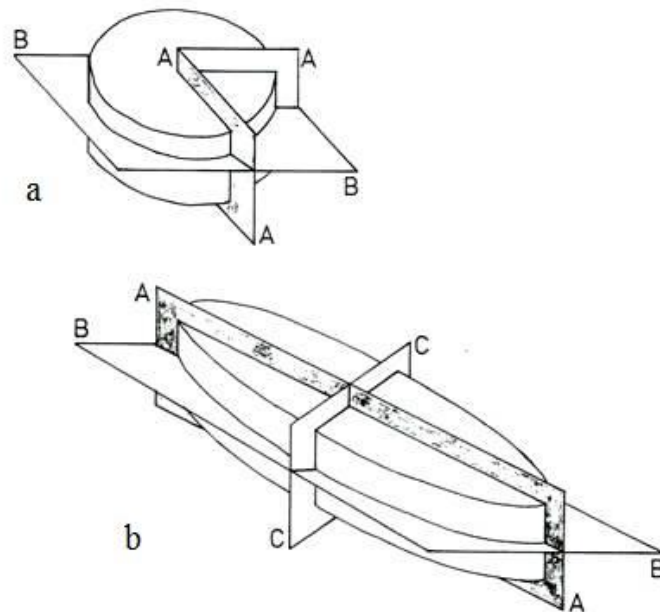
Slika 1. Struktura frustule





Slika 2. Prikaz penatne alge kremenjašice: a) valvalne i b) pleuralne strane

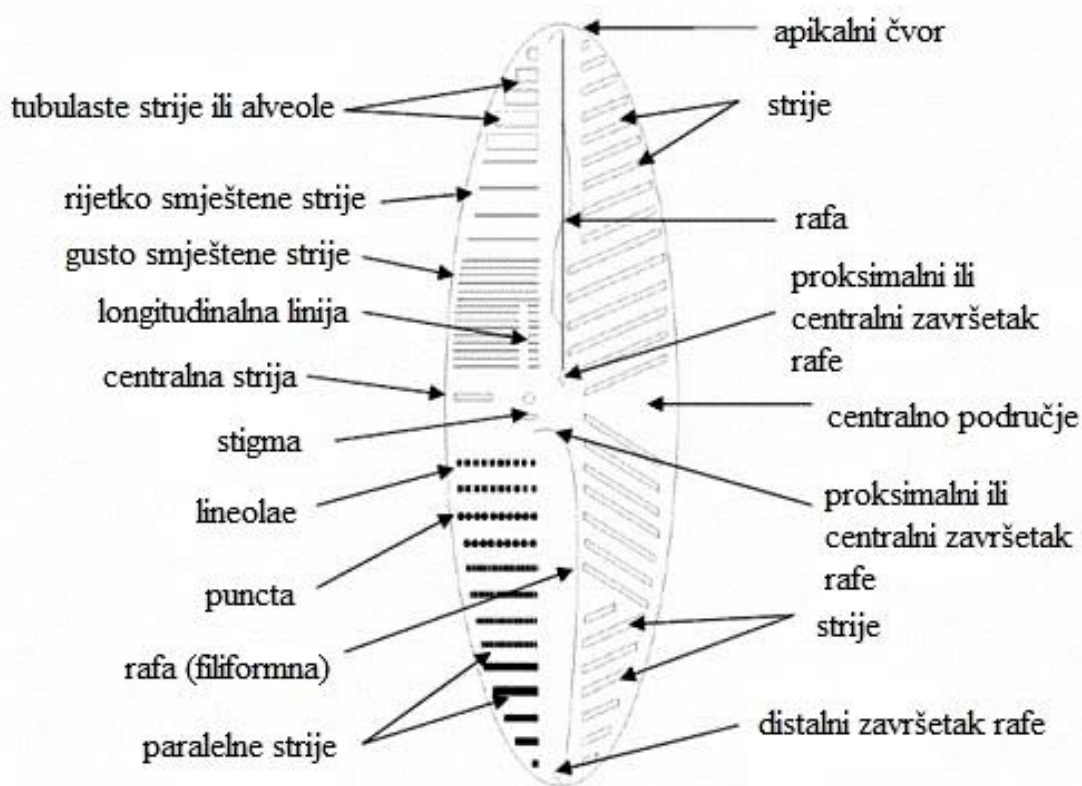
Prilikom determinacije algi kremenjašica iznimno je važna simetrija frustula. Alge kremenjašice se s obzirom na simetriju ljušturice dijele na Centricae koje imaju radijalnu strukturu u odnosu na centralnu točku i pretežno su planktonski oblici, i Pennatae koje su izdužene i prevladavaju u bentosu. Prilikom determinacije centrica najznačajnija je perivalvalna os simetrije koja povezuje centralne točke dviju valvi (John, 2012). Kroz perivalvalnu os radijalno simetričnih centrica može se provući bezbroj radijalnih ravnina simetrije koje dijele stanicu na dva jednaka dijela. Kroz penatne alge kremenjašice prolaze tri ravnine i tri osi simetrije (Slika 3), a stanice su simetrične s obzirom na jednu ili dvije ravnine. Valvalna ravnina dijeli stanicu na gornju i donju polovicu, apikalna na lijevu i desnu, dok transapikalna ravnina dijeli stanicu na prednji i stražnji dio. Transapikalna ravnina postoji samo u slučaju ako se prednji i stražnji dio stanice ne razlikuju.



Slika 3. Simetrija algi kremenjašica a) Centrice: AA = radijalna ravnina; BB = valvalna ravnina. b) Penate: AA = apikalna ravnina; BB = valvarna ravnina; CC = transapikalna ravnina.

Penatne alge kremenjašice se mogu podijeliti na rafidne i arafidne vrste, ovisno o prisutnosti ili odsutnosti longitudinalnog proreza kroz valvu koji se naziva *rapha* (John, 2012; Slika 4). Rafa prolazi cijelom stanicom alge kremenjašice, iako su moguće sekundarne modifikacije koje mogu razdvojiti jednu rafa na dva dijela. Svaka rafa završava na području apikalnog čvora (*nodulus apicalis*) vršnom porom (*porus apicalis*) ili jezičastom strukturom *helictoglossum*, a ukoliko je došlo do razdvajanja, krajevi razdvojenih rafa završavaju u području središnjeg čvora (*nodulus centralis*). Kod nekih algi kremenjašica rafa s unutrašnje strane može biti premošćena silicijevom mostovima (*fibulae*) pa tako nastaje rafa s kanalom (Pasarić, 2007). Glavna funkcija rafe je pokretljivost i predloženo je nekoliko teorija o pokretanju algi kremenjašica. Jedna od teorija je da se kroz pukotinu rafe izlučuju polisaharidi. Svi pokretni oblici algi kremenjašica imaju pukotinu i kreću se samo kad se stanica nalazi na supstratu na kojeg se može vezati. Sluzavi sekret koji se izlučuje igra važnu ulogu u adheziji stanice na podlogu te je predloženo da sile uzrokovane konstantnom ekskrecijom omogućuju potrebnu pokretačku snagu (Drum i Hopkins, 1966; Harper i Harper,

1967; Harper, 1977). Vidljiva zadebljanja koja se pružaju od središnjeg rebra (*sternum*) nazivaju se rebra ili *costae*. Rebra prate apikalnu os, a između rebra se nalaze izdužene komorice (*alveolae*), perforirane s gornje i donje strane. Perforacije alveola nazivaju se pore ili areole (*areolae*), a nizovi areola između rebra nazivaju se strije (*strie*, *areolae intercostales*). Funkcija pora je komunikacija s vanjskom okolinom, odnosno izmjena hranjivih tvari i produkata metabolizma. Najvažnija taksonomska obilježja algi kremenjašica su oblik areola, gustoća strija (u 10  $\mu\text{m}$ ), orijentacija strija s obzirom na apikalnu os (radijalna, paralelna, konvergentna), oblik valve te prisustvo glavnih struktura na frustuli.



Slika 4. Glavne morfološke karakteristike ljušture alge kremenjašice s bilateralnom simetrijom.

Rafidne alge kremenjašice dijele se na monorafidne i birafidne. Monorafidne alge kremenjašice imaju funkcionalni sustav rafe na samo jednoj rafi, dok se pukotina rafe druge valve ispuni silicijem tijekom morfogeneze. Položaj i orijentacija pukotine rafe, kao i prisutnost ili odsutnost rebra, važna su obilježja prilikom determinacije svojti. Kod nekih skupina algi kremenjašica (npr. rodovi *Nitzschia*, *Hantzschia*), pukotina rafe smještena duž

jednog ruba valve i izgleda kao skupina isprekidanih linija. Kod druge skupine algi kremenjašica, roda *Surirella*, fibule pukotine rafe su povezane tako da obje rafe idu svojom stranom ruba valve te se prekidaju na području apikalnog čvora.

Alge kremenjašice predstavljaju polifiletsku skupinu u kojoj se mogu razlikovati: 1) *Coscinodiscophyceae* - radijalno simetrične centrice; 2) *Mediophyceae* - bi/multi polarne centrice; 3) *Fragilariophyceae* - arafidne penate; te 4) *Bacillariophyceae* - rafidne panate. (Medlin, 2016)

Pigmenti prisutni u algama kremenjašicama su klorofili *a* i *c*, te karotenoidi (beta karoten i fukoksantin). Klorofil *c* im omogućuje korištenje svjetlosnih zraka valnih duljina koje prodiru dublje u more, a time uvjetuje i njihovu vertikalnu raspodjelu. Rezervne tvari algi kremenjašica su polimer glukoze krizolaminarin i uljna tjelešca (Round i sur, 1990)

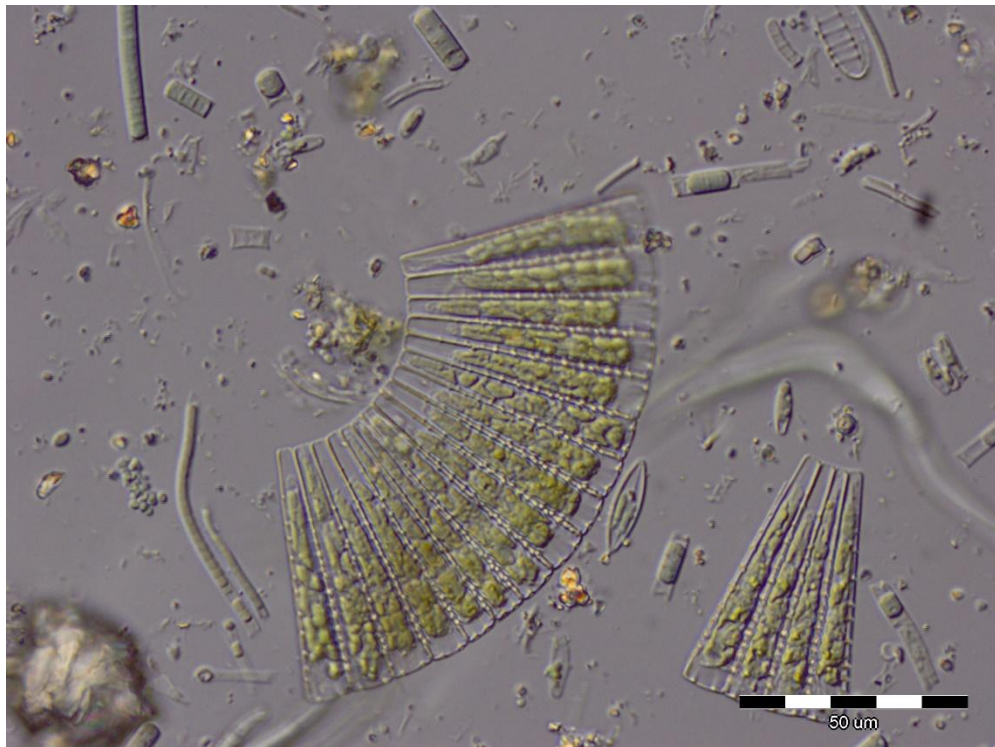
Alge kremenjašice se razmnožavaju vegetativno i spolno. Kod vegetativnog se načina valve razmaknu, a protoplazma podijeli te nastupi mitozu jezgre. Objе nove stanice dobiju po jednu valvu od roditeljske stanice koja postaje gornja veća valva, dok manju valvu sintetiziraju same. Ovom metodom postupno dolazi do smanjivanja veličine stanice. Kada stanica dosegne minimalnu kritičnu veličinu (30 – 40 % od početne veličine), dolazi do procesa auksosporulacije. Auksosporulacija uključuje i spolni način razmnožavanja. Osnovni princip je stvaranje velike auksospore, stanice s karakterističnim silikatnim pojasom koja zatim izlučivanjem formira veću ljušturu i novonastaloj stanici omogućava rast do maksimalne veličine (Round i sur., 1990). Centrice se spolno razmnožavaju oogamijom, a penatne alge kremenjašice izogamijom ili u manjem broju slučajeva anizogamijom (John, 2012). U nepovoljnim uvjetima alge kremenjašice mogu stvarati trajne ciste (spore) s tvrdom silificiranom ljušturicom koja ima karakteristične nastavke kod različitih vrsta. Trajne spore padnu na dno gdje mogu preživjeti nepovoljnu godišnju sezonu i ponovno se aktivirati kada nastupe povoljni uvjeti.

Fosili algi kremenjašica često se koriste u paleoekološkim rekonstrukcijama, a najraniji ostatci poznati su još iz razdoblja krede. Debele naslage ljušturica tijekom tercijara i deluvija stvorile su dijatomejski mulj ili tzv. kremenu zemlju (John, 2012). Pad raznolikosti je primijećen u Oligocenu što je u korelaciji naglim padom koncentracije CO<sub>2</sub>, kao i padom temperature na globalnoj razini (Rabosky i Sorhannus, 2009).

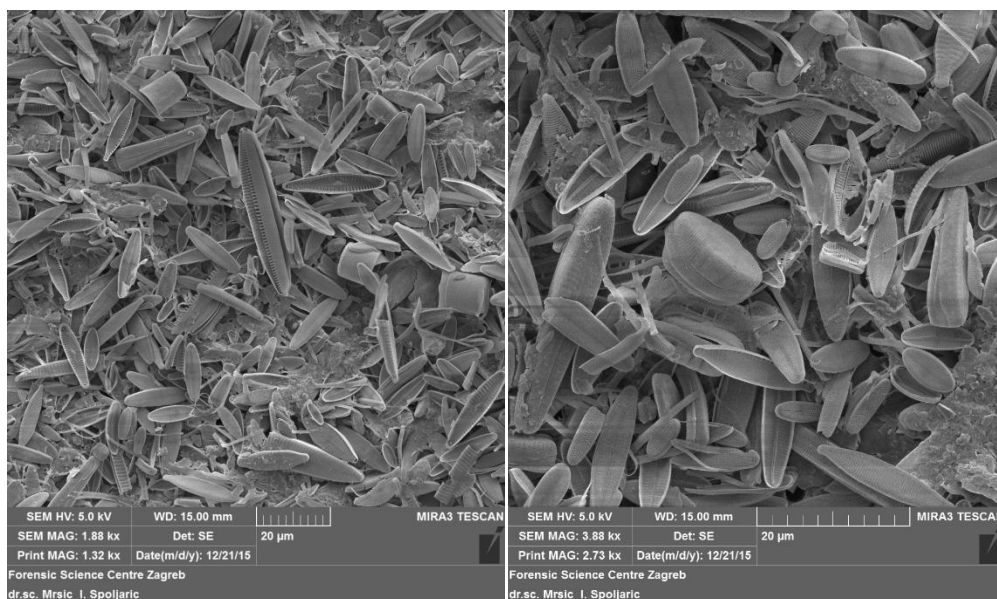
Vjeruje se da im od nastanka do danas povećala bioraznolikost zbog razvitka kopnenih površina i otpuštanja silicija u globalno kruženje silicija. Još jedan mogući razlog je otpornost algi kremenjašica i bolja kompeticija u usporedbi s ostalim planktonskih i bentoskim organizmima (Rabosky i Sorhannus, 2009). Danas su alge kremenjašice vrstama najbrojnija skupina algi, s opisanih približno 12 000 vrsta razvrstanih u preko 260 rodova. Pretpostavlja se da bi broj vrsta mogao doseći 100 000 (John, 2012).

## 1.2. Opće značajke obraštaja

Perifiton ili obraštaj je zajednica bakterija, alga, heterotrofnih organizama i detritusa koja nastaje na prirodnim ili umjetnim podlogama potopljenim u vodi (Azim i sur., 2005) (Slika 5 i Slika 6). S obzirom na sustavne elemente, perifiton se dijeli na euperifiton i pseudoperifiton. Euperifiton ili „pravi perifiton“ predstavlja sesilne organizme pričvršćene na supstrat pomoću rizoida, želatinoznih stijenki, stapki, držaka, dok se pseudoperifiton ili metafiton odnosi na organizme koji se slobodno kreću među sesilnim (Azim i sur., 2005).



Slika 5. Obraštajna zajednica rijeke Krčić, neočišćeni uzorak (autor: M. Gligora Udovič).



Slika 6. Obraštajne zajednice algi kremenjašica (SEM) (autor: M. Gligora Udovič).

S obzirom na podlogu na kojoj se razvija, perifiton se dijeli na: epifiton (obraštaj na vodenom bilju), epizoon (obraštaj na životinjama), epipelon (obraštaj na muljevitim sedimentima), epipsamon (obraštaj na pjeskovitim podlogama), epiliton (obraštaj na kamenitim podlogama) i epiksilon (obraštaj na drvenim podlogama) (Goldsborough i sur., 2005).

Fitobentos obuhvaća alge kremenjašice (Ochrophyta: Bacillariophyceae), cijanobakterije (Cyanobacteria), zelene bičaste (Euglenozoa), ksantofite (Xanthophyta), zlatnožute alge (Ochrophyta: Chrysophyceae), crvene alge (Rhodophyta), veliki dio algi jarmašica i harofita (Charophyta) i zelene alge (Chlorophyta).

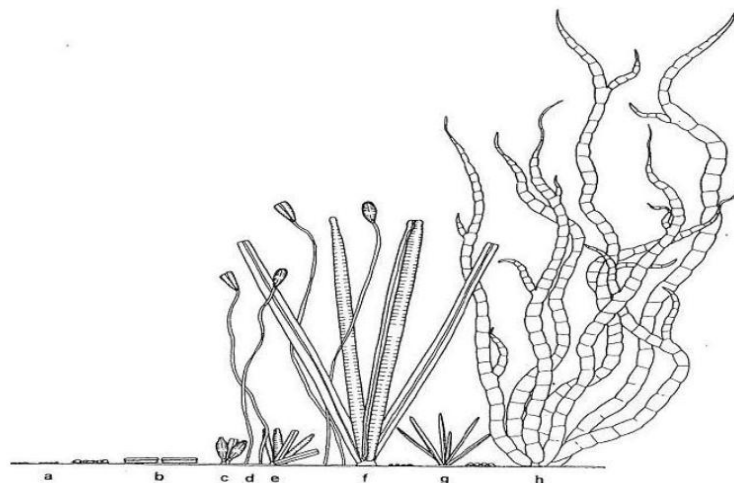
Perifitonska zajednica ima važnu ulogu u vodenim ekosustavima. Uz fitoplankton i makrofitsku vegetaciju pridonosi fiksaciji dušika te kruženju tvari u vodenim ekosustavima (Kern i Darwich, 2003) te ima značajnu ulogu u primarnoj produkciji. Perifiton ima iznimnu indikatorsku vrijednost u vodenim ekosustavima jer organizmi u njegovom sastavu vrlo brzo reagiraju na promjene u hidrološkom režimu i kvaliteti vode (Gaiser, 2008). Fito komponenta obraštaja ima sposobnost apsorpcije suviška hranjivih tvari, metala i različitih toksina iz vode te njihovom apsorpcijom pridonosi poboljšanju kvalitete vode (Szlauer-Lukaszewska, 2007). Perifiton tvori vodena staništa pogodna za naseljavanje drugih organizama te ima ulogu u bazi trofičke piramide kao izvor hrane. (Pasarić, 2007).

Sastav alga u perifitonu mijenja se ovisno o sezonskim uvjetima. Tijekom proljeća i zime u perifitonu dominiraju alge kremenjašice, a u ljeto i jesen su uz alge kremenjašice vrlo

dobro razvijene cijanobakterije i zelene alge. Razvoj perifitona odvija se u nekoliko faza (Slika 7). Nakon uranjanja podloge u vodu, na površini se pomoću elektrostatskih sila počinju taložiti različite organske tvari, većinom aminokiseline i mukopolisaharidi. Ubrzo se hidrofobnim reakcijama naseljavaju bakterije koje izlučuju izvanstanične polimerne tvari koje ih štite od nepovoljnih uvjeta (Hodoki, 2005). Slijede alge kremenjašice, koje se nastanjuju na organski matriks koje luče bakterije. Zatim se naseljavaju vrste alga sa kratkim i dugačkim drškom i formiraju slojevitou zajednicu. U posljednjoj fazi razvoja naseljavaju se eukariotski višestanični organizmi. Vrlo brojni mogu biti Rotatoria, Nematoda, Oligochaeta, Gastropoda, Bivalvia, Crustacea i ličinke kukaca s naglaskom na ličinke Chironomidae (Čerba i sur., 2009).

Formiranje perifitonskog sloja odvija se u dvije faze. Prvu fazu „gomilanja“ karakterizira eksponencijalni rast biomase. Zatim slijedi faza propadanja koja može biti uzrokovana strujanjem vode, a može doći i do samopropadanja – prekomjernog rasta zajednice pa alge koje su blizu podloge ugibaju zbog nedovoljne količine svjetlosti i nutrijenata (Azim i sur., 2009).

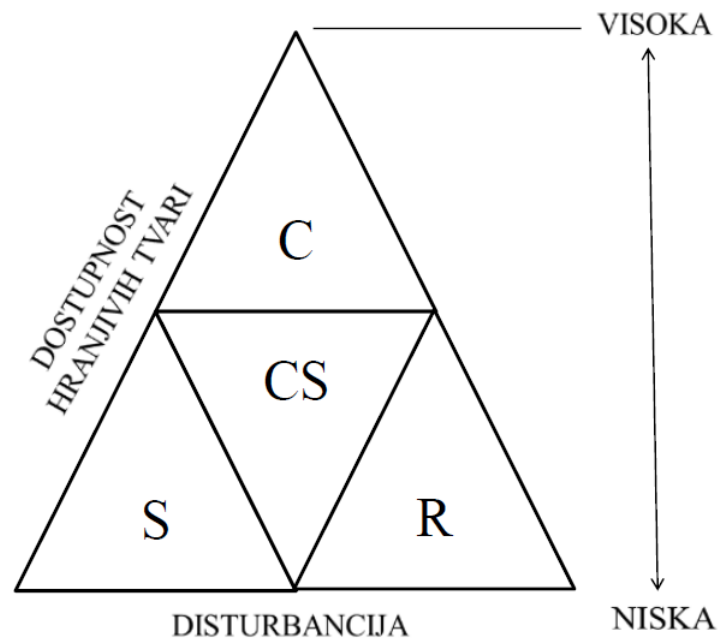
Na rast i razvoj perifitona utječu različiti fizikalno-kemijski čimbenici kao što su: pH vode (Verb i Vis, 2002), tip podloge (Vymazal i Richardson, 1995; Biggs i Smith, 2002), intenzitet osvjetljenja (Maltais i Vincent, 1997) te hranidbeni pritisak (eng. „grazing“) (Steinman, 1996).



Slika 7. Slijed naseljavanja alga na podloge, gdje su a = bakterije; b = alge kremenjašice priljubljene uz podlogu; c = alge kremenjašice na kratkim stapkama; d = alge kremenjašice na dužim stapkama; e, f, g = alge kremenjašice u rozetama; h = filamentozne alge (Hoagland i sur., 1982).



Prema „konceptualnom modelu matrice staništa“ alge koje se razvijaju u perifitonu, razlikuju se s obzirom na fazu kolonizacije, prilagođenosti uvjetima staništa, dostupnim nutrijentima i svjetlosti te različitim oblicima hidroloških i hidrodinamičkih poremećaja (Biggs i sur., 2008). S obzirom na to razlikujemo pionire tj. ruderalne vrste (R-stratezi), kompetitivne vrste (C i C - S stratezi) i vrste otporne na stres (S-stratezi) (Slika 8). R-stratezi vrlo brzo naseljavaju različite podloge bez obzira na dostupnost hranjivih tvari, malih su dimenzija i brzo se razmnožavaju. Za ovu skupinu karakteristične su alge iz razreda Bacillariophyceae. Nakon ruderalnih vrsta, podloge naseljavaju C-stratezi. Zahtijevaju stabilna, eutrofna staništa, pojavljuju se u kasnijim fazama perifitona te se njihovo naseljavanje obično povezuje s tzv. „klimaskom“ perifitonske zajednice. C-stratezi formiraju visoke filamentozne strukture kojima se izdižu iznad donjih slojeva perifitona te na taj način lakše dolaze do svjetlosti i nutrijenata. Najveći broj vrsta karakteriziranih kao C-stratezi pripadaju skupini Chlorophyta. S-stratezi se pojavljuju u stabilnim, oligotrofnim staništima. Imaju sposobnost fiksiranja dušika, a pojedine vrste koriste organske molekule kao izvor hranjivih tvari.



Slika 8. Shematski prikaz razvoja alga u obraštajnim zajednicama u ovisnosti o dostupnim resursima i učestalosti disturbancija (Biggs i sur., 1998).



### 1.3. Fitobentos kao biološki element kakvoće vode

Fitobentos je jedan od najboljih pokazatelja kakvoće u ocjeni ekološkog stanja. Koristi se iz nekoliko razloga: lako ga je uzorkovati, ima kratko generacijsko vrijeme u trajanju od nekoliko sati do nekoliko dana što ga čini skupinom koja prva reagira na površine u okolišu. Fitobentos objedinjuje vrlo raznolike skupine unutar vodenih zajednica te predvidljivo reagira na promjene kakvoće vode. Prednosti fitobentosa kao indikatora u procjeni ekološkog stanja i monitoringu su: velika taksonomska raznolikost, kratko generacijsko vrijeme te brz odgovor na stres, odnosno na promjene okolišnih uvjeta ili kakvoće vode (Plenković-Moraj i sur., 2009).

### 1.4. Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela

Prema okvirnoj direktivi o vodama (eng. Water Framework Directive) (2000/60/EC), najznačajnijeg dijela EU legislative o vodama, sve zemlje članice EU dužne su izraditi procjenu stanja vodnih tijela, kao i njihovu klasifikaciju. Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela mjeri kvalitetu strukture i funkcija ekosustava i izrađuje se na temelju: 1) bioloških elemenata (gustoća i raznolikost vodenih organizama); 2) hidro-morfoloških elemenata koji podržavaju biološke elemente (dinamika toka, dubina); 3) fizikalno-kemijskih elemenata koji podržavaju biološke elemente (temperaturni režim, koncentracija kisika, salinitet). Klasifikacija ekološkog statusa površinskih voda sastoji se od 5 klasifikacijskih kategorija za biološke elemente (visok, dobar, srednji, nizak i loš status), i po 3 kategorije (visok, dobar i srednji status) za hidro-morfološke i fizikalno-kemijske elemente, a ukupni ekološki status određuje se prema onoj stavci koja je najlošije ocijenjena. Znači, ukoliko je status prema biološkom i fizikalno-kemijskom elementu ocijenjen kao dobar, a hidro-morfološkom elementu kao umjeren, ukupni ekološki status biti će ocijenjen kao umjeren (Priručnik o načinu određivanja statusa voda i provedbi monitoringa). Biološki elementi prikazuju se kao omjer dobivenih vrijednosti parametara u odnosu na referentne vrijednosti. Biološki elementi kakvoće su: fitoplankton, fitobentos, makrofita, makrozoobentos i ribe. (Kelly, 2008). Referentno stanje odgovara kategoriji „vrlo dobrog“ ekološkog statusa. Označava one uvjete i raspone parametara koji odgovaraju nepromijenjenim prirodnim uvjetima, ili neznatno promijenjenim uvjetima uslijed ljudskih pritisaka (Priručnik o načinu određivanja statusa voda i provedbi monitoringa). Alge kremenjašice su prepoznate kao nezaobilazan element u

sastavu i strukturi zajednice fitobentosa u ekološkim procjenama kakvoće slatkovodnih ekosustava (Plenković-Moraj i sur., 2009). Ključne sastavnice fitobentosa su taksonomski sastav i (relativna) brojnost vrsta (Kelly, 2008). Alge kremenjašice imaju poznate granice tolerancije na okolišne promjene, uključujući koncentraciju hranjivih soli, suspendiranog materijala i vodnog režima (Kelly i sur. 2008). U državama članicama Europske Unije, koriste se metode i indeksi koji se temelje na odnosu dijatomejskog sastava fitobentosa i kemijskih čimbenika. U Hrvatskoj se koriste tri nezavisna multimetrička dijatomejska indeksa: trofički indeks dijatomeja - TID<sub>RH</sub>, IPS indeks, SI - indeks organskog opterećenja te jedan nedijatomejski indeks - NeD (Plenković-Moraj i sur., 2009). Klasifikacija ekološkog stanja površinskih voda prema Okvirnoj Direktivi o vodama (ODV) prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Klasifikacija ekološkog stanja prema EU - Okvirnoj Direktivi u vodama

<b>Kategorije ekološkog stanja</b>	<b>Boja</b>
Vrlo dobro	Plava
Dobro	Zelena
Umjereno	Žuta
Loše	Narančasta
Vrlo loše	Crvena

## 1.5. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja bio je:

- opisati zajednicu algi kremenjašica izvora rijeke Krčić te odrediti relativnu učestalost algi kremenjašica u obraštaju
- odrediti ekološke zahtjeve dominantnih vrsta privremenog krškog izvora rijeke Krčić
- na osnovi trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) i saprobnog indeksa ( $SI_{HRIS}$ ) donijeti zaključak o ekološkom stanju izvora rijeke Krčić
- procijeniti primjenjivost sustava ocjene ekološkog stanja tekućica u Republici Hrvatskoj pri ocijeni ekološkog stanja izvorišnog područja rijeke Krčić

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Područje istraživanja

#### 2.1.1. Geografski smještaj rijeke i slapa Krčić

Rijeka Krčić nalazi se u Dalmaciji, na području Šibensko - kninske županije (Slika 9). Glavni Izvor Krčić smješten je u podnožju planine Dinare kod sela Polače na 370 m nadmorske visine. Nekoliko manjih izvora nalazi se u neposrednoj blizini glavnog izvora, u blizini desne obale rijeke Krčić.

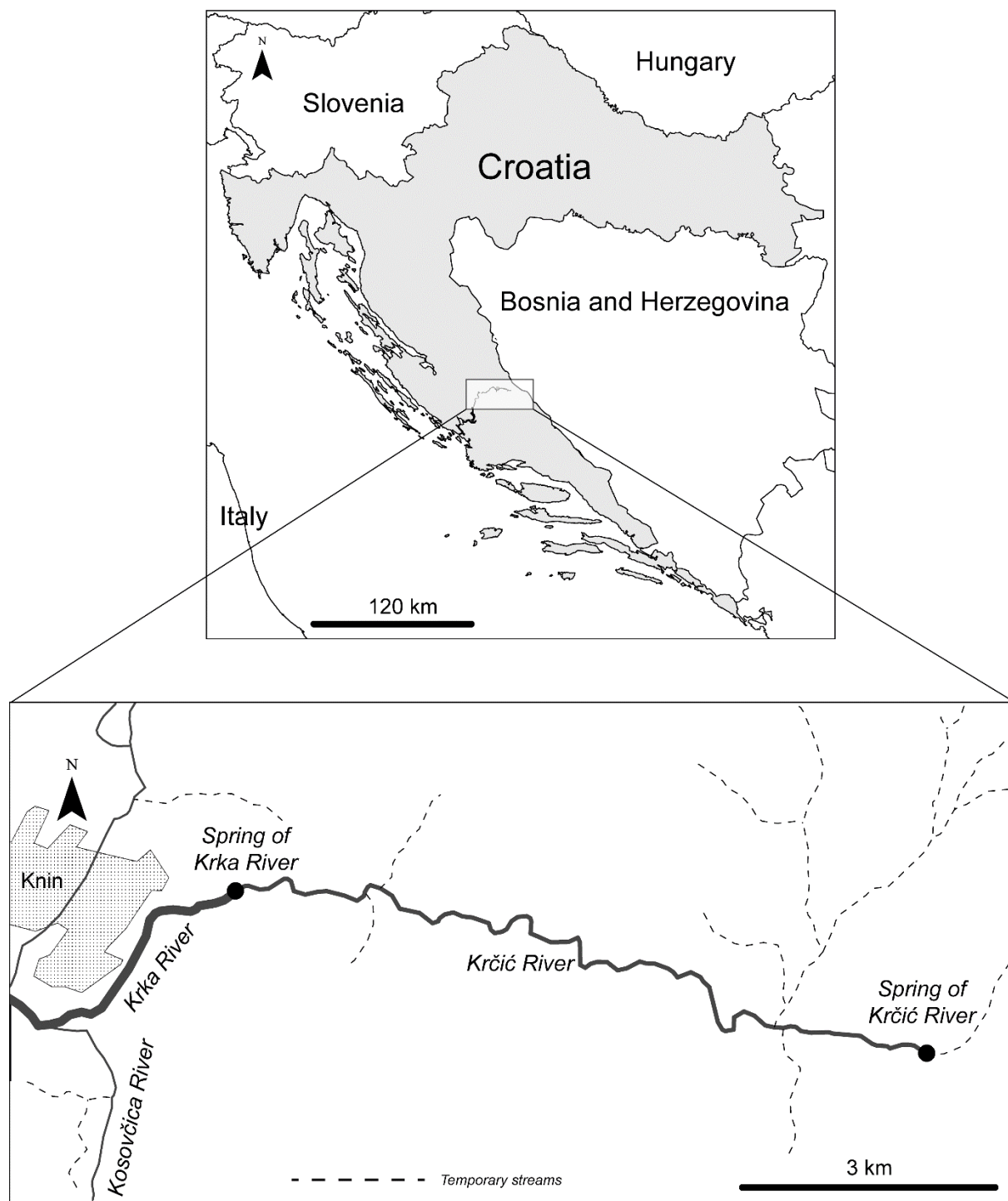
Rijeka Krčić dugačka je 10 km i protječe kroz više administrativno-teritorijalnih jedinica lokalne samouprave, tj. kroz mjesta Knin, Kijevo i Vrliku. Završava svoj tok ulaskom u Kninsko polje, kod mjesta Topolje, slapom visokim 22 m. Slap je poznat pod tri različita imena: Topoljski buk, Slap Krčić i Veliki buk, ispod kojeg se nalazi krški izvor rijeke Krke na 224 m nadmorske visine.

#### 2.1.2. Hidrološka i hidrogeološka obilježja rijeke Krčić

Osnovne konture reljefa sliva Krčića sastoje se od dolomita gornjeg Trijasa, vapnenaca i dolomita iz razdoblja Jure te aluvijalnih naslaga iz razdoblja Kvartara.

Prostor Krčića građen je pretežito od jurskih sedimenata, a zastupljeni su uglavnom vapnencima (lijas), dolomitiziranim vapnencima i dolomitima (doger, malm) (Jukić, 2006). Duž toka Krčića nalazi se antiklinala koja je građena iz gornjotrijaskih dolomita. Propusnost dolomita ovisi o njihovoj tektonskoj oštećenosti i razlomljenosti. Jezgra antiklinale izgrađena je od tektonski neoštećenih dolomita te tok podzemnih voda nije moguć. Dolomiti na ovaj način vrše funkciju podzemne barijere na dijelu svog prostiranja te se pretpostavlja da su na ovaj način razdvojene podzemne vode područja sjeverno od Krčića od voda južnog područja (Hidrogeološka studija područja Trogir – Šibenik – Drniš - Knin, 1984). Vode iz sjevernog područja usmjerene su prema Glavnom izvoru Krke i Crnom vrelu, dok su vode s područja južno od Krčića usmjerene prema Malom vrelu, Lopuškom vrelu i Kosovčici. Budući da dolomiti mogu propuštati vodu na mjestima gdje su jače tektonski oštećeni, pretpostavlja se

da voda na Glavni izvor Krke dolazi uzduž tektonski razlomljene zone u desnom boku antiklinale (Angelini, 1997).



Slika 9. Karta istraživanog područja s označenim položajem rijeke Krčić

Područje oko izvora Krčića građeno je od dobro propusnih naslaga donje krede. Ovaj pojas prolazi platoom u blizini mjesta Kijevo i pruža se zaleđem planinskog masiva Dinare. Planinski masiv, građen iz karbonanih naslaga malma, ima hidrogeološku funkciju relativne barijere te usmjerava tokove podzemnih voda u smjeru paralelnom svom pružanju.

Teren između Dinare i Krčića podijeljen je u niz nepravilnih tektonskih blokova. Znatn dio vode na izvor Krčića priteče iz područja Uništa uzduž rasjeda s južne strane Dinare (Hidrogeološka studija područja Trogir-Šibenik-Drniš-Knin, 1986).

Izvor Krčića smješten je na kontaktu propusnog zaleđa i nepropusne hidrogeološke barijere koja se proteže duž toka Krčića. Iako izvor Krčića presušuje redovito svake godine, njegov vodonosnik ima najveću retencijsku sposobnost što je vjerojatno posljedica slabije okršnosti prostora u njegovom zaleđu (Jukić, 2006, Slika 10 i Slika 11).

Krški reljef obuhvaća više od 45 % hrvatskog državnog teritorija (Roglić, 1974). Područje hrvatskog krša dio je Jadranske karbonatne ploče, paleogeografske strukture koja je postojala od donje jure do kraja krede, a koja predstavlja znatan dio krških Dinarida (Velić, 2007). Dinarski krš je poznat kao klasičan tip krša „*locus tipicus*“ zbog brojnih dobro razvijenih površinskih i podzemnih krških oblika (Lukač Reberski i sur. 2009). Pojmovi koji se odnose na krške fenomene ove regije kao što su polje, dolina, ponor i jama, dio su međunarodnog geološkog rječnika što potvrđuje jedinstven status regije (Gottstein, Matočec i sur., 2002).

Izvori su specifična staništa koja se zbog svoje fizikalno – kemijske stabilnosti uvelike razlikuju od površinskih voda. Očituju se niskim i stabilnim temperaturama vode te visokom koncentracijom kisika (Cantonati, 1998). Stalne izvore nastanjuju organizmi prilagođeni na relativno konstantne okolišne uvjete. Alge kremenjašice svojom taksonomskom raznolikošću i brojnošću predstavljaju ključnu ulogu u funkcioniranju izvora, ali nemaju značajni doprinos produkciji biomase (Mogna i sur., 2015).



Slika 10. Izvorišno područje rijeke Krčić (autor: S. Gottstein).



Slika 11. Korito izvora rijeke Krčić u razdoblju presušivanja (autor: S. Gottstein).

## 2.2. Vrijeme istraživanja

Uzorci fitobentosa prikupljeni su u nepravilnim razmacima od lipnja 2012. godine do studenog 2015. godine (Tablica 2). Redovito uzorkovanje provodilo se u određenim razdobljima 2014. i 2015. godine s ciljem određivanja sezonske promjene u taksonomskom sastavu zajednice algi kremenjašica.

Tablica 2. Datumi uzorkovanja fitobentosa na rijeci Krčić s pripadajućim brojem određenih vrsta algi kremenjašica u uzorku

<b>Datum</b>	<b>broj vrsta</b>
<b>01.06.2012.</b>	12
<b>05.12.2013.</b>	12
<b>20.02.2014.</b>	6
<b>19.03.2014.</b>	9
<b>23.04.2014.</b>	11
<b>21.05.2014.</b>	15
<b>01.07.2014.</b>	14
<b>19.07.2014.</b>	7
<b>08.08.2014.</b>	8
<b>17.09.2014.</b>	13
<b>29.12.2014.</b>	15
<b>07.03.2015.</b>	9
<b>05.05.2015.</b>	11
<b>02.06.2015.</b>	14
<b>20.10.2015.</b>	14
<b>21.10.2015.</b>	16
<b>26.11.2015.</b>	10

## 2.3. Određivanje fizikalno-kemijskih čimbenika vode

Fizikalno - kemijski čimbenici vode mjereni su *in situ*, neposredno prije uzorkovanja fitobentosa. Uz pomoć WTW MultiLine P4 sonde izmjereni su: temperatura zraka,



temperatura vode, pH vrijednost, koncentracija kisika u vodi ( $\text{mg L}^{-1}$ ), zasićenje kisikom (%), provodljivost ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), brzina strujanja vode na mjestu uzorkovanja ( $\text{ms}^{-1}$ ) te dubina vode na mjestu uzorkovanja (cm). Usporedno s fizikalno – kemijskim čimbenicima uzeti su uzorci za laboratorijsku analizu te su određivani alkalinitet ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ), utrošak HCl (mL) i kemijska potrošnja kisika (KPK,  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ). Kemijska analiza vode provedena je prema standardiziranim analitičkim metodama (APHA, 1995).

#### 2.4. Analiza klorofila *a*

Koncentracija klorofila *a* ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) mjerena je spektrofotometrijski, nakon ekstrakcije etanolom (Nusch, 1980) iz uzoraka prosinac 2013., veljača, ožujak, travanj, svibanj, srpanj, rujana 2014. godine te ožujak i listopad 2015. godine.

#### 2.5. Uzorkovanje fitobentosa

Uzorkovanje fitobentosa obavilo se po načelu „uzorkovanja jednog mikrostaništa“ (eng. „*single habitat sampling*“). Reprezentativno mikrostanište za uzorkovanje je površina potopljenog kamena, odnosno 5 kamena uzetih na različitim mjestima uzorkovanog odsječka. Za struganje fitobentosa korištena je četkica koja je za svako naredno uzorkovanje dobro očišćena i isprana ili u potpunosti zamijenjena. Površina struganja iznosila je  $3 \times 3 \text{ cm}$  za svaki kamen. Uzorci su pohranjeni u prethodno označene bočice, u zajedničke reprezentativne kompozitne uzorke, uz dodatak vode istraživanog izvora i fiksiranje uzoraka 4 % - tnim formaldehidom. Ukupno je sakupljeno 17 uzoraka. Uzorkovanje je provedeno u skladu s Uputama za Protokol – Ekološka procjena tekućica za provedu EU - Okvirne direktive o vodama: Markrofita i Fitobentos (Plenković-Moraj i sur. 2009).

#### 2.6. Obrada algološkog materijala

Za precizno kvalitativno i kvantitativno određivanje algi kremenjašica uzorak je ispran od konzervansa, očišćen od organskih i anorganskih tvari te su izrađeni trajni preparati.

### 2.6.1. Ispiranje konzervansa iz uzorka

Trajni preparati algi kremenjašica izrađeni su od konzerviranog materijala kojem je prethodilo ispiranje konzervansa, 4 % - tnog formaldehida (Slika 12). Uzorci su ispirani destiliranom vodom na slijedeći način: u uzorak se dodalo toliko destilirane vode koliki je volumen uzorka te je uzorak centrifugiran 2 minute na 2000 okretaja. Nakon svakog centrifugiranja, supernatant je pažljivo uklonjen aspiriranjem pomoću vakuum sisaljke priključene na vodu. Postupak je ponovljen najmanje 4 puta za svaki uzorak, kako bi se u potpunosti uklonili tragovi formaldehida.

### 2.6.2. Čišćenje ljušturica algi kremenjašica od organske i anorganske tvari

Kako bi se iz materijala uklonio kalcijev i magnezijev karbonat, uzorku je u jednakom volumenu dodana 36,5 % klorovodična kiselina (HCl). Nakon završetka reakcije u obliku pjenjenja uzorka kalcijevog i magnezijevog karbonata i klorovodične kiseline, uzorak je ponovno ispran destiliranom vodom prema prethodno opisanom postupku. Ispiranje se ponavljalo najmanje 4 puta dok pH uzorka nije bio neutralan (7).

Uklanjanje organske tvari iz uzorka provodilo se u epruvetama s debelim dnom, dodavanjem 96 % sumporne kiseline ( $H_2SO_4$ ) u dvostrukom omjeru volumena u odnosu na originalni uzorak (Slika 13). Smjesa uzorka i kiseline u epruveti zagrijavana je na plinskom plameniku do pojave crnog taloga i bijelih para. Neki uzorci su se obezbojili samo zagrijavanjem na plameniku, a uzorcima koji su ostali crne boje dodano je nekoliko kristalića natrijevog ili kalijevog nitrata ( $KNO_3$  ili  $NaNO_3$ ). Obezbojeni se uzorak ponovno nekoliko puta (oko 6 – 7 puta) ispirao destiliranom vodom do neutralnog pH 7.

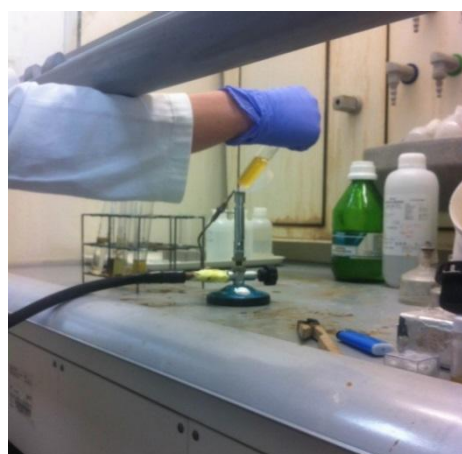
### 2.6.3. Izrada trajnih preparata

Za mikroskopiranje, determinaciju i kvantifikaciju algi kremenjašica, potrebno je izraditi trajne preparate. Izrada kvalitetnih preparata zahtjeva procjenu optimalne gustoće frustula radi lakšeg određivanja i brojenja jedinki. Ukoliko je bilo potrebno, mliječno bijeloj suspenziji uzorka dodana je destilirana voda kako bi se smanjila gustoća uzorka. Poduzorci su nanešeni kapalicom (0,05 mL) na prethodno pripremljena pokrovna stakalca na način da u

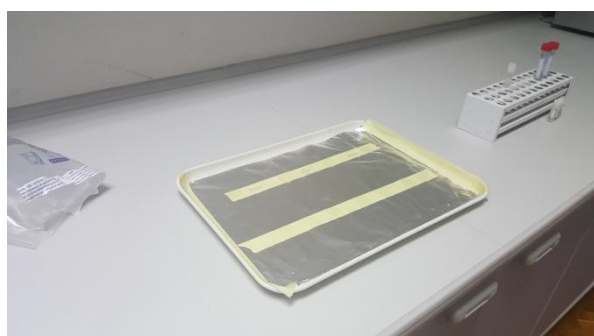
potpunosti prekriju površinu pokrovnice. Tako pripremljeni uzorci ostavljeni su na sušenju u digestoru na sobnoj temperaturi (Slika 14). Osušene pokrovnice uklopljene su pomoću Naphrax smole na način da se na predmetno stakalce stavi kap smole i na nju se postavi pokrovno stakalce. Preparat je lagano zagrijavan na plinskom plameniku, sve dok se smola ne raširi pod cijelim pokrovnim stakalcem (Slika 15). Prilikom zagrijavanja se stvaraju mjehurići koje je bilo potrebno lagano pritisnuti drvenim štapićem. Preparat je ostavljen na hlađenju, a jednom ohlađeni preparat je spreman za mikroskopiranje. Iz svakog uzorka izrađeno je nekoliko trajnih preparata (replikata).



Slika 12. Ispiranje uzoraka prilikom čišćenja ljušturica (autor: Josipa Pichler).



Slika 13. Uklanjanje organske tvari (autor: Anamarija Ćukurin).



Slika 14. Sušenje pokrovnica s uzorcima (autor: Mirela Šušnjara).



Slika 15. Uklapanje uzoraka u Naphrax smolu (autor: Mirela Šušnjara).

#### 2.6.4. Mikroskopiranje i determinacija algi kremenjašica

Determinacija vrsta algi kremenjašica, relativna učestalost i izrada mikrofotografija određene su na svjetlosnom mikroskopu (Olympus BX51, Olympus Corporation, Japan) te na svjetlosnom inverznom mikroskopu (Zeiss Axiovert 200, Carl Zeiss, Germany) uz povećanje  $1000 \times$  i upotrebu faznog kontrasta. Iznimno je za potrebe determinacije korišten i diferencijalni interferencijski kontrast (DIC). Uzorci su mikroskopirani i na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM) te su izrađene mikrofotografije. Uzorci za SEM su prethodno profiltrirani membranskim filterima (Whatman Nucleopore  $0,3 \mu\text{m}$ ) te nakon sušenja pričvršćeni na aluminijske tablice i poprskani s  $30 \text{ nm}$  zlata. Uzorci su mikroskopirani na FEG Tescan MIRA3 mikroskopu. SEM mikrofotografije izrađene su u Centru za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“. Za determinaciju rodova i vrsta korištena je relevantna taksonomska literatura: Lange-Bertalot (2013) i Kramer i Lange-Bertalot (1991 a, 1991 b).

Determinacija vrsta temeljila se na morfometrijskim mjerenjima triju varijabli: dužine i širine valve te gustoći strija (broj strija u  $10 \mu\text{m}$ ). U obzir su uzete i ostale specifične morfološke karakteristike frustula. Vrste učestale u uzorku mjerene su na 20 - 30 valvi, dok su kod rjeđih vrsta izmjerene sve pronađene stanice. Morfometrijska mjerenja i izrada mikrofotografija obavljani su u programima Optica Vision Pro (Optica Italy), te u AxioVision LE 4.8.2 programu (Carl Zeiss, 2009).

Po svakom uzorku izbrojano je 400 jedinki. Izračunata je relativna učestalost algi kremenjašica koja se izražava kao postotak od prebrojenih stanica. Na osnovu relativne učestalosti vrsta (%) određene su dominantne vrste za istraživano područje. Apsolutna učestalost vrste izražava se odnosom broja stanica pojedine vrste i ukupnog broja stanica algi kremenjašica.

#### 2.7. Analiza podataka

Fizikalno-kemijski čimbenici analizirani su multivarijantnom analizom glavnih komponenti (eng. PCA, Principal Components Analysis). PCA analiza korištena je u svrhu pretvaranja većeg broja (potencijalno) međuovisnih varijabli u manji broj varijabli koje nisu u

međudodnosu, a nazvane su glavnim komponentama. Time se multivarijantni set podataka svodi na dvodimenzionalan opis u kojem se podaci grupiraju u jasno odvojene grupe.

Struktura zajednice opisana je Margalef-ovim indeksom bogatstva vrsta ( $d$ ) i ukupnim brojem vrsta ( $S$ ). Margalef-ov indeks definira bogatstvo vrsta kao funkciju ukupnog broja jedinki ( $N$ ) i ukupnog broja vrsta ( $S$ ):

$$d = \frac{(S - 1)}{\log(N)}$$

Raznolikost fitobentoske zajednice opisana je Shannon-Wiener-ovim indeksom ( $H'$ ) koji je izračunat po formuli:

$$H' = - \sum p_i / \ln p_i$$
$$p_i = n_i/N$$

gdje je  $n_i$  - broj jedinki jedne vrste,  $N$  - ukupan broj svih jedinki,  $p_i$  - vjerojatnost pojavljivanja za vrstu  $i$  (Shannon 1948).

Drugi korišten indeks raznolikosti je Simpson-ov indeks ( $\lambda$ ). Izračunat je po sljedećoj formuli:

$$\lambda = \sum p_i^2$$
$$p_i = n_i/N$$

gdje je  $n_i$  - broj jedinki jedne vrste,  $N$  - ukupan broj svih jedinki. Simpson-ov indeks objašnjava vjerojatnost da dvije slučajno sakupljene jedinice pripadaju istoj vrsti. Velike vrijednosti indeksa označavaju zajednice kod kojih jedna ili nekoliko vrsta određuju gotovo cjelokupnu brojnost. Upravo zbog svoje jednostavnosti i uporabljivosti koristi se kao alternativa ostalim kompleksnijim indeksima. Uz Shannon-ov indeks i Simpson-ov indeks raznolikosti, koristi se i Pielou-ov indeks ujednačenosti ( $J'$ ):

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\log(S)}$$

gdje je  $H'$  - Shannon-ov indeks,  $S$  - ukupan broj vrsta u uzorku i  $H_{max}$  - maksimalna vrijednost Shannon-ovog indeksa koji bi bio postignut kad bi sve vrste bile jednako zastupljene ( $\log S$ ).

Ekologija algi kremenjašica, zahtjevi vrsta u odnosu na pH, zasićenje kisikom, trofiju i vlažnost određivani su prema van Dam i sur. (1994).

Analiza strukture i sastava fitobentosa provedena je uz pomoć trofičkog indeksa algi kremenjašica ( $TID_{RH}$ ), multimetričkog dijatomejska indeksa. Za izračunavanje indeksa korištena je modificirana jednačba Zelinka-Marwan (1961):

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

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

$IV_i$  = indikatorska vrijednost (osjetljivost) pojedine vrste

$IT_i$  = indikatorska težina (tolerantnost) pojedine vrste

Trofički indeks algi kremenjašica ukazuje na opterećenje vodnog tijela hranjivim tvarima, odnosno stupanj trofije prema zastupljenosti dijatomejskih vrsta (Rott i sur. 1999) (Tablica 3). Vrijednosti indeksa za svaku pojedinu dijatomejsku vrstu definirana je s obzirom na dvije veličine: indikatorsku vrijednost (osjetljivost) i indikatorsku težinu (tolerantnost) svake pojedine dijatomejske vrste. Indikatorska vrijednost ( $IV_i$ ) definirana je u rasponu od 1 do 4, pri čemu niže vrijednosti indeksa označavaju slabo osjetljive vrste, a više vrijednosti vrlo osjetljive vrste. Indikatorska težina ( $IT_i$ ) definirana je vrijednostima od 1 do 3 tako da niže vrijednosti označavaju vrste sa širokim rasponom tolerancije, dok više vrijednosti ukazuju na vrste s uskim rasponom tolerancije kao vrlo osjetljivim ekološkim pokazateljima.  $TID_{RH}$  je podijeljen u 8 klasa trofičkog stanja s pripadajućim klasama ekološkog stanja (ES), a njegove granične vrijednosti prilagođene su uvažavajući razlike i specifičnosti vodotoka u Republici Hrvatskoj (Tablica 4).

Tablica 3. Trofički indeks i trofički status vode prema Rott i sur. (1999).

TROFIČKI INDEKS	TROFIČKI STATUS
$\leq 1,0$	ultraoligotrofni
1,1 – 1,3	oligotrofni
1,4 – 1,5	oligo-mezotrofni
1,6 – 1,8	mezotrofni
1,9 – 2,2	mezo-eutrofni
2,3 – 2,6	eutrofni
2,7 – 3,1	eu-politrofni
3,2 – 3,4	politrofni
$> 3,4$	poli-hipertrofni

Indeks organskog opterećenja (saprobnost) ukazuje na količinu hranjivih tvari u vodotoku. Saprobnostni indeks (Zelinka i Marwan, 1961) definiran je saprobnim vrijednostima (indikatorska vrijednost i indikatorska težina) za svaku pojedinu dijetomejsku vrstu prema Hrvatskom indikatorskom sustavu HRIS (Primc Habdija i sur., 2003, Primc Habdija i sur., 2005). Vrijednosti  $SI_{HRIS}$  indeksa razvrstane su u osam klasa ovisno o saprobnom stanju (katarobno do polisaprobnostno) i pridružene su klasama ekološkog stanja (ES) (Tablica 5).

Za determinirane vrste u svakom uzorku određene su trofičke, odnosno saprobnostne indikatorske vrijednosti (osjetljivost) i težine (tolerantnost) prema Operativnoj listi svojiti (OLS) algi kremenjašica za rijeke i jezera.

Tablica 4. Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim граниčnim vrijednostima trofičkog indeksa algi kremenjašica ( $TID_{RH}$ ) (Plenković-Moraj i sur. 2009).

KLASE ES	TROFIČKO STANJE	$TID_{RH}$
VRLO DOBRO	Oligotrofno	$\leq 2,400$
	umjereno mezotrofno	
DOBRO	Mezotrofno	$\leq 2,700$
	umjereno eutrofno	
UMJERENO DOBRO	Eutrofno	$\leq 3,200$
	umjereno politrofno	
LOŠE	Politrofno	$\leq 3,400$
VRLO LOŠE	Hipertrofno	$\leq 3,401$

Tablica 5. Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim граниčnim vrijednostima  $SI_{HRIS}$  indeksa (Plenković-Moraj i sur. 2009).

SAPROBNO STANJE	$SI_{HRIS}$
katarobno	$\leq 1,70$
oligosaprobno	
o- $\beta$ -mezosaprobno	$\leq 2,20$
$\beta$ -mezosaprobno	
$\beta$ - $\alpha$ mezosaprobno	$\leq 2,70$
$\alpha$ -mezosaprobno	
$\alpha$ -mezo-polisaprobno	$\leq 3,20$
polisaprobno	$\leq 3,70$



## 2.8. Numerička i grafička obrada podataka

Sve statističke metode izrađene su uz pomoć računalnih programa Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation 2013), PRIMER 6.1.10 (Primer-E Ltd. 2007) i IBM SPSS Statistics 22.0 (2016), a grafički prikazi izrađeni su pomoću programa Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation 2013). Pri obradi slika korišteni su CorelDraw X7 (Corel Corporation 2014) i Adobe Photoshop CS6 v.13.0.1 (Adobe Systems Incorporated 2012).

### 3. REZULTATI

#### 3.1. Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika vode

Fizikalno – kemijski čimbenici analizirani su na izvorišnom području rijeke Krčić od lipnja 2012. godine do studenog 2015. godine (Tablica 6, Tablica 7, Slika 16).

Temperatura vode kretala se u rasponu od 8,9 °C do maksimalnih 10,8 °C. Srednja godišnja temperatura u istraživanom razdoblju bila je 9,3 °C.

Najniža izmjerena koncentracija otopljenog kisika bila je 9,2 mg L<sup>-1</sup>, a najveća 12,9 mg L<sup>-1</sup>. Srednja vrijednost otopljenog kisika iznosi 11,34 mg L<sup>-1</sup>. Vrijednosti zasićenja vode kisikom kretale su se u rasponu od minimalnih 90 %, do maksimalnih 115,9 %. Srednja vrijednost zasićenja vode kisikom iznosi 103,43 %.

Vrijednosti pH kretale su se u rasponu od 7,41 do 8,54. Srednja vrijednost pH iznosi 7,73.

Provodljivost vode ( $\sigma$ ) kretala se od minimalnih 338  $\mu\text{S cm}^{-1}$  do maksimalnih 419  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Srednja vrijednost provodljivosti izvora rijeke Krčić iznosi 372,4  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

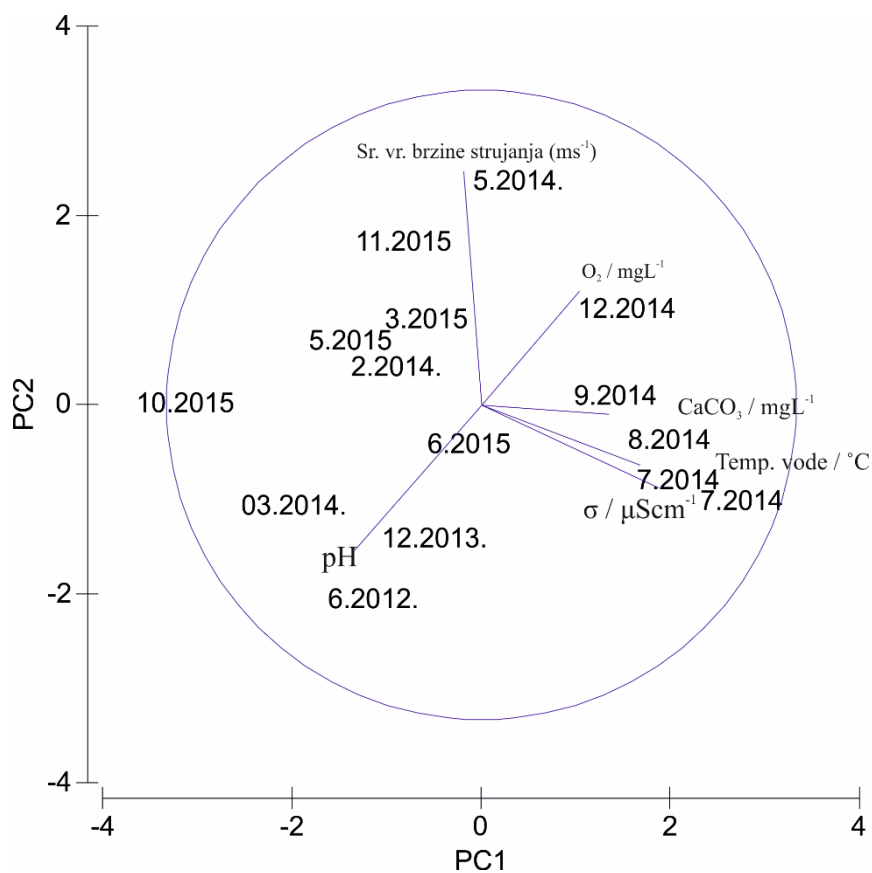
Najniža vrijednost alkaliteta iznosi 170 mg L<sup>-1</sup>, dok je najveća 212,5 mg L<sup>-1</sup>. Srednja vrijednost alkaliteta istraživanog područja je 190,5 mg L<sup>-1</sup>.

Vrijednosti kemijske potrošnje kisika kreću se u rasponu od 0,71 do 2,12 mg O<sub>2</sub>/L. Srednja vrijednost KPK iznosi 1,07 mg O<sub>2</sub>/L.

Minimalna vrijednost brzine strujanja vode iznosila je 0,16 ms<sup>-1</sup>, a maksimalna 1,37 ms<sup>-1</sup>. Srednja vrijednost brzine strujanja vode iznosila je 0,63 ms<sup>-1</sup>.

Tablica 6. Minimalne (min.), maksimalne (max.) i srednje vrijednosti (sr. vr.) fizikalno - kemijskih čimbenika na rijeci Krčić.

	min.	max.	sr. vr.
Temp. vode / °C	8,9	10,8	9,29
O <sub>2</sub> / mgL <sup>-1</sup>	9,2	12,9	11,34
O <sub>2</sub> / %	90	115,9	103,43
pH	7,41	8,54	7,73
σ / μScm <sup>-1</sup>	338	419	372,4
Utrosak HCl (ml)	3,4	4,25	3,81
CaCO <sub>3</sub> / mgL <sup>-1</sup>	170	212,5	190,5
KPK (mg O <sub>2</sub> /L)	0,71	2,12	1,07
Sr. vr. brzine strujanja (ms <sup>-1</sup> )	0,16	1,37	0,63



Slika 16. Ordinacijski dijagram PCA analize sedam vrijednosti fizikalno-kemijskih čimbenika na istraživanoj postaji.

Tablica 7. Svojevrsne vrijednosti prvih pet osi PCA analize.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temp. vode / °C	0,506	-0,190	0,351	0,304	-0,694
O <sub>2</sub> / mgL <sup>-1</sup>	0,312	0,361	-0,502	0,684	0,192
pH	-0,403	-0,462	-0,400	0,315	-0,307
σ / μScm <sup>-1</sup>	0,564	-0,264	0,157	-0,021	0,464
CaCO <sub>3</sub> / mgL <sup>-1</sup>	0,405	-0,029	-0,653	-0,576	-0,276
Sr. vr. brzine strujanja (ms <sup>-1</sup> )	-0,057	0,741	0,115	-0,088	-0,309

### 3.2. Struktura zajednice bentičkih algi kremenjašica

U rijeci Krčić ukupno je određeno 36 vrsta algi kremenjašica (Tablica 8). Rodovi koji su zastupljeni s najvećim brojem vrsta su: *Achnantheidium*, *Meridion*, *Navicula*, *Encyonema* i *Nitzschia*. Dominantne vrste su: *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Nitzschia fonticola* (Grunow) Grunow, *Meridion circulare* var. *circulare* (Grev.) C.Agardh, *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot te *Encyonema silesiacum* (Bleisch) D.G.Mann.

Najzastupljenije vrste u izvoru rijeke Krčić su *Achnantheidium minutissimum*, *Meridion circulare* var. *circulare* i *Encyonema silesiacum* s frekvencijom pojavljivanja od 100 %. Često su prisutne i vrste *Navicula cryptotenella*, *Gomphonema micropus*, *Nitzschia fonticola* te *Navicula dealpina* s frekvencijom preko 70 %. Prisutne su gotovo cijele godine, s iznimkom kasne zime (prijelaz veljače na ožujak) i rane jeseni (rujan). Pojavljuju se i vrste *Diploneis separanda*, *Planothidium dubium*, *Planothidium lanceolatum* i *Navicula cryptocephala* s frekvencijom pojavljivanja od preko 40 %. Prisutne su periodično s povremenim odsustvom na prijelazu zime i proljeća, kao i sredine ljeta, dok su sve četiri vrste potpuno odsutne u kolovozu 2014. godine.

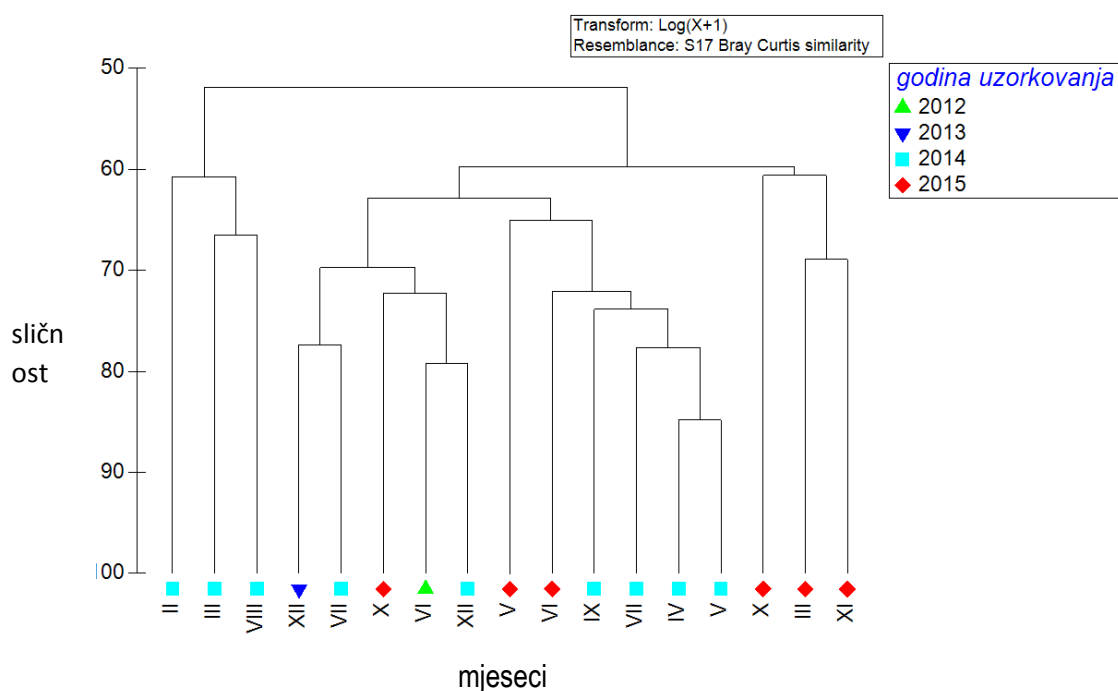
Tablica 8. Frekvencija pojavljivanja algi kremenjašica (*Bacillariophyceae*) određenih u rijeci Krčić

Vrsta	Frekvencija (%)
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	100
<i>Amphipleura pellucida</i> (Kützing) Kützing	5,9
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg	5,9

Vrsta	Frekvencija (%)
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	5,9
<i>Cocconeis pseudolineata</i> (Geitler) Lange-Bertalot	5,9
<i>Cymbella hustedtii</i> Krasske	29,4
<i>Cymbella laevis</i> Nägeli	5,9
<i>Diploneis separanda</i> Lange-Bertalot	64,7
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G.Mann	100
<i>Eucoconeis laevis</i> (Østrup) Lange-Bertalot	5,9
<i>Eunotia cisalpina</i> Lange-Bertalot & M.Cantonati	11,8
<i>Fragilaria parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> Grunow	5,9
<i>Fragilaria rumpens</i> (Kützing) G.W.F.Carlson	5,9
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	23,5
<i>Fragilaria</i> sp. 1 Lyngbye	11,8
<i>Fragilaria</i> sp. 2 Lyngbye	5,9
<i>Gomphonema angustum</i> C.Agardh	11,8
<i>Gomphonema micropus</i> Kützing	70,6
<i>Gomphonema pseudoboheicum</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt	17,6
<i>Luticola cohnii</i> (Hilse) D.G.Mann	5,9
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	35,3
<i>Meridion circulare</i> var. <i>circulare</i> (Grev.) C.Agardh	100
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	23,5
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	41,2
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	82,4
<i>Navicula dealpina</i> Lange-Bertalot	76,5
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot	5,9
<i>Navicula wildii</i> Lange-Bertalot	5,9
<i>Nitzschia constricta</i> (Gregory) Grunow	5,9
<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow	88,2
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	23,5
<i>Nitzschia tenuis</i> W.Smith	11,8
<i>Planothidium dubium</i> (Grunow) Round & Bukhtiyarova	64,7
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	41,2
<i>Surirella minuta</i> Brebisson	35,3

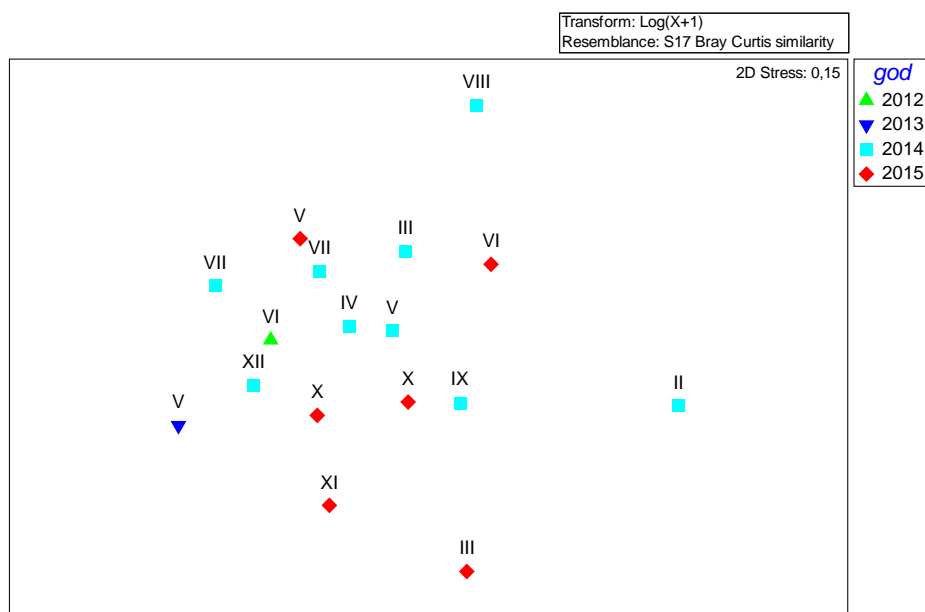
Grupiranje uzoraka prikazano je dendrogram klaster analizom i MDS dijagramom (Slika 17 i Slika 18). Hijerarhijsko grupno klasteriranje rađeno je na podacima postotne učestalosti vrsta u uzorcima, koji su transformirani  $\log(x + 1)$ , na Bray – Curtis modelu sličnosti. Za grupiranje uzoraka korištene su samo one vrijednosti taksona sa udjelom većim

od 5 %. Dendrogram klaster analize pokazuje grupiranje uzoraka na dva klastera nejednake veličine na razini sličnosti od 55 %. Prvi klaster čine uzorci veljače, ožujka i travnja 2014. godine. Ovi uzorci se od ostalih izdvajaju mnogo većom dominacijom vrsta *Achnantheidium minutissimum*, većom prisutnošću vrste *Gomphonema micropus* i u dva uzorka slabijom abundancijom vrste *Meridion circulare*. Drugi klaster čine dva subklastera na razini sličnosti od 60 %. Tu se diferenciraju uzorci ožujka, listopada i studenog 2015. godine od uzoraka uzetih u drugim periodima i godinama uzorkovanja. Uzorci iz navedenih mjeseci imaju manju abundancu vrste *Achnantheidium minutissimum* i dominaciju s preko 60 % udjela vrste *Meridion circulare* var. *circulare*. U subklasteru kojeg čine uzorci travnja, svibnja, srpnja i rujna 2014. godine, vrsta *A. minutissimum* dostiže abundancu do 57 %, *Meridion circulare* var. *circulare* do 49 %, *Nitzschia fonticola* do 47 % i *Navicula cryptotenella* do 8,5 %. U subklasteru kojeg čine mješoviti uzorci iz različitih godina uzorkovanja, prosinac i srpanj 2014. godine, lipanj 2012. godine, listopad 2015. godine, prosinac 2013. godine, vrsta *A. minutissimum* dostiže brojnost do 22 %, *Encyonema silesiacum* do 12 %, *Navicula cryptotenella* do 12 %, dok je *Meridion circulare* var. *circulare* zastupljen sa heterogenom brojnošću od dominantne do subdominantne abundance.



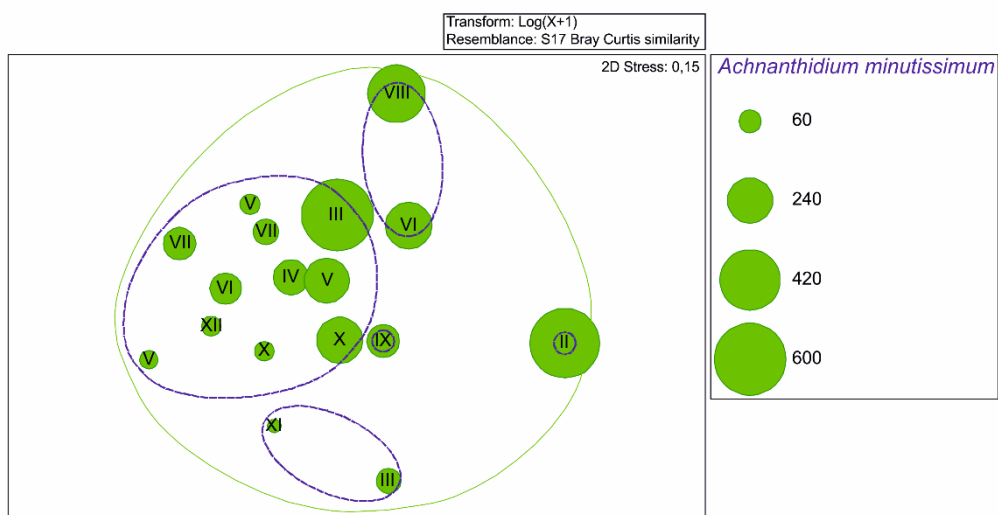
Slika 17. Klaster analiza s obzirom na udio vrsta algi kremenjašica u uzorcima

Ordinacijskom metodom multidimenzionalnog skaliranja podataka, dobiven je 2D dijagram (Slika 18). Analiza je provedena na osnovi udjela vrsta i Bray-Curtis indeksa sličnosti. Uzorci nisu odvojeni po godinama uzorkovanja, ali je izraženo odvajanje uzoraka po sezoni uzorkovanja. Na gornjoj strani dijagrama razdvajaju se uzorci uzorkovani u proljeće i ljeto, dok su na donjoj strani dijagrama raspoređeni uzorci uzorkovani u zimi i jeseni. Dominantne vrste *Achnanthydium minutissimum* i *Meridion circulare* var. *circulare* najzastupljenije su u proljetnim mjesecima, dok im u ljeto brojnost pada. U jesenskim i zimskim mjesecima brojnost vrsta lagano pada. U proljeće, *Achnanthydium minutissimum* dostiže do 57 % učestalosti u uzorcima, u svim uzorcima prisutne su *Diploneis separanda*, *Encyonema silesiacum*, a u velikom broju uzoraka dolaze *Gomphonema micropus*, *Navicula dealpina*, *Navicula cryptotenella* te *Nitzschia fonticola*. U ljetnim mjesecima i dalje dominira *A. minutissimum*, ali sa manjom zastupljenošću u odnosu na ostale sezone. Također se javlja *Meridion circulare* var. *circulare* i *G. micropus*, dok je vrsta *D. separanda* odsutna. Značajna je subdominantna vrsta *Nitzschia fonticola* koja bez obzira na niski ljetni vodostaj preživljava ekstremne uvjete i dominira u ljetnim mjesecima. Vrsta ima relativno visoku brojnost i u proljeće, no dolaskom dominantnih vrsta, njena zastupljenost se smanjuje. U jesen i zimu, brojnost vrste naglo opada. U jesenskim mjesecima *M. circulare* ponovo ostvaruje dominaciju. Također se javljaju *Navicula cryptotenella*, *N. dealpina*, *Planothidium lanceolatum*, *Encyonema silesiacum*. U zimskim mjesecima, značajniju zastupljenost u odnosu na ostale vrste ima *N. dealpina*.



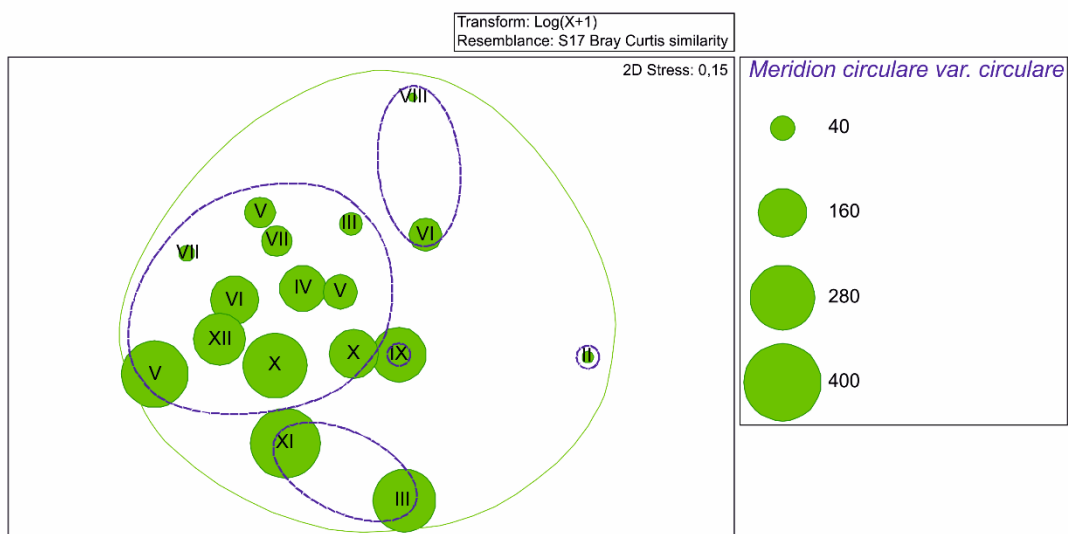
Slika 18. MDS dijagram uzoraka algi kremenjašica

Najzastupljenija vrsta u izvoru Krčić je *Achnantheidium minutissimum* s relativnom učestalošću od oko 37 %. U veljači 2014. godine vrsta dominira s preko 95 %, dok u ožujku i kolovozu iste godine s 60 – 80 % (Slika 19).



Slika 19. Sezonska zastupljenost vrste *Achnantheidium minutissimum*.

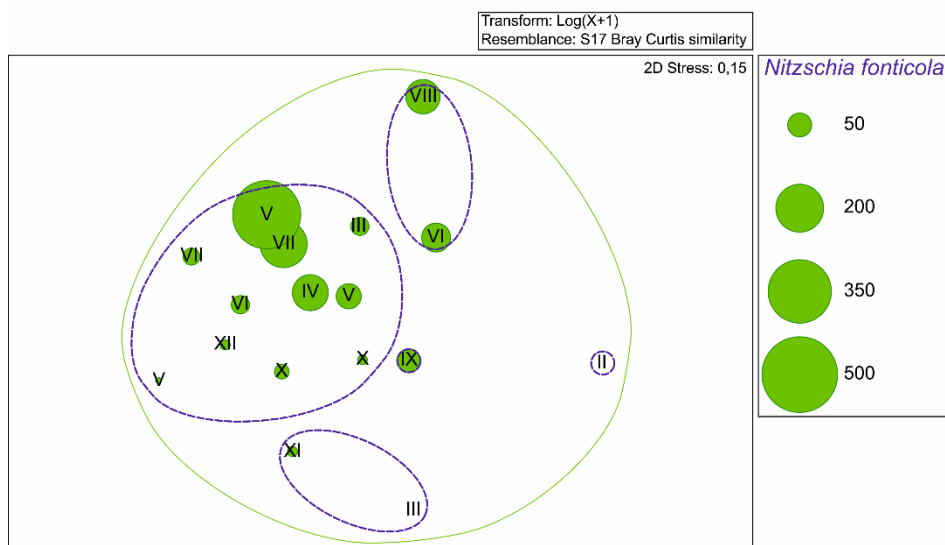
Slijedeća vrsta po brojnosti je *Meridion circulare* var. *circulare* s relativnom učestalošću od 28% (Slika 20). Dominira u studenom 2015. godine s relativnom učestalošću preko 80 % te u ožujku i listopadu iste godine s zastupljenošću preko 60 %.



Slika 20. Sezonska zastupljenost vrste *Meridion circulare* var. *circulare*.



Izrazito zastupljena vrsta u izvoru Krčić je *Nitzschia fonticola* s relativnom učestalošću od 13 % (Slika 21). Dominira u svibnju 2015. godine s preko 68 %, a brojna je i u svibnju 2014. godine sa zastupljenošću preko 47 %.



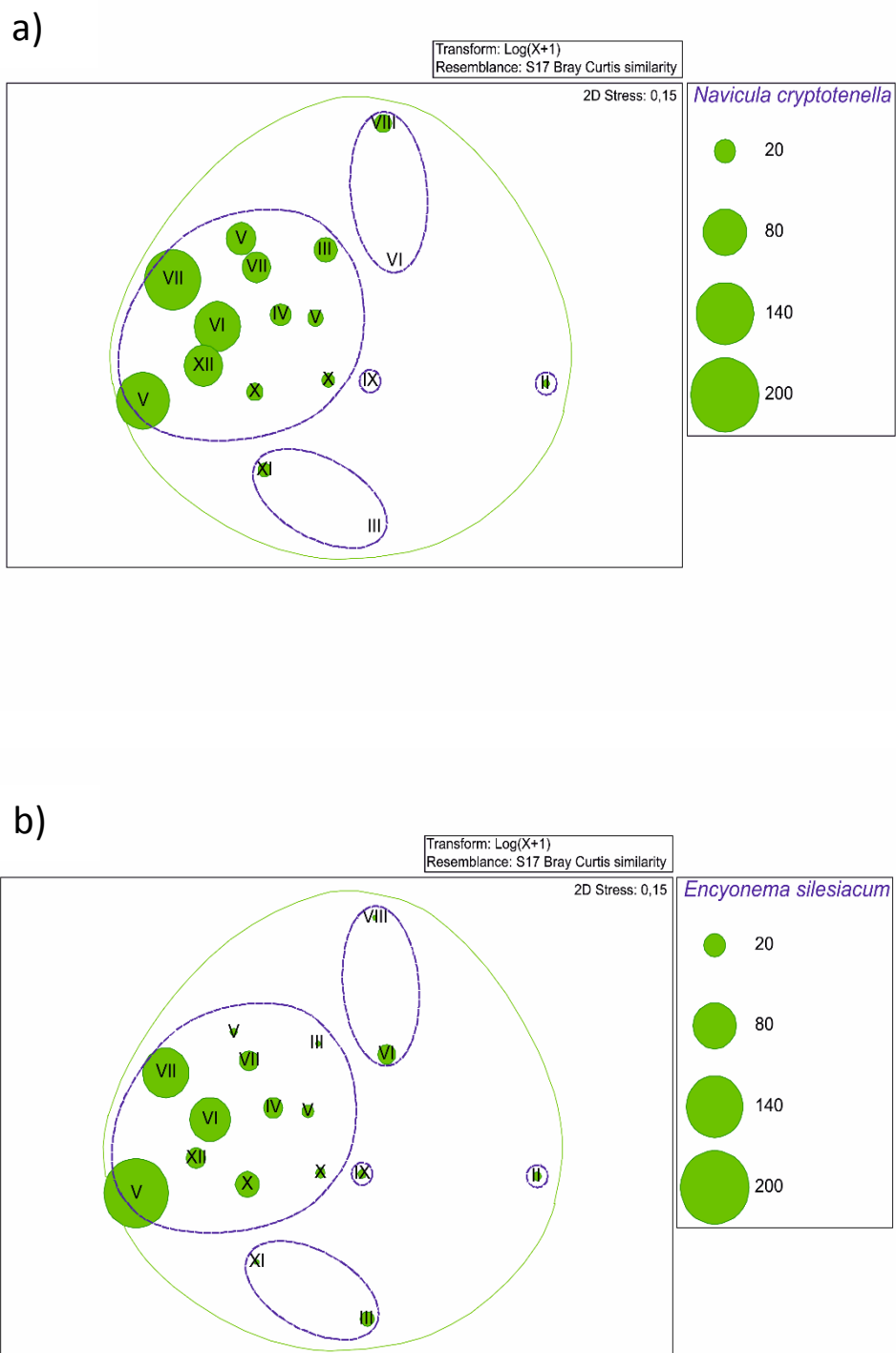
Slika 21. Sezonska zastupljenost vrste *Nitzschia fonticola*.

Vrste koje još dominiraju u izvoru Krčić su *Encyonema silesiacum* te *Navicula cryptotenella* (Slika 22 a. i b.). Brojne su u prosincu 2013. godine s relativnom učestalošću preko 18 %, kao i u svibnju 2014. godine s učestalošću preko 23 %.

Srednji mjesečni broj vrsta u izvoru Krčić bio je 11. Broj vrsta kretao se od 6 do 16 (Tablica 9). Najniža brojnost zabilježena je u veljači 2014. godine, a najviša u listopadu 2015. godine. Najviša vrijednost Margalef-ovog indeksa bogatstva vrsta iznosila je 2,41 u listopadu 2015. godine, a najmanja u veljači 2014. godine gdje je iznosila 0,78. Srednja vrijednost Margalef-ovog indeksa bila je 1,71, a Pielou-ovog indeksa ujednačenosti 0,52. Shannon-Wiener-ov indeks raznolikosti, koji je osjetljiv na prisustvo rijetkih vrsta u uzorku, iznosio je između 0,25 (veljača 2014. godine) i 1,88 (lipanj 2012. godine). Srednja vrijednost Simpson-ovog indeksa raznolikosti, na koji utječe broj dominantnih vrsta, bila je 1,27 (Tablica 9).

Pearsonov koeficijent korelacije korišten je u cilju provjere korelacije između dobivenih vrijednosti indeksa diverziteta. Pozitivna i značajna korelacija dokazana je između Margalef-ovog indeksa bogatstva vrsta ( $d$ ) i Shannon-Wiener-ovog indeksa raznolikosti

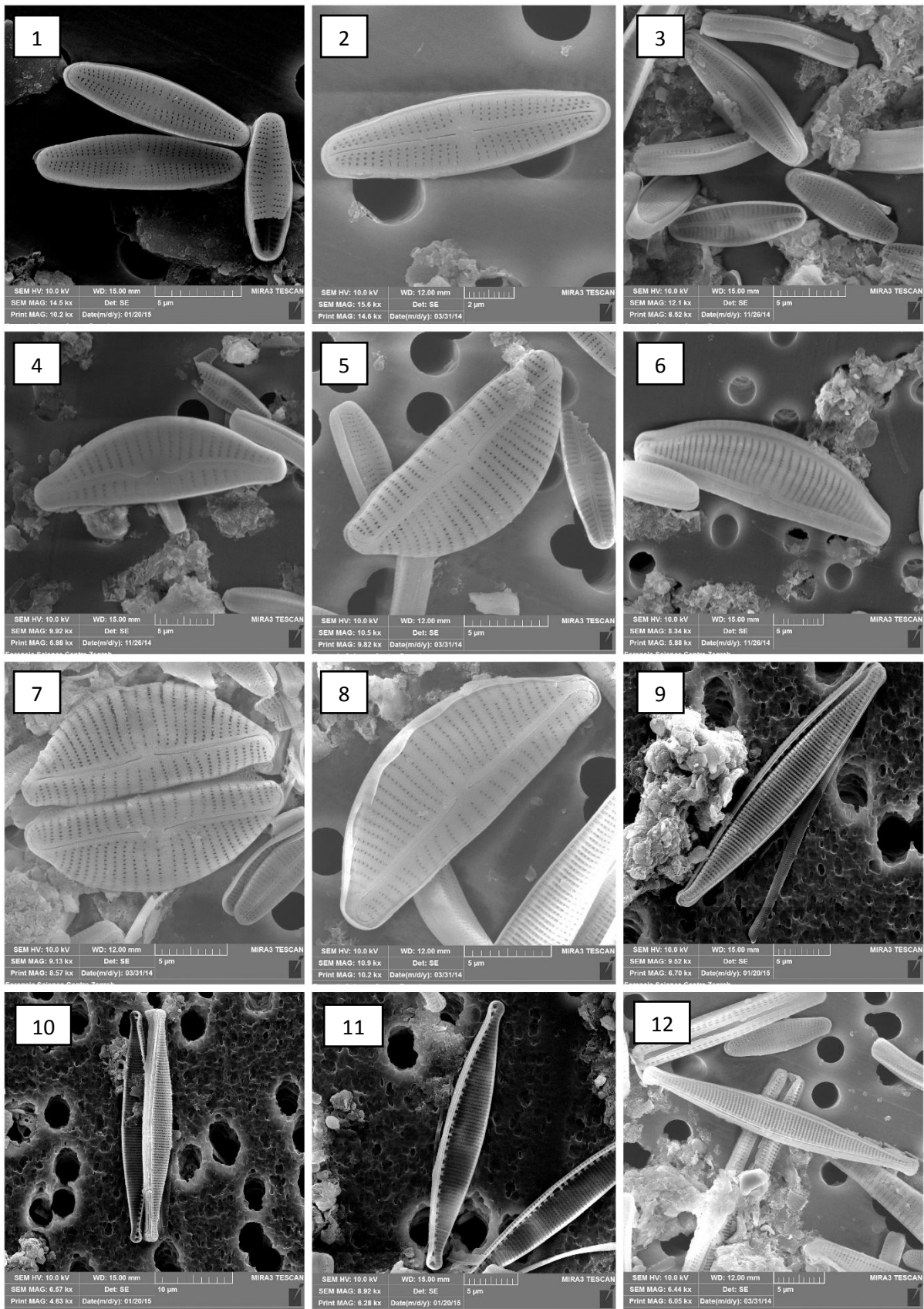
( $H'(\log)$ ), vrijednosti Simposnovog indeksa bogatstva vrsta i broja vrsta  $S$  ( $r = 0,562 - 996$ ;  $p = 0,01$ ). Također su pozitivnu korelaciju ostvarile vrijednosti indeksa ujednačenosti vrsta  $J'$  sa vrijednostima  $H'(\log)$  i  $1-\lambda$  ( $p = 0,01$ ).



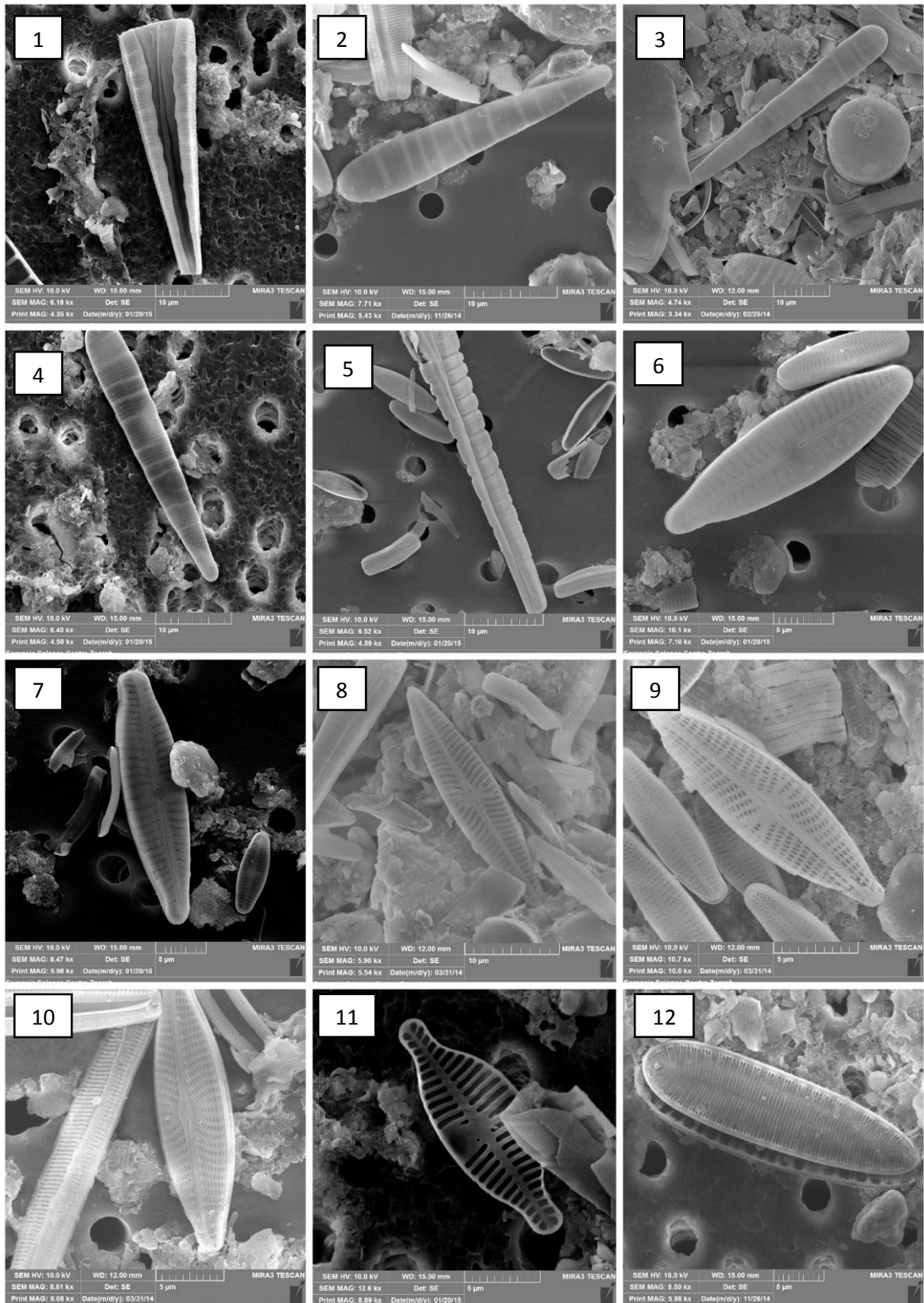
Slika 22. Sezonska učestalost vrsta *Navicula cryptotenella* (a.) i *Encyonema silesiacum* (b.).

Tablica 9. Minimum (min.), maksimum (max.) i srednja vrijednost (sr. vr.) broja vrsta ( $S$ ), broja stanica ( $N$ ), Margalef-ovog indeksa bogatstva vrsta ( $d$ ), Pielou-ovog indeksa ujednačenosti ( $J'$ ), Shannon-Wiener-ovog indeksa raznolikosti ( $H'(\log)$ ) i Simpson-ovog indeksa raznolikosti ( $1-\lambda$ ) izvora rijeke Krčić u istraživanom razdoblju.

	$S$	$N$	$d$	$J'$	$H'(\log)$	$1-\lambda$
<b>min.</b>	6	400	0,78	0,14	0,25	0,09
<b>max.</b>	16	707	2,41	0,76	1,88	0,82
<b>sr. vr.</b>	11,5	492,82	1,71	0,52	1,27	0,58

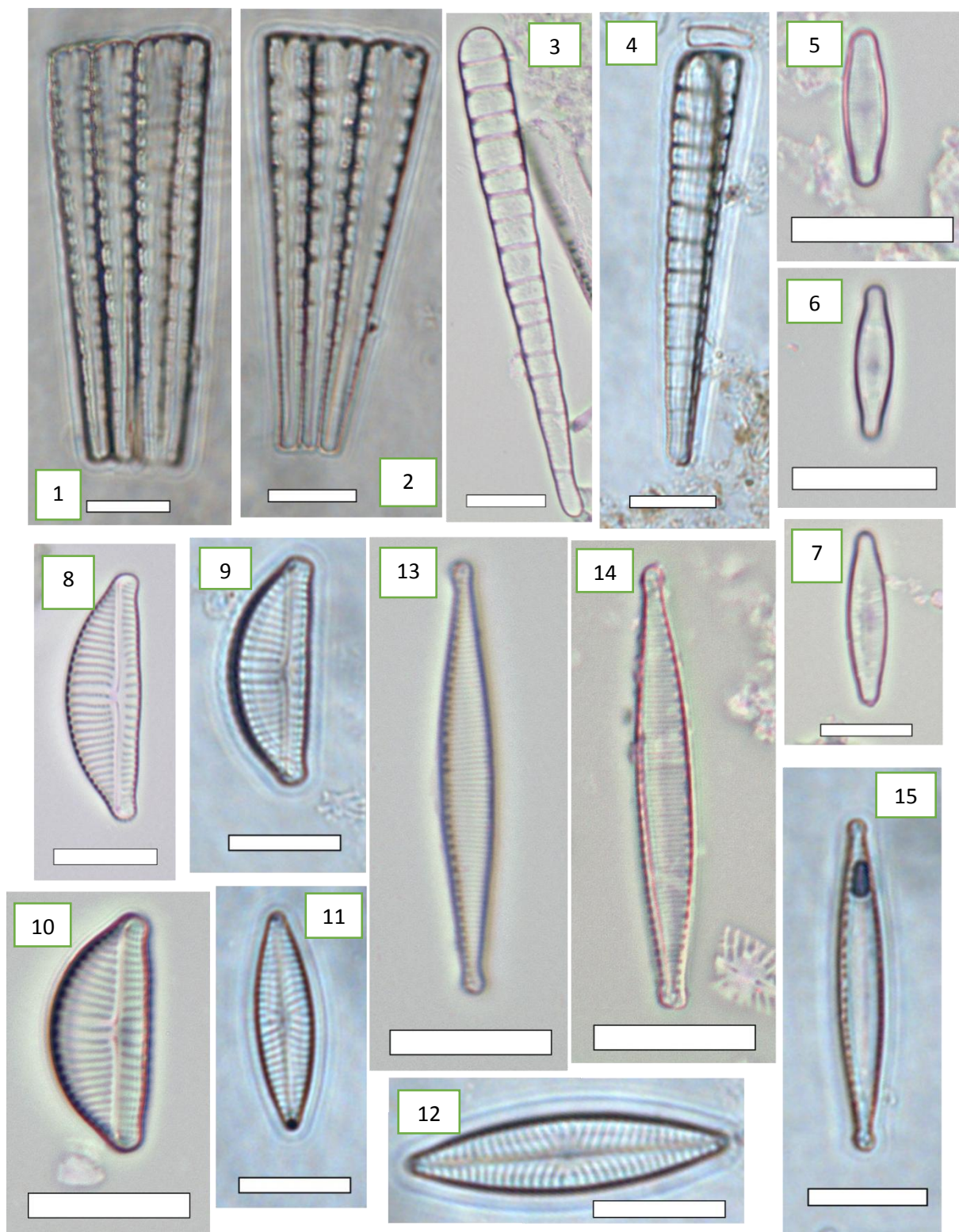


Slika 23. Dominantne i česte vrste izvora rijeke Krčić (SEM) 1. – 3. *Achnantheidium minutissimum*, 4. – 8. *Encyonema silesiacum*, 9. – 12. *Nitzschia fonticola*.



Slika 24. Dominane i česte vrste izvora rijeke Krčić (SEM) 1.– 5. *Meridion circulare* var. *circulare*, 6. – 7. *Gomphonema micropus*, 8. *Navicula cryptotenella*, 9. – 10. *Navicula cryptocephala*, 11. *Planothidium dubium*, 12. *Surirella minuta*.





Slika 25. Dominantne vrste algi kremenjašica u izvoru Krčić (LM, povećanje 1000 ×) 1 - 4 *Meridion circulare* var. *circulare*, 5 - 7 *Achnantheidium minutissimum*, 8 - 10 *Encyonema silesiacum*, 11 - 12 *Navicula cryptotenella*, 13 - 15 *Nitzschia fonticola*. Mjerna skala = 10 μm.

### 3.2.1. Analiza sastava algi kremenjašica u odnosu na ekološke čimbenike

Zahtjevi vrsta za ekološke čimbenike zasićenosti kisikom, pH reakcije vode, vlažnost staništa i trofiju ekosustava preuzete su od van Dam i sur. (1994).

U odnosu na pH vode (R), 72 % vrsta imalo je indikatorske vrijednosti. Analizom učestalosti vrsta utvrđeno je da su u uzorcima u najvećem broju prisutne alkalifilne vrste (81 %), za kojima slijede cirkumneutralne vrste (19 %) (Tablica 10).

Tablica 10. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta izvora rijeke Krčić prema pH vrijednostima (R).

R	organizmi indikatori pH	broj vrsta	%
1	acidobionti - pH < 5,5	0	0
2	acidofili - pH < 7	0	0
3	cirkumneutralni - pH ≈ 7	5	19
4	alkalifili - pH ≥ 7	21	81
5	alkalibionti - pH > 7	0	0
6	pH neosjetljivi	0	0

U odnosu na zasićenje kisikom (O<sub>2</sub>), 88 % vrsta imalo je indikatorske vrijednosti. Najveći broj vrsta (52 %) zahtijeva oko 50 % zasićenja O<sub>2</sub>, tj. umjereno oksidirana staništa. Broj oksidofilnih vrsta koje zahtijevaju visoko zasićenje O<sub>2</sub> (100 %) je 26 %, dok broj vrsta koje dolaze u prilično visoko oksidiranim staništima (75 – 100 %) iznosi 22 % (Tablica 11).

Tablica 11. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta izvora rijeke Krčić prema zasićenju kisikom (O<sub>2</sub>).

O <sub>2</sub>	zasićenje kisikom	broj vrsta	%
1	konstantno visoka, 100%	6	26
2	prilično visoka, preko 75%	5	22
3	umjerena, oko 50%	12	52
4	niska, oko 30%	0	0
5	vrlo niska, oko 10%	0	0

S obzirom na vlažnost staništa (M), ukupno 58 % vrsta imalo je indikatorske vrijednosti. Prema listi indikatorskih vrijednosti po van Dam i sur. (1994), 48 % vrsta uglavnom nastanjuje vodena staništa, a ponekad nastanjuju i vlažna mjesta. Udio vrsta koje nastanjuju vodene ekosustave, ali redovito dolaze i na vlažnim mjestima iznosi 38 %, dok je udio vrsta koje su isključivo vezane za vodena staništa 14 % (Tablica 12).

Tablica 12. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta prema vlažnosti (M).

M	opis staništa	broj vrsta	%
1	nikad, ili vrlo rijetko izvan vode	3	14
2	u vodi, ponekad na vlažnim mjestima	10	48
3	u vodi, ali regularno na vlažnim mjestima	8	38
4	na vlažnim mjestima	0	0
5	isključivo izvan vode	0	0

U odnosu na trofiju ekosustava (T), 72% vrsta pronađenih u uzorcima ima indikatorske vrijednosti. Najveći je broj vrsta eutrofnih staništa (42 %), dok su vrste oligo-mezotrofnih i oligo- do eutrofnih staništa zastupljene s 19 %. Vrste mezo-eutrofnih staništa prisutne su u 12 % uzoraka, a oligotrofna staništa naseljava 8 % vrsta (Tablica 13).

Tablica 13. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta prema trofiji (T).

T	opis staništa	broj vrsta	%
1	Oligotrofna	2	8
2	oligo-mezotrofna	5	19
3	Mezotrofna	0	0
4	mezo-eutrofna	3	12
5	Eutrofna	11	42
6	Hipereutrofna	0	0
7	oligo- do eutrofna	5	19

### 3.2.2. Trofički indeks dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) i saprobni indeks ( $SI_{HRIS}$ )

Trofički indeks algi kremenjašica izvora rijeke Krčić ukazuje na dobar ekološki status, odnosno mezotrofno do umjereno eutrofno stanje izvora tijekom istraživanog razdoblja.



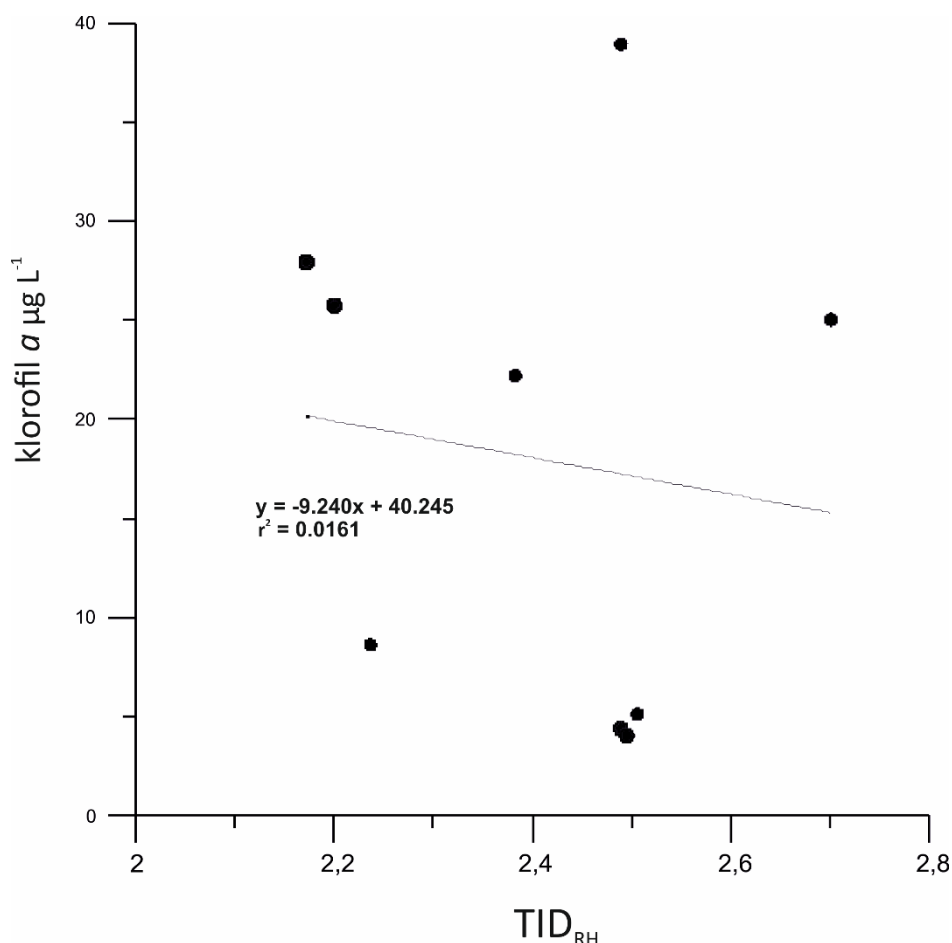
Iznimka su prosinac 2013. godine, rujan 2014. godine, kao i ožujak, listopad i studeni 2015. godine kada je status bio vrlo dobar, odnosno oligotrofno do umjereno mezotrofno stanje izvora (Tablica 14). Posebno se ističe svibanj 2015. godine s umjereno dobrim statusom, odnosno eutrofnim stanjem izvora. Vrijednosti trofičkog indeksa kreću se u rasponu od 2,16 do 2,88. Prema vrijednostima trofičkog indeksa prema Rott-u (1999), trofički status izvora rijeke Krčić je eutrofan, s izuzetkom ožujka, listopada i studenog 2015. godine kad je sustav mezo-eutrofan te srpnja 2014. godine i svibnja 2015. godine kada je eu-politrofan. Zbog specifičnosti hrvatskih vodotokova, procjena ekološkog stanja (ES) u ovom istraživanju temeljena je na prilagođenim graničnim vrijednostima  $TID_{RH}$  za hrvatske vodotoke.

Tablica 14. Vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) u istraživanom razdoblju na izvoru rijeke Krčić.

Datum	$TID_{RH}$	klase ES
01.06.2012.	2,42	DOBRO
05.12.2013.	2,24	VRLO DOBRO
20.02.2014.	2,49	DOBRO
19.03.2014.	2,51	DOBRO
23.04.2014.	2,49	DOBRO
21.05.2014.	2,50	DOBRO
01.07.2014.	2,70	DOBRO
19.07.2014.	2,50	DOBRO
08.08.2014.	2,55	DOBRO
17.09.2014.	2,38	VRLO DOBRO
29.12.2014.	2,41	DOBRO
07.03.2015.	2,17	VRLO DOBRO
05.05.2015.	2,88	UMJERENO DOBRO
02.06.2015.	2,52	DOBRO
20.10.2015.	2,20	VRLO DOBRO
21.10.2015.	2,36	VRLO DOBRO
26.11.2015.	2,16	VRLO DOBRO

Za procjenu ukupnog ekološkog stanja istraživanih izvora izračunata je prosječna vrijednost  $TID_{RH}$  za istraživano razdoblje. Prosječan trofički indeks za izvor rijeke Krčić iznosi 2,44 što ukazuje na mezotrofan do umjereno eutrofan trofički status. Sukladno tome, ekološko stanje izvora rijeke Krčić klasificirano je kao dobro.

Pouzdanost  $TID_{RH}$  dodatno je provjerena ispitivanjem odnosa s izmjerenom koncentracijom klorofila  $a$  ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) (Slika 26). Korelacijom vrijednosti trofičkog indeksa algi kremenjašica (Pearsonov koeficijent korelacije) i koncentracije klorofila, ustanovljena je statistički neznačajna niska korelacija negativnog predznaka ( $r = -0,127$ ,  $p > 0,05$ ).



Slika 26. Odnos koncentracije klorofila  $a$  i trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) izvora rijeke Krčić tijekom istraživnog razdoblja

Uz trofički indeks dijatomeja izračunat je i saprobni indeks ( $SI_{HRIS}$ ) (Tablica 15). Najniža vrijednost  $SI_{HRIS}$  (1,65) zabilježena je u studenom 2015. godine. Najviša  $SI_{HRIS}$  vrijednost iznosi 2,16, a zabilježena je u veljači 2014. godine. Prosječna vrijednost  $SI_{HRIS}$  indeksa izvora rijeke Krčić iznosi 1,91. Vrijednosti  $SI_{HRIS}$  ukazuju na o- $\beta$ -mezosaprobno do  $\beta$ -mezosaprobno stanje, s iznimkom ožujka i studenog 2015. gdje vrijednosti ukazuju na katarobno do oligosaprobno stanje.

Tablica 15. Vrijednosti saprobnog indeksa ( $SI_{HRIS}$ ) na izvoru rijeke Krčić tijekom istraživnog razdoblja.

	$SI_{HRIS}$
01.06.2012.	1,89
05.12.2013.	1,79
20.02.2014.	2,18
19.03.2014.	2,09
23.04.2014.	1,92
21.05.2014.	1,98
01.07.2014.	2,07
19.07.2014.	1,99
08.08.2014.	1,93
17.09.2014.	1,82
29.12.2014.	1,8
07.03.2015.	1,69
05.05.2015.	2,14
02.06.2015.	1,97
20.10.2015.	1,72
21.10.2015.	1,83
26.11.2015.	1,65

Ostvarena je pozitivna i značajna korelacija između vrijednosti saprobnog indeksa i trofičkog indeksa dijatomeja ( $r = 0,857$ ,  $p = 0,01$ ). Korelacijom vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja s vrijednostima indeksa diverziteta vrsta, dokazane su niske vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije, u pozitivnom ili negativnom predznaku, statistički neznačajne ( $p > 0,05$ ) (Tablica 16).

Tablica 16. Vrijednosti Pearsonov-og koeficijenta korelacije između vrijednosti  $TID_{RH}$  i vrijednosti saprobnog indeksa i indeksa raznolikosti.

	Saprobni indeks	N	D	J'	H'(log)	1- $\lambda$	S	
Pearsonov koeficijent korelacije	$TID_{RH}$	0,857	0,258	0,070	0,067	0,044	0,063	-0,051
$p$ - statistička značajnost		0,000	0,317	0,790	0,798	0,867	0,809	0,847

## 4. RASPRAVA

Izvori su specifična staništa koja se svojim fizikalno – kemijskim karakteristikama razlikuju od ostalih tipova površinskih voda (Thienemann, 1922; Hynes, 1976). Zbog svoje kemijske, hidrološke i morfološke raznolikosti predstavljaju staništa za specijalizirane organizme prilagođene na relativno stalne i slabo promjenjive okolišne uvjete (Mogna i sur., 2015). Gledano s kvalitativnog i kvantitativnog stajališta, alge kremenjašice su najvažnija komponentna mikroflore izvora. Zajednice algi kremenjašica u izvorištima razlikuju se prema geološkoj podlozi i dužini zadržavanja vode (Cantonati, 1998). Neke frekventne i brojne vrste (poput *Achnanthydium minutissimum* i *Meridion circulare* var. *circulare*) su često prisutne u izvorima i izvorišnim područjima prema velikom broju autora: Hustedt, (1945), Round, (1957), Dell'Uomo, (1975) te Rushforth i sur., (1986).

Temperatura vode izvora ovisi o godišnjim temperaturama zraka slivnog područja, a njezina je vrijednost aritmetička sredina svih izmjerenih temperatura (Lukač Reberski i sur., 2009). Koristi se kao prirodni indikator pomoću kojeg se određuju porijeklo i retencijsko vrijeme podzemne vode, kao i dinamika izvora (Kamberović, 2015). Temperatura vode kretala se u vrlo malom rasponu od 8,9 °C do maksimalnih 10,8 °C što ukazuje na temperaturnu stabilnost istraživanog staništa.

Izvorska voda krških sustava često je dobro oksidirana zbog niskih temperatura, poroznosti stijena vodonosnika i kontakta podzemne vode s atmosferom (Cantonati, 1998). Koncentracija kisika izvora rijeke Krčić je prilično visoka (9,2 – 12,9 mg L<sup>-1</sup>). Razlika minimalne i maksimalne koncentracije kisika iznosi tek 3,7 te se sezonske koncentracije neznatno razlikuju. Zasićenje kisikom odgovara vrijednostima temperature izvora i koncentracije kisika. Obzirom na izmjerene koncentracije kisika, niske vrijednosti KPK ukazuju na dobro stanje izvora.

Provodljivost izvorske vode direktno je povezana s topivošću vodonosnih stijena. Duž toka rijeke Krčić nalazi se antiklinala koja je građena iz gornjotrijaskih dolomita. Propusnost dolomita ovisi o njihovoj tektonskoj oštećenosti i razlomljenosti (Jukić, 2006). Dolomiti u jezgri antiklinale porastom dubine postaju sve manje propusni i vrše funkciju hidrološke barijere. Opisana antiklinalana građa ima velik utjecaj na provodljivost izvora rijeke Krčić (372,4 µS cm<sup>-1</sup>). Prema Cantonati i sur. (2012) opisana provodljivost je umjerena za vapnenačke izvore.

Istraživani izvor pokazuje blago alkalne pH vrijednosti (7,41 – 8,54). Mala razlika između minimalnih i maksimalnih vrijednosti ukazuje na visok puferski kapacitet. Prema listi indikatorskih vrijednosti (van Dam i sur., 1994), najveći broj vrsta u izvoru Krčić su alkalofilne i cirkumneutralne vrste, sukladno izmjerenim pH vrijednostima. Slične vrijednosti izmjerene su u Bosni i Hercegovini (Kamberović, 2015), gdje također dominiraju alkalofilni (51,4 %) i cirkumneutralni taksoni (33,9 %). Udio vrsta koje zahtijevaju umjerenu zasićenost kisikom je iznad 50 %, što ide u prilog srednjim izmjerenim vrijednostima zasićenja kisikom u istraživanim izvorima (iznad 50 %). Prema van Dam i sur. (1994) najveći broj vrsta preferira eutrofna staništa, što odgovara ocjenjenim trofičkim stanjem izvora Krčić. Dominantna vrsta u ovom istraživanju, *Achnanthydium minutissimum*, je alkalifilna i cirkumneutralna vrsta (Mogna i sur., 2015), dok subdominantna vrsta *Meridion circulare* var. *circulare* nastanjuje vode u rasponu pH od 6,4 do 9,0 što ju čini alkalifilnom vrstom (Lowe, 1974). Osim vrste *M. circulare* var. *circulare*, velik broj frekventnih vrsta je alkalifilan: *Gomphonema micropus*, *Navicula cryptotenella*, *Diploneis separanda* (van Dam i sur., 1994). Ekološki zahtjevi dominantnih vrsta u skladu su s izmjerenim vrijednostima na istraživanim izvorištima.

Visok stupanj mineralizacije vode te odgovarajuće visoke vrijednosti provodljivosti i alkaliniteta rezultat su dobre topljivosti stijena (Cantonati, 1998). Srednja vrijednost alkaliniteta na izvoru rijeke Krčić iznosi 190,5, što je veće od prosječne vrijednosti karakteristične za krške sustave ( $\sim 180 \text{ mg L}^{-1}$ ; Gligora, 2007). Izmjerene brzine strujanja su relativno nestabilne ( $0,16 - 1,37 \text{ ms}^{-1}$ ).

Sezonske promjene u sastavu vrsta dijatomejskih zajednica u karbonatnim izvorima nisu jako izražene, ali je raznolikost vrsta veća u kasno proljeće i rano ljeto (Cantonati, 1998). U izvoru Krčić primjećen je povećan broj vrsta i u kasnu jesen (listopad). Dominantne vrste na istraživanom izvoru, *Achnanthydium minutissimum* i *Meridion circulare* var. *circulare* široko su rasprostranjene vrste bentičkih zajednica. Raznolikost vrsta dijatomejskih zajednica povećava se smanjenjem učestalosti dominantne vrste. Vrsta *Achnanthydium minutissimum* najzastupljenija je u proljeće, dok u ljetnim mjesecima bilježi jako nisku brojnost zbog sezonskog presušivanja izvora Krčić. *Meridion circulare* var. *circulare* je vrsta najbrojnija u jesen, kada dominira u odnosu na ostale vrste. Primjećena je značajna razlika u abundanciji ove dvije vrste između 2014. i 2015. godine. Vrsta *A. minutissimum* apsolutno dominira svim mjesecima 2014. godine, dok je u 2015. godinu primjećeno odsustvo u ljetnim mjesecima. Razlog tomu je presušivanje izvora Krčić u ljeto 2015. godine te stvaranje ekstremnim uvjeta

suše koju vrsta nije mogla preživjeti. Dominaciju preuzima *M. circulare* var. *circulare* koja prema van Dam i sur., (1994) preferira područja izvan vode. Prema Kamberović, (2015), vrsta *A. minutissimum* uglavnom je dominirala u jesen, dok je *M. circulare* var. *circulare* najbrojnija u proljeće. Rezultati sa izvora Krčić se razlikuju, najvjerojatnije zbog velikih razlika u izdašnosti vode i brzine strujanja vode u odnosu na istraživane izvore u Bosni i Hercegovini. Karakteristična je subdominantna vrsta *Nitzschia fonticola* koja najveću abundancu pokazuje u ljetnim mjesecima, unatoč jako niskom vodostaju. Prema vlažnosti staništa (M), ova vrsta također preferira staništa koja se nalaze izvan vode. Brojnost joj opada u jesen i zimu, kada se vodostaj povećava i ne može konkurirati dominantnim vrstama. Prema Dedić i sur., (2015), rodovi *Meridion* i *Nitzschia* karakteristični su za slab protok vode, što dodatno potvrđuje njihovu dominaciju u ljetnim, sušnim mjesecima. Suha staništa preferira i *Encyonema silesiacum* pa je primjetan porast abundance u ljetnim mjesecima.

Prema Cantonati i sur. (2012), *Achnanthydium minutissimum* je krenofilna vrsta koja dolazi u umjereno zasjenjenim izvorima, pri pH od 7,9 i provodljivosti 241  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Subdominantna vrsta *Meridion circulare* var. *circulare* je također krenofilna vrsta koja se pojavljuje u umjereno zasjenjenim izvorima, pri pH od 7,7 i provodljivosti od 173  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Slijedeće frekventne vrste izvora Krčić su krenofilne *Navicula cryptotenella* i *Nitzschia fonticola* koje dolaze u jače zasjenjenim izvorima, pri pH 7,6 – 7,8 i provodljivosti 184 – 276  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

Najveći broj vrsta (16) prisutan je u listopadu 2015. godine. Dominantna vrsta ostaje *Achnanthydium minutissimum*, a prati ju subdominantna *Meridion circulare* var. *circulare*. Struktura zajednice algi kremenjašica krških izvora u južnim Alpama (Cantonati, 1998, Cantonati i sur., 2012) također je uniformirana s dominacijom vrsta *Achnanthydium minutissimum* i *Meridion circulare* var. *circulare*. Prema klasifikaciji tipova izvora, vrsta *A. minutissimum* tipična je za reokrene izvore karbonatnih supstrata (tip 1), dok je vrsta *M. circulare* var. *circulare* karakteristična za istu vrstu izvora, ali s nižim vrijednostima provodljivosti, odnosno tip 4 po klasifikaciji izvorišta baziranih na bentičkim algama (Cantonati i sur., 2012). Ostale frekventne vrste koje se pojavljuju na izvoru Krčić potvrđuju dominaciju reokrenog tipa izvora. Vrsta *Nitzschia fonticola* također se pojavljuje na reokrenom tipu izvora karbonatnih supstrata (tip 1), dok se vrste *Navicula cryptotenella* i *Encyonema silesiacum* preferiraju silikatnu podlogu (tip 3). Prema dobivenim rezultatima, izvor Krčić pripada reokrenom tipu vapnenačkih izvora (Cantonati i sur., 2012).

Prema nekim istraživanjima prosječna vrijednost Shannon – Wienerovog indeksa diverziteta za epiliton je 2 (Cantonati i Spitale, 2009). U ovom istraživanju vrijednosti Shannon-Wienerovog indeksa diverziteta variraju od niskih vrijednosti od 0,25 do 1,88, a prosječna vrijednost ovog indeksa je dosta niža (1,27) u odnosu na prethodna i slična istraživanja. Najveći diverzitet vrsta u prethodnim istraživanjima pronađen je u reohelokrenim izvorima (Cantonati i sur., 2006), Reokreni izvori imaju manji diverzitet vrsta, a razlog tomu mogu biti veliki protok vode, kao i oscilacija vodenog toka tijekom godine.

Trofički indeks dijatomeja u izvoru Krčić najčešće ukazuje na mezotrofno do umjereno eutrofno stanje izvora tijekom istraživanog razdoblja izuzev nekoliko pojedinačnih mjeseci. Srednja vrijednost trofičkog indeksa ukazuje na dobar (mezotrofan do umjereno eutrofan) ekološki status izvora. Sličnu raspodjelu preferenci vrsta dobili su Cantonati i Spitale (2009) istražujući epilitske i epifitske zajednice izvora i potoka u jugoistočnim Alpama. Vrste s visokim indeksom trofije i eutrofni indikatori izvora Krčić su *Achnanthydium minutissimum*, *Meridion circulare* var. *circulare*, *Encyonema silesiacum* i *Planorhynchium lanceolatum*. Velik broj navedenih vrsta koje su abundantne u izvorima također dolaze i u eutrofnim vodama.

Visoke vrijednosti Trofičkog indeksa dijatomeja nisu statistički značajno korelirale s koncentracijom klorofila. Razlog tomu je iznimno mala varijacija vrijednosti trofičkog indeksa (od 2,16 do 2,88), zbog dominacije vrsta u uzorcima koje imaju visoke trofičke vrijednosti (*A. minutissimum*). Sličan uzorak pojavljuje se kod Kamberović (2015), gdje su se vrijednosti trofičkog indeksa kretale od 0,7 do 3,27.

Korištenje algi kremenjašica pokazala se kao primjenjiva metoda ocijene ekološkog stanja izvorišnog područja rijeke Krčić. Dobiveni rezultati procjene ekološkog stanja izvora odgovaraju očekivanim rezultatima gdje je ekološko stanje izvora dobro. Ovim istraživanjima pokazano je da se granične vrijednosti biotičkih indeksa za procjenu ekološkog stanja izvora odgovaraju području Republike Hrvatske. Unatoč tomu, potrebno je obratiti pozornost na karakteristične zajednice algi kremenjašica s obzirom na regiju u kojoj se pojavljuju. Hrvatska bi mogla imati prilagođene indikatorske vrijednosti i težine za pojedine dijatomejske vrste te time poboljšati metodu ocijene ekološkog stanja izvorišnih područja ali nakon opsežnih istraživanja različitih tipova izvora.

## 5. ZAKLJUČAK

- Na izvoru rijeke Krčić u razdoblju od lipnja 2012. godine do studenog 2015. godine determinirano je 36 vrsta algi kremenjašica pri čemu su dominantne vrste bile: *Achnanthydium minutissimum*, *Meridion circulare* var. *circulare*, *Nitzschia fonticola*, *Navicula cryptotenella* te *Encyonema silesiacum*.
- Niske vrijednosti raznolikosti vrsta uvjetovane su protokom vode i promjenama vodenog toka tijekom godine.
- Sezonske promjene u strukturi zajednica istraživanog izvora su izražene zbog sezonskog presušivanja, a raznolikost vrsta je veća u proljeće i jesen kada je prema izmjenom protoku narušavanje zajednice srednjeg intenziteta.
- Fizikalno-kemijski čimbenici koji najbolje opisuju stanište su: pH, alkalinitet, provodljivost i brzina strujanja vode.
- Ekološki zahtjevi najvećeg broja algi kremenjašica izvora rijeke Krčić u skladu su s izmjerenim vrijednostima pH, alkaliniteta, provodljivosti i brzina strujanja vode tijekom istraživanja. Najveći broj vrsta karakteristične su za reokrene izvore karbonatne podloge, a prema indikatorskim vrijednostima su alkalifilne i cirkumneutralne vrste, vrste koje zahtijevaju umjereno zasićenje kisikom, nastanjuju vodene ekosustave, ali dolaze i na vlažnim staništima te vrste koje preferiraju eutrofna staništa.
- Na temelju trofičkog indeksa dijatomeja ( $TID_{RH}$ ) i saprobnog indeksa ( $SI_{HRIS}$ ) ekološko stanje izvora Krčić je dobro. Korištenje algi kremenjašica kao biološkog pokazatelja pokazalo se kao primjenjiva metoda ocijene ekološkog stanja izvorišnog područja rijeke Krčić. Dobiveni rezultati procjene ekološkog stanja izvora odgovaraju očekivanim te je pokazano da granične vrijednosti biotičkih indeksa za procjenu ekološkog stanja tekućica odgovaraju izvorišnom području rijeke Krčić.



## 6. LITERATURA

- Angelini, P. (1997): Correlation and spectral analyses of two hydrogeological systems in Central Italy, *Hydrol. Sci. J.* 42(3), 425-438.
- Azim, M.E., Beveridge, M.C.M., van Dam, A.A., Verdegem, M.C.J. (2005): *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. CABI Publishing.
- Azim, M.E. (2009): Photosynthetic periphyton and surfaces. In: Likens, G.E. (Ed.), *Encyclopedia of Inland Waters*, Vol. 1, pp. 184-191, Oxford:Elsevier.
- Biggs, B.J.F., Stevenson, R.J., Lowe, R.L. (1998): A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Arch. Hydrobiol.* 143:21-56.
- Biggs, B.J.F., Smith, R.A. (2002): Taxonomic richness of stream benthic algae: effect of flood disturbance and nutrients. *Limnology and Oceanography* 47:1175-1186.
- Cantonati, M. (1998): Diatom communities of spring in the southern Alps. *Diatom Research* (1998) Volume 13 (2), 201-220.
- Cantonati, M., Gerecke, R. i Bertuzzi, E. (2006): Springs of the Alps - sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia*, 562:59 - 96
- Cantonati, M., Spitale, D. (2009): The role of environmental variables in structuring epiphytic and epilithic diatom assemblages in springs and streams of the Dolomiti Bellunesi National Park (south-eastern Alps). *Fundamental and Applied Limnology – Archiv für Hydrobiologie*, 174:117–133.
- Cantonati, M., Angeli, N., Bertuzzi E., Spitale, D. (2012): Diatoms in springs of the Alps: spring types, environmental determinants, and substratum. *Freshwater Science* 31(2):499-524.
- Čerba, D., Bogut, I., Vidaković, J., Palijan, G. (2009): Invertebrates in *Myriophyllum spicatum* L. stands in Lake Sakadaš, Croatia. *Ekologia (Bratisl.)* 28: 203 – 214.
- Dedić, A., Plenković-Moraj, A., Kralj Borojević, K., Hafner, D. (2015): The first report on periphytic diatoms on artificial and natural substrate in the karstic spring Bunica, Bosnia and Herzegovina. *Acta Botanica Croatica* 74 (2), 393–406.

- Dell'Uomo, A. (1975): La flora e le associazioni algali della Sorgente di Salomone (Anterselva, Bolzano). *Facies estiva*. *Giornale Botanico Italiano*, 109, 257-211.
- Drum R.W., Hopkins J.T. (1996): Diatom locomotion, an explanation. *Protoplasma* 62, 1-33.
- Gaiser, E. (2008): Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades. *Ekological indicators* 9:31-45.
- Gligora, M. (2007): Sukcesije funkcionalnih grupa fitoplanktona u polimiktičnim krškim jezerima. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Goldsborough, L.G., McDougal, R.L., North, A.K. (2005): Periphyton in freshwater lakes and wetlands. CABI Publishing, 352 pp.
- Gottstein Matočec, S., Bakran-Petricioli, T., Bedek, J., Bukovec, D., Buzjak, S., Franičević, M., Jaližić, B., Kerovec, M., Kletečki, E., Kralj, J., Kružić, P., Kučinić, M., Kuhla, M., Matočec, N., Ozimec, R., Rađa, T., Štamol, V., Ternjej, I., Tvrtković, N. (2002): An overview of the cave and interstitial bota of Croatia. *Natura Croatica* 11/1, 1-112.
- Harper M.A. (1977): Movements. In: Werner D. (Ed.) *The biology of Diatoms*. 498 pp., pp. 224-249. Blackwell, Oxford. 16.2.1.
- Harper M.A., Harper J.F. (1967): Measurements of diatom adhesion and their relationship with movement. *Br. Phycol. Bull.* 3, 195-207.
- Hidrogeološka studija područja Trogir-Šibenik-Drniš-Knin. Geološki zavod, OOUR za inženjersku geologiju, petrologiju i mineralne sirovine – Zagreb, 1984.
- Hoagland, K.D., Roemer, S.C., Rosowski, J.R. (1982): Colonization and community structure of two periphyton assemblages with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *American Journal of Botany* 69:188-213.
- Hodoki, Y. (2005): Effects of solat ultraviolet radiation on the periphyton community in lotic systems: comparison of attached algae and bacteria during development. *Hydrobiologia* 534:193-204.
- Hustedt, F. (1945): Diatomeen aus Seen u. Quellgebieten der Balkan Halbinsel. *Archiv fur Hydrobiologie*, 40(4), 867-973.

- Hynes, H. B. N. (1976): *The ecology of running waters*. 3rd Ed. Liverpool University Press. 555 pp.
- John, J. (2012): *A beginner's guide for diatoms*. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel, Liechtenstein.
- Jukić, D. (2006): Kontinuirane wavelet - transformacije i njihova primjena na sliv Krčića i izvora Krke. *Hrvatske vode, Vodoprivreda*, vol. 38, br. 1-3, str. 23-39.
- Kamberović, J. (2015): *Struktura i sezonska dinamika krenonskih zajednica algi i vodenog bilja na području planine Konjuh*, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Tuzli, Tuzla.
- Kelly, M.G., Juggins, S., Bennion, H., Burgess, A., Yallop, M., Hirst, H., King, L., Jamieson, B.J., Guthrie, R., Rippey, B. (2008): *Use of diatoms for evaluating ecological status in UK freshwaters*. Environment Agency, United Kingdom.
- Kern J., Darwich A. (2003): The role of periphytic N sub(2) fixation for stands of macrophytes in the whitewater floodplain. *Amazoniana*. Vol. 17:3-4, pp. 361-375.
- Kramer, K., Lange-Bertalot, H. (1991a, 1991b): *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae*. Gustav Fischer Verlag Stuttgart.
- Lange-Bertalot, H. (2013): *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. Koeltz Scientific Books.
- Lowe, R. L. (1974): *Environmental Requirements and Pollution Tolerance of Freshwater Diatoms*. National Environmental Research Center, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Lukač Reberski, J., Kapelj, S., Terzić, J. (2009): An estimation of groundwater type and origin of the complex karst catchment using hydrological and hydrogeochemical parameters: A case study of the Gacka river springs. *Geologia Croatica* 62/3, 157-178.
- Maltais, M.J., Vincent, W.F. (1997): Periphyton community structure and dynamics in subarctic lake. *Canadian Journal of Botany* 75:1556-1569.
- Medlin, L. K. (2016): *Evolution of the diatoms: major steps in their evolution and a review of the supporting molecular and morphological evidence*. Marine Biological Association of the UK, The Citadel, Plymouth PL1 2PB, UK.

- Mogna, M., Cantonati, M., Andreucci, F., Angeli, N., Berta, G., Miserere, L. (2015): Diatom communities and vegetation of springs in the south-western Alps. *Acta Botanica Croatica* 74 (2), 265-285.
- Pasarić, A. (2007): Sukcesivni razvoj pričvršćenih dijatomeja u estuariju Omble. Diplomski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Plenković-Moraj, A., Gligora Udovič, M., Kralj Borojević, K., Žutinić, P. (2009): Fitobentos u: EK-KO projekt Habdija, I., Kerovec, M., Mrakovčić, M., Plenković-Moraj, A., Primc Habdija, B. (2009 a, b i c): Ekološko istraživanje površinskih voda u Hrvatskoj prema kriterijima Okvirne direktive o vodama. PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Rabosky, D. L., Sorhannus U. (2009): Diversity dynamics of marine phytoplankton diatoms across the Cenozoic. *Nature* 457: 183-186.
- Roglić, J. (1974): Reljef (središnje Hrvatske), Geografija Hrvatske (knjiga 1). Školska knjiga, Zagreb.
- Rott, E., Pfister, P., van Dam, H., Pipp, E., Pall, K., Binder, N. i Ortler, K. (1999): Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Fließgewässern Österreichs, Teil 2: Trophieindikation und autökologische Anmerkungen. Wasserwirtschaftskataster. – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien.
- Round, F. E. (1957): A note on some diatom communities in calcareous springs and streams. *Journal of the Linnean Society of London. Botany*, 55, 662-668.
- Round, F.E., Crawford R.M., Mann D.G. (1990): *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rushfort, S. R., Squires, L. E., Cushing, C. E. (1986): Algal communities of springs and streams in the Mt. St. Helens Region, Washington, U.S.A. following the May 1980 eruption. *Journal of Phycology*, 22, 129-137.
- Shannon, C. E. (1948): A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27, 37-42.
- Smetacek, V. (1999): Diatoms and the ocean carbon cycle. *Protist* 150: 25–32.
- Steinman, A.D. (1996): Effect of grazing on freshwater benthic alga. In: *Algae Ecology*,

- Freshwater Benthic Ecosystems (Edser J. Stevenson M.L., Bothwell i Lowe R.L.), Academic Press, Inc. 341-373.
- Szlauer-Lukaszewska, A. (2007): Succession of periphyton developing on artificial substrate immersed in polysaprobic wastewaterreservoir. Polish J. of Environ. Stud. Vol.16:753-762.
- Thienemann, A. (1922): Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen. Archiv für Hydrobiologie, 14, communities. Acta Hydrobiologica, 22(4), 361-420. 1-353. J. Cramer. Berlin, Stuttgart. Stuttgart. 151-190.
- van Dam, H., Mertens, A. i Sinkeldam, J. (1994): A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 28(1): 117–133.
- Velić, I. (2007): Stratigraphy and Palaeobiogeography of Mesozoic Benthic Foraminifera of the Karst Dinarides – SE Europe. Geologica Croatica 60/1, 1–114.
- Verb, R.H., Vis, M.L. (2002): Comparison of benthic diatom assemblages from streams draining abandoned and reclaimed coal mines and nonimpacted sites. Journal of North American Benthological Society 19: 274-288.
- Vodoprivredna osnova slivova Krke i Zrmanje. Elektroprojekt – Zagreb (1976)
- Vymazal, J., Richardson, C.J. (1995): Species composition, biomass and nutrient content of periphyton in the Florida Everglades. Journal of Phycology 31:343-354.
- Zelinka, M., Marvan, P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Archiv für Hydrobiologie 57:389-40.

## **Mrežni izvori**

URL 1. Diatoms of the United States, What are diatoms?

[https://westerndiatoms.colorado.edu/about/what\\_are\\_diatoms](https://westerndiatoms.colorado.edu/about/what_are_diatoms), 13.2.2016.

URL 2. Algaebase, <http://www.algaebase.org/>, 13.2.2016.

URL 3. European Diatom Database, <http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>, 13.2.2016.

URL 4. Rijeke Jadranskog slijeva

<http://www.dinarskogorje.com/rijeke-jadranskoga-sliva-slijeva.html#b2>, 26.3.2016.

URL 5. Hrvatske vode, Metodologija, <http://www.voda.hr/hr/metodologije>, 26.3.2016.

## 7. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 7. veljače 1992. godine u Puli. Osnovnoškolsko obrazovanje završila sam u O.Š. „Jagoda Truhelka“ u Osijeku. Nakon završene Tehničke škole i prirodoslovne gimnazije u Osijeku, upisala sam preddiplomski studij biologije na Odjelu za biologiju u Osijeku. Sveučilišni prvostupnik postala sam 2014. godine. Tijekom diplomskog studija bila sam članica studentske udruge „BIUS“ te voditeljica Sekcije za Alge, a 2015. godine sudjelovala sam kao volonter na manifestaciji Noć biologije.