

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Mirela Šušnjara

**DIJATOMEJE KAO BIOLOŠKI POKAZATELJI EKOLOŠKOG
STANJA IZVORA RIJEKE GACKE**

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

Ovaj rad, izrađen na Botaničkom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Marije Gligore Udovič i neposrednim vodstvom dr. sc. Petra Žutinića, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

Veliko hvala mentorici doc. dr. sc. Mariji Gligori Udovič na nesebičnoj pomoći pri izradi ovog rada, svim korisnim savjetima, uloženom trudu i dragocijenom vremenu.

Hvala dr. sc. Petru Žutiniću na korisnim savjetima i iskrenim i otvorenim kritikama koje su pridonijele kvaliteti moga rada.

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

Zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Sanji Gottstein, voditelju projekta MULTISEK, u sklopu kojeg su mi ustupljeni uzorci za izradu diplomskog rada.

Veliko hvala mojoj Gogi na bezuvjetnoj pomoći i prijateljstvu te cijeloj obitelji Gorički na potpori tijekom svih godina studiranja. Postali ste moja nova obitelj.

Ipak, najveće hvala mojoj obitelji. Majko, hvala na svim majčinskim savjetima, strpljenju i pomoći tijekom svih ovih godina. Braćo, hvala na ljubavi i podršci. Tati, jer mi je sjećanje na njega uvijek novi poticaj.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

**DIJATOMEJE KAO BIOLOŠKI POKAZATELJI EKOLOŠKOG STANJA IZVORA
RIJEKE GACKE**

Mirela Šušnjara

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SAŽETAK

Prema Okvirnoj Direktivi o vodama (ODV) bentičke dijatomeje predstavljaju jedan od pet bioloških elemenata kakvoće vode koji se koriste za procjenu ekološkog stanja rijeka i izvora. Fitobentos dvaju izvora rijeke Gacke, Tonkovića vrila i Majerovog vrila, uzorkovan je od ožujka do rujna 2014. godine. U 12 uzoraka određeno je ukupno 52 vrste dijatomeja. Dominantne vrste u oba izvora bile su *Achnanthydium minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Meridion circulare* i *Staurosirella pinnata*. Subdominantne vrste zabilježene tijekom lipnja i rujna su *Cymbella lange-bertalotii* i *Encyonema ventricosum*. Fizikalno-kemijski čimbenici koji utječu na sastav dijatomejske zajednice su pH, alkalinitet, provodljivost i brzina strujanja vode. Prema indikatorskim vrijednostima najveći broj dijatomejskih vrsta opisan je kao alkalifilne i cirkumneutralne, oksifilne vrste tipične za eutrofna i oligo-eutrofna staništa. Ekološko stanje izvora procijenjeno je na temelju trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{RH}) i saprobnog indeksa (SI_{HRIS}). Ekološko stanje Majerovog vrila ocijenjeno je kao dobro, dok je ekološko stanje Tonkovića vrila vrlo dobro.

(46 stranica, 17 slika, 23 tablica, 45 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: bentičke dijatomeje, krški izvori, ekološko stanje, trofički indeks dijatomeja

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

Neposredni voditelj: Dr. sc. Petar Žutinić

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

Dr. sc. Dražen Balen, red. prof.

Dr. sc. Zlatko Mihaljević, izv. prof.

Dr. sc. Neven Bočić, doc.

Rad prihvaćen: 18.02.2016.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Division of Biology

Graduation Thesis

ESTIMATING ECOLOGICAL STATUS USING DIATOMS IN TWO SPRINGS OF GACKA RIVER

Mirela Šušnjara

Division of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb

ABSTRACT

According to the Water Framework Directive (WFD) benthic diatoms constitute one of five biological quality elements used for ecological assessments of rivers and springs. Diatom communities in the two karstic springs of Gacka River, Tonkovića and Majerovo vrilo, were sampled monthly from March to September 2014. Diatom flora consisted of 52 taxa, with *Achnantheidium minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Meridion circulare* and *Staurosirella pinnata* as the most abundant species. Subdominant taxa in June and September included *Cymbella lange-bertalotii* and *Encyonema ventricosum*. Main environmental variables influencing diatom communities were pH, conductivity, alkalinity, oxygen saturation and current velocity. Most of the taxa 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 indeks (TID_{HR}) and Saprobic Index (SI_{HRIS}). According to both indices the ecological status of Majerovo vrilo was estimated as moderate (mesotrophic to meso-eutrophic) and Tonkovića vrilo as high (oligotrophic to oligo-mesotrophic).

(46 pages, 17 figures, 23 tables, 45 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: benthic diatoms, karstic springs, trophic indices, ecological assessment

Supervisor: Dr. Marija Gligora Udovič, Asst. Prof.

Assistant Supervisor: Dr. Petar Žutinić

Reviewers: Dr. Marija Gligora Udovič, Asst. Prof.

Dr. Dražen Balen, Prof.

Dr. Zlatko Mihaljević, Assoc. Prof.

Dr. Neven Bočić, Asst. Prof.

Thesis accepted: 18.02.2016.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Biološka procjena vodenih ekosustava	1
1.2. Obraštajne zajednice	1
1.3. Klasifikacija ekološkog stanja vodnih tijela	2
1.4. Alge kremenjašice	3
1.5. Područje istraživanja	7
1.5.1. Hidrogeološka i hidrološka obilježja rijeke Gacke	9
1.6. Cilj istraživanja	12
2. MATERIJALI I METODE	13
2.1. Određivanje fizikalno-kemijskih čimbenika vode	13
2.2. Analiza klorofila <i>a</i>	13
2.3. Uzorkovanje fitobentosa	13
2.4. Obrada algološkog materijala	14
2.4.1. Čišćenje ljušturica dijatomeja od organske tvari	14
2.4.2. Izrada trajnih preparata	14
2.5. Mikroskopske analize i određivanje vrsta	15
2.6. Analiza podataka i statističke metode	16
2.7. Numerička i grafička obrada podataka	20
3. REZULTATI	21
3.1. Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika vode	21
3.2. Struktura zajednice bentičkih dijatomeja	25
3.2.1. Analiza sastava dijatomeja u odnosu na ekološke čimbenike	33
3.2.2. Trofički indeks dijatomeja (TID_{HR}) i saprobni indeks (SI_{HRIS})	35
4. RASPRAVA	39
5. ZAKLJUČAK	43
6. LITERATURA	44
7. ŽIVOTOPIS	49

1. UVOD

1.1. Biološka procjena vodenih ekosustava

Biološka raznolikost slatkovodnih ekosustava ugrožena je negativnom antropogenim djelovanjem. Krajnji rezultat ljudske aktivnosti u slivovima i direktno na vodena tijela očituje se u promjeni biote i bioloških procesa (Norris i Barbour 2009). Procjene na temelju bioloških zajednica opisuju promjene u strukturi biološke zajednice uslijed promjena okolišnih uvjeta. Obzirom da biološki pokazatelji pružaju informacije o trenutnom stanju slatkovodnih ekosustava, osnova su za zaštitu i održavanje istih (Vilmi i sur. 2015). Tradicionalna procjena kvalitete vode temelji se isključivo na mjerenju fizikalno-kemijskih čimbenika pri čemu se isključuju biološki procesi. Takva mjerenja nisu dostatna za procjene ekološkog stanja, kao ni za potencijalno planiranje održivog razvoja slatkovodnih ekosustava (Norris i Thoms 1999). Životne zajednice slatkih voda koriste se kao osjetljivi pokazatelji stanja vodenog ekosustava jer integriraju i odražavaju utjecaj raznih okolišnih čimbenika, poput kemijskog onečišćenja, otjecanja organskih tvari s poljoprivrednih površina i kućanstava, degradacije i fragmentacije staništa i sl. (Norris i Barbour 2009). Podaci o strukturi zajednice prikazuju se u obliku bioloških indeksa koji se generalno mogu podijeliti na: biotičke indekse, indekse raznolikosti te indekse sličnosti, pri čemu se najviše koriste biotički indeksi (Ollis i sur. 2006). Biološke procjene primjenjuju osnovne ekološke principe s ciljem boljeg razumijevanja antropogenog utjecaja na vodene ekosustave (Norris i Barbour 2009).

1.2. Obraštajne zajednice

Fitobentos ili perifiton predstavlja obraštajnu zajednicu algi, cijanobakterija i heterotrofnih mikroorganizama koje naseljavaju slobodne površine predmeta uronjenih u vodu (Plenković-Moraj i sur. 2009) (Slika 1). Tijekom povijesti se, uz izraz „periphyton“ (eng.), koristila i njemačka riječ „aufwuchs“ kao naziv za sve organizme (bakterije, gljive, protozoa, životinjsku komponentu) koji su pričvršćeni ili se kreću po podlozi, a da pri tom ne prodiru u istu (Azim i sur. 2005). Perifiton se može odijeliti na dva sustavna elementa: euperifiton i pseudoperifiton. Euperifiton je osnovni dio obraštajne zajednice i predstavlja sesilne organizme pričvršćene na supstrat pomoću rizoida, želatinoznih stijenki, stapki, držaka i sl., dok se pseudoperifiton ili metafiton odnosi na organizme koji se slobodno kreću među pričvršćenima (Azim i sur. 2005).

Perifiton se, ovisno o supstratu na kojem raste, može podijeliti na: epifiton (organizmi na vodenom bilju), epipelon (organizmi na sedimentu, mulju), epiliton (organizmi na kamenju), epipsamon (organizmi na pijesku) i sl. (Azim i sur. 2005).

Važnost perifitonske zajednice u vodenim ekosustavima očituje se u: 1) značajnoj, često i dominantnoj ulozi u fiksaciji ugljika i kruženju nutrijenata; 2) izgradnji plitkih vodenih staništa pogodnih za naseljavanje drugim organizmima; 3) iznimnoj indikatorskoj vrijednosti u otkrivanju i praćenju promjena u vodenim ekosustavima (Azim i sur. 2005); te 4) sastavnoj ulozi u bazi trofičke piramide i izvoru hrane za ribe, ptice i beskralješnjake (Pasarić 2007).



Slika 1. Obraštajna zajednica dijatomeja (SEM) (autor: M. Gligora Udovič).

1.3. Klasifikacija ekološkog stanja vodenih tijela

Prema odredbama Okvirne Direktive o vodama (ODV), najvažnijeg zakonodavnog akta Europske Zajednice (EU) usmjerenog ka održivom gospodarenju i zaštiti kopnenih voda (EU-WFD 2000), države članice EU dužne su izraditi procjenu ekološkog stanja svih vodnih tijela i njihovu klasifikaciju na temelju bioloških, hidromorfoloških i fizikalno-kemijskih elemenata kakvoće te provoditi monitoring, tj. sustavno praćenje ekološkog statusa svojih vodnih tijela (Kelly 2008). Ekološki status rijeka i jezera definira se prema sljedećim biološkim elementima kakvoće: fitoplankton, fitobentos, makrofita, makrozoobentos (bentički beskralješnjaci) i fauna riba (Kelly 2008). Sastav i struktura zajednice fitobentosa, u prvom redu algi kremenjašica (dijatomeja), nezaobilazan je biološki element (Plenković-Moraj i sur. 2009) u ekološkim procjenama kakvoće slatkovodnih ekosustava, pri čemu su taksonomski sastav i (relativna) abundancija vrsta dvije ključne mjerljive sastavnice fitobentosa (Kelly

2008). Neke od 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). Dijatomeje imaju poznate granice tolerancije na okolišne promjene, uključujući koncentraciju hranjivih soli, suspendiranog materijala i vodnog režima (Kelly i sur. 2008).

U državama EU u upotrebi je niz metoda i indeksa koji se temelje na odnosu dijatomejskog sastava fitobentosa i kemijskih čimbenika. Tako se u Hrvatskoj koriste tri nezavisna multimetrička dijatomejska indeksa: trofički indeks dijatomeja - TID_{HR} , IPS indeks, SI - indeks organskog opterećenja te jedan nedijatomejski indeks - NeD (Plenković-Moraj i sur. 2009). Klasifikacija ekološkog stanja tekućica prema EU - Okvirnoj direktivi o vodama prikazana je u Tablici 1.

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

kategorije ekološkog stanja	boja
vrlo dobro	plava
dobro	zelena
umjereno dobro	žuta
loše	narančasta
vrlo loše	crvena

1.4. Alge kremenjašice

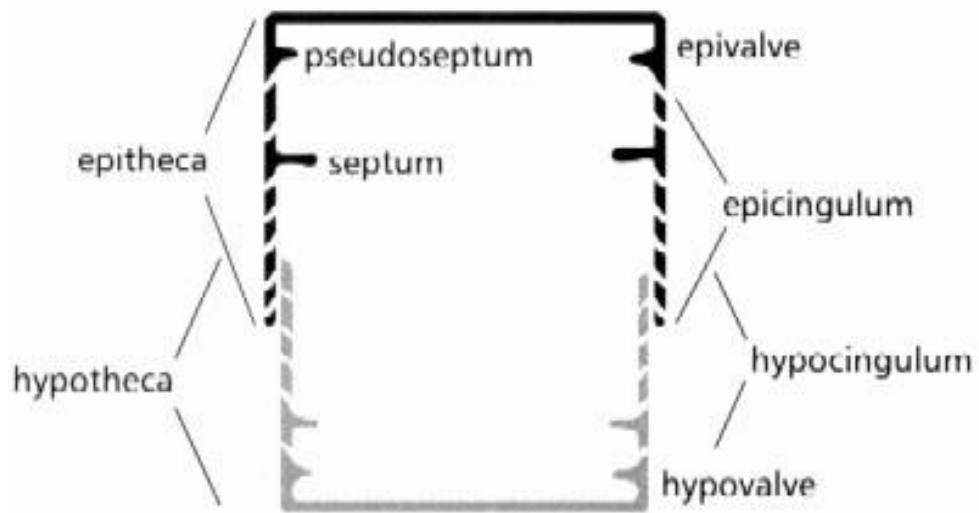
Alge kremenjašice ili dijatomeje (Bacillariophyceae, Diatomeae) su autotrofni, jednostanični protisti čija je stanična stijenka građena od silicijevog dioksida ili kremena ($SiO_2 \times nH_2O$), a naziva se frustulom (lat. *frustulum* - mali dio, djelić) i sadrži silicijeve strukture koje se koriste kao determinacijsko svojstvo. Kremenu ljušturicu imaju svi danas živeći predstavnici skupine, osim u slučaju sekundarnog gubitka (poput endosimbiotskih dijatomeja u bentičkim krednjacima (John 2012)). Veličina stanice varira između 5 i 200 μm , dok najveći predstavnici dostižu i 2 mm (Pasarić 2007).

Frustula se sastoji od dva dijela (*thecae*), gornjeg (*epitheca*) i donjeg (*hypotheca*) koji se preklapaju poput kutije i poklopca. Svaka teka sastoji se od dvije valve, *epivalva* odnosno *hypovalva*, koje su povezane pojansom (*cingulum* ili *mantellum*). Pojas grade *copulae*,

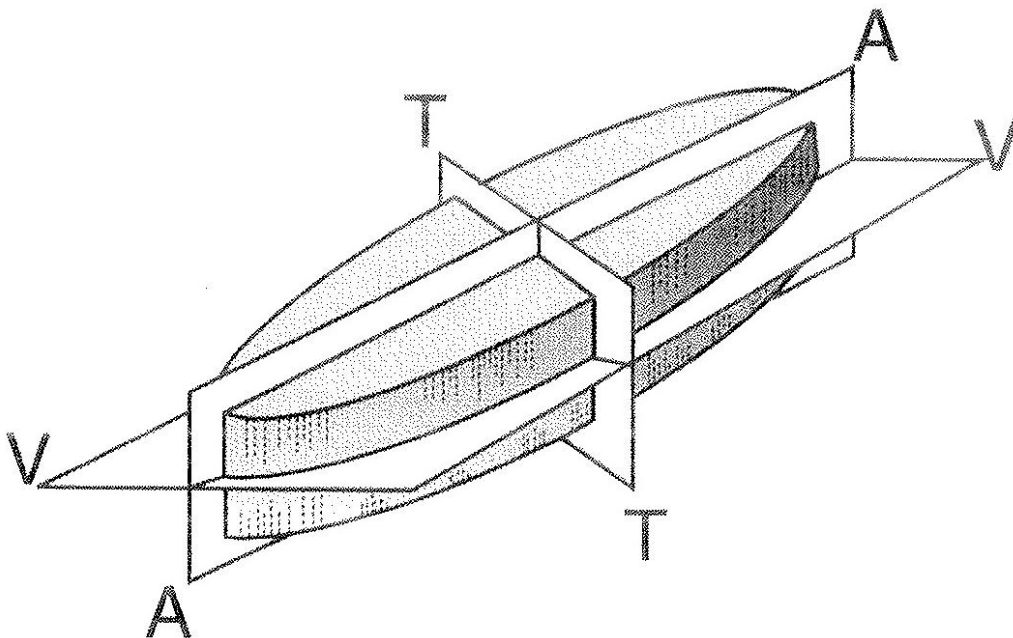
valvocopulae, epipleurae i hypopleurae (Slika 2). Pojas drži valve zajedno čime štiti stanicu te sudjeluje u povećanju staničnog volumena prilikom staničnog ciklusa (John 2012).

Stanica dijatomeje pod mikroskopom može se promatrati s gornje (valvalne) i bočne (pleuralne) strane. U sistematici dijatomeja iznimno je važna simetrija i struktura frustule, stoga se razlikuju dijatomeje s radijalnom simetrijom (centrice) i one s bilateralnom simetrijom (penatne dijatomeje). Kod radijalno simetričnih centrica postoji bezbroj ravnina simetrije koje prolaze kroz perivalvalnu os i tako dijele stanicu na dvije jednake polovice, obzirom da su uglavnom okruglastog oblika. Pervalvalna os simetrije povezuje centralne točke dviju valvi (John 2012). Kroz penatne dijatomeje mogu se povući tri ravnine i tri osi simetrije (Slika 3), a stanice su simetrične samo s obzirom na jednu ili dvije ravnine. Valvalna ravnina dijeli stanicu na gornju i donju polovicu, apikalna na lijevu i desnu te obje prolaze kroz apikalnu os simetrije. Transapikalna ravnina dijeli stanicu na prednji i stražnji dio te prolazi kroz transapikalnu os. U slučaju da se prednji i stražnji dio stanice razlikuju, spomenuta ravnina ne postoji. Oblik valve određuje međusoban odnos dimenzija ravnina simetrije (Pasarić 2007).

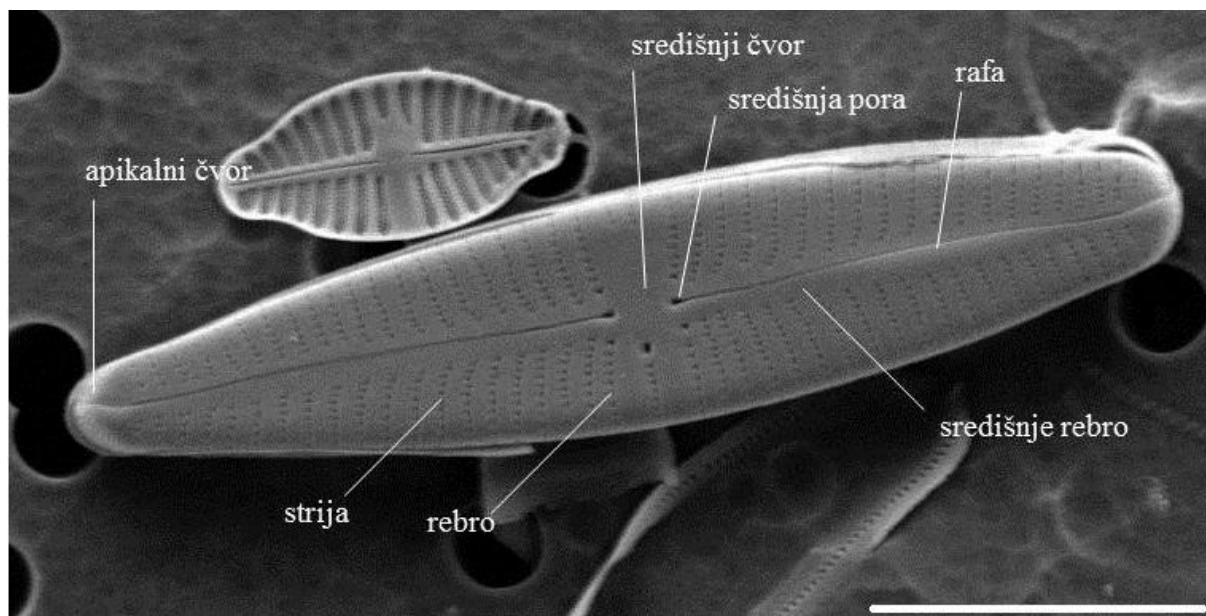
Većina bilateralno simetričnih dijatomeja ima longitudinalni prorez kroz valvu – *rapha* (John 2012; Slika 4). U području središnjeg čvora (*nodulus centralis*) rafa završava središnjom porom (*porus centralis*), a na području apikalnog čvora (*nodulus apicalis*) završava apikalnom, vršnom porom (*porus apicalis*) ili jezičastom strukturom *helictoglossum*. Kod nekih dijatomeja rafa je položena duž ruba valve (npr. rod *Nitzschia*), te s unutrašnje strane može biti premošćena silicijevom mostovima (*fibulae*) pa tako nastaje rafa s kanalom (Pasarić 2007). Obzirom na rafu postoje rafidne i arafidne penatne dijatomeje. Struktura rafe omogućuje pokretanje stanice i komunikaciju s okolišem. Rebra ili *costae* su zadebljanja, tj. dodatne naslage silicija u unutrašnjosti ljušturice koja se mogu radijalno pružati od središnjeg rebra (*sternum*) koje prati apikalnu os. Između rebara nalaze se izdužene komorice (*alveolae*) koje su perforirane s gornje i donje strane. Te perforacije na valvalnoj strani nazivaju se areole ili pore (*areolae*), a nizovi areola između rebara nazivaju se strije (*strie, areolae intercostales*; Slika 3). Funkcija pora je izmjena hranjivih tvari i produkata metabolizma, odnosno komunikacija s vanjskom okolinom. Oblik areola, gustoća strija (u 10 µm), orijentacija strija s obzirom na apikalnu os (radijalna, paralelna, konvergentna), oblik valve te prisustvo glavnih struktura na frustuli najvažnija su taksonomska obilježja dijatomeja.



Slika 2. Struktura ljušturice dijatomeje (izvor: fiu.edu).



Slika 3. Simetrija penatne dijatomeje: AA – apikalna ravnina, BB – valvalna ravnina, TT – transapikalna ravnina (preuzeto iz Round i sur. 1990).



Slika 4. Glavne morfološke karakteristike ljušture dijatomeje s bilateralnom simetrijom.

Kremena ljušturica potpuno štiti citoplazmu stanice, međutim na površini svih silikatnih dijelova stanice nalazi se tanak sloj organske tvari čija je funkcija zaštita frustule od otapanja (Round i sur. 1990). Važnost organskog sloja uvelike se očituje prilikom kemijske obrade dijatomeja kad je gubitak silicija s frustule minimalan, zbog čega je dobro vidljiv uz pomoć elektronskog mikroskopa. Dijatomeje za fotosintezu koriste klorofil *a* i *c*. Pomoćni pigmenti fukoksantin i β (beta) karoten daju im karakterističnu zlatnu boju. Rezervne tvari su krizolaminarin (polimer glukoze) i lipidi (uljna tjelešca) (Round i sur. 1990). Dijatomeje su uglavnom autotrofi i miksotrofi, no poznat je mali broj obligatnih heterotrofa iz roda *Nitzschia*, *Navicula* i *Hantzschia* (Li i Volcani 1987).

Dijatomeje su diplonti. Najčešće se razmnožavaju vegetativnom diobom stanica pri čemu se stanice dijele u valvalnoj ravnini tako da dvije teke majčinske stanice postaju epiteke stanica kćeri, dok se hipoteke nanovo stvaraju. Rezultat takve diobe je jedna manja stanica koja se uzastopnom diobom sve više smanjuje dok ne dosegne minimalnu kritičnu veličinu (30-40% od početne veličine). U većini slučajeva stanični ciklus traje od 8 do 24 sata. Spolno razmnožavanje karakteristično je za manji broj vrsta dijatomeja i javlja se u odgovarajućim okolišnim uvjetima koji su specifični za pojedinu vrstu. Centrice se spolno razmnožavaju oogamijom, a penatne dijatomeje izogamijom ili u manjem broju slučajeva anizogamijom (John 2012). Zigota se razvija u auksosporu, stanicu s karakterističnim silikatnim pojasom koji novonastaloj stanici omogućava rast do maksimalne veličine (Round i sur. 1990).

Dijatomeje su prilagođene životu u vodenim staništima. Centrične dijatomeje su uglavnom planktonski organizmi, dok su penatne dijatomeje dio fitobentosa te rastu pričvršćene za podlogu. Supstrat koji naseljavaju fitobentoske alge mogu biti makrofiti te različiti tipovi sedimenata (Plenković i sur. 2009). Različite morfološke prilagodbe frustula omogućile su dva načina pričvršćivanja dijatomeja na podlogu: pomoću stalaka ili ploča (npr. neke vrste roda *Cymbella*) ili prijanjanje na supstrat najvećom površinom stanice (npr. rod *Cocconeis*). Također, neke vrste vrlo često mogu formirati veće ili manje kolonije. Rafidne dijatomeje koje naseljavaju čestice mulja ili sitni pijesak (epipelon) mogu se samostalno pokretati, pri čemu pokretljivost ovisi o stupnju razvoja sustava rafe (Round i sur. 1990).

Dijatomeje su vrstama najbogatija skupina algi, s do danas opisanih oko 12 000 vrsta u preko 260 rodova, a pretpostavlja se da bi broj vrsta mogao biti i do 100 000 (John 2012). Dijatomeje predstavljaju polifiletsku skupinu (Kaczmarska i sur. 2006) 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. Fosilne dijatomeje poznate su još iz razdoblja krede, zbog čega se koriste u paleoekološkim rekonstrukcijama. Debele naslage ljušturica tijekom tercijara i deluvija stvorile su dijatomejski mulj ili tzv. kremenu zemlju (John 2012).

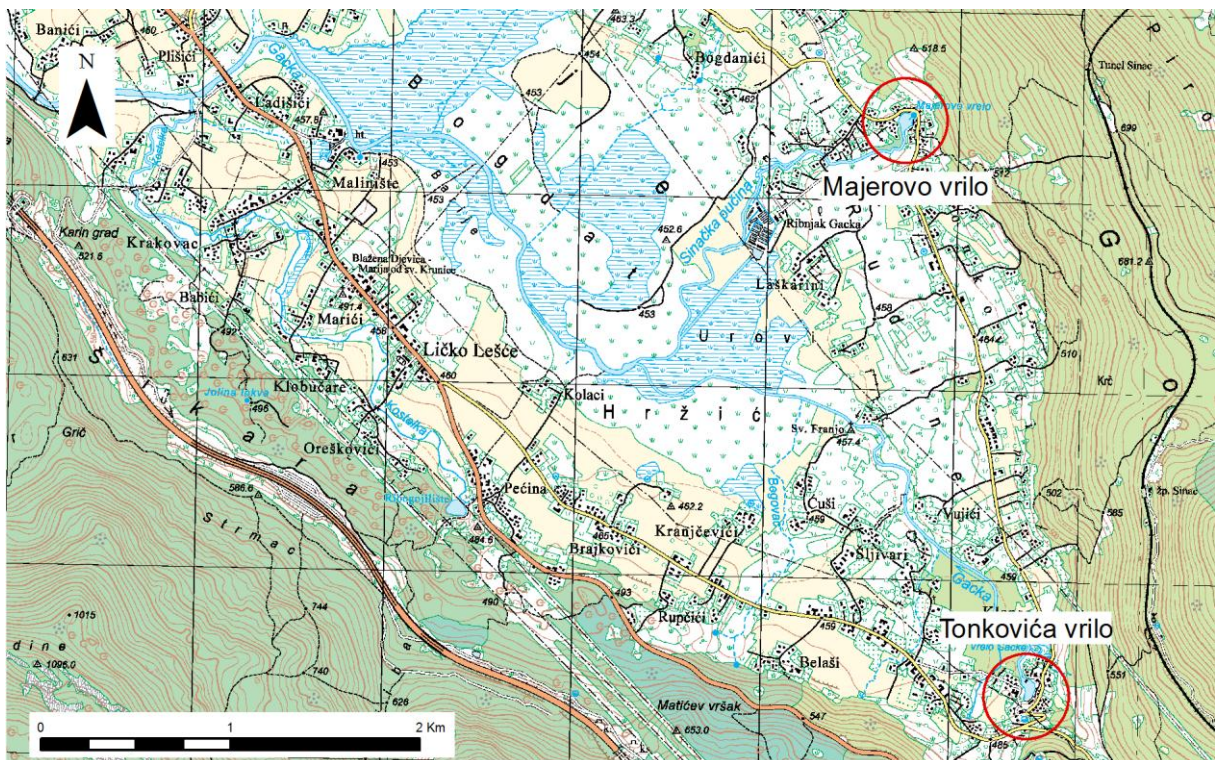
1.5. Područje istraživanja

Područje ovog istraživanja su Tonkovića vrilo i Majerovo vrilo, dva izvora rijeke Gacke, koji pripadaju hrvatskom dinarskom kršu u Lici, regiji koju karakteriziraju zavale polja u kršu i brdoviti krš (Lukač Reberski i sur. 2009). Gacka je tipična krška rijeka ponornica koja cijelim svojim tokom protječe kroz zavalu Gackog polja i jedna je od najvećih krških ponornica u Europi (Bonnaci i Andrić 2008). Gacka dolina omeđena je Velebitom prema moru i Kapelom u unutrašnjosti. Izvorni tok rijeke bio je dugačak oko 39 km, no nakon izgradnje HE Senj 1960-ih godina skraćen je na oko 17 km (Pejnović 1991).

Izvorište Gacke sastoji se od mnogih manjih i tri jača izvora: Tonkovića, Majerovo i Klanac vrilo (Slika 5). Izvorišna područja nalaze se na jugoistočnom dijelu krškog polja (Sinac, Ličko Lešće), dok su ponori na suprotnom, sjeverozapadnom dijelu polja. Prije izgradnje hidroakumulacije Senj rijeka je ponirala u Gusić polju, Švici i Hrvatskom polju. Nakon 1960-ih, lijevi rukavac teče reguliranim kanalom u akumulacijsko jezero Gusić polje za potrebe HE Senj, dok oslabljeni desni rukavac ponire u Starom Selu (crorivers.com).

Podzemnim tokom vode rijeke Gacke dolaze do Jadranskog mora gdje se pojavljuju kao obalni izvori ili vrulje (Bonacci i Andrić 2008).

Gacka protječe mirnim meandričnim tokom što je posljedica konfiguracije Gacke zavale s blagim padom nadmorske visine (425-481 m n.v.). Relativno ujednačen godišnji protok vode od izvora dužinom čitavog toka, optimalna temperatura vode s malim godišnjim kolebanjima, blago alkalna kemijska struktura vode te muljevito dno pogoduju razvoju bujnog biljnog i životinjskog svijeta. Do 1937. godine u rijeci su živjele četiri vrste riba: potočna pastrva, jegulja, čikov i štika te potočni rak. Izgradnjom kanala Lika-Gacka za potrebe HE Senj te poribljavanjem rijeke na gornjem toku unešene su brojne alohtone vrste riba, poput kalifornijske pastrve, sunčanice, klena, linjaka i sl., čime dolazi do narušavanja biološke i ekološke ravnoteže sustava (Jelić i sur., u postupku objave). Rijeka Gacka poznata je kao športsko-ribolovna voda, ponajprije zbog brze dinamike rasta potočne pastrve (oko pet puta brži rast nego u drugim krškim rijekama) (crorivers.com) što je rezultat spomenutih optimalnih ekoloških uvjeta. Zbog slabe industrijske i poljoprivredne iskorištenosti te slabe naseljenosti, prirodni resursi ovog područja su jako dobro očuvani (Lukač Reberski i sur. 2009).



Slika 5. Topografska karta istraživanog područja s označenim položajem Tonkovića i Majerovog vriila.

1.5.1. Hidrogeološka i hidrološka obilježja rijeke Gacke

Izvorišno područje rijeke Gacke tipičan je teren dinarskog krša formiran uglavnom od karbonatnih stijena jurske i kredne starosti (vapnenci i vapnenačke breče), paleogenskih klastita (tzv. Jelar naslage) te nepropusnih naslaga dolomita jurske i kredne starosti koji se izmjenjuju s dolomitnim vapnencima i brečama. Jelar breče su približno 50% manje propusne od jurskih i krednih karbonata i spadaju u manje propusne naslage (Lukač Reberski i sur. 2009). Tok podzemne vode i formiranje izvora u naslagama ovog sliva ponajviše ovise o strukturno-tektonskim odnosima, odnosno glavnim rasjednim zonama. Smjer protoka podzemne vode u najvećem dijelu slivnog područja rijeke Gacke prati „dinarski smjer pružanja“ reljefa (SZ-JI), što je posljedica položaja glavnih graničnih rasjeda (Lukač Reberski 2008).

Izvori rijeke Gacke nalaze se na kontaktu propusnih i nepropusnih naslaga, odnosno u kontaktu s rasjednim zonama (Lukač Reberski i sur. 2009). Deset je stalnih, više ili manje obilnih izvora koji se nalaze u vrlo uskom rasponu nadmorskih visina, od 455 do 460 m n.v. (Bonacci i Andrić 2008), zbog čega, uz već spomenuti reljef Gackog polja, rijeka protječe ravnim dnom polja u kršu. Tonkovića (Slika 6) i Majerovo vrilo (Slika 7) su limnokreni tipovi izvora iz kojih voda izlazi na dnu veće i dublje udubine ili potopljene jame formirajući ujezerenje. Litološke, morfološke i hidrogeološke karakteristike stijena, prostorni i visinski položaj te tektonika utječu na hidrogeološku funkciju područja (Lukač Reberski i sur. 2009).

Istraživano područje siromašno je površinskom hidrografijom, što je karakteristika krša. Površina slivnog područja rijeke Gacke iznosi 478 km², od čega je 94% podzemno, a 6% površinsko otjecanje (Lukač Reberski i sur. 2009). U usporedbi s drugim krškim rijekama vodni režim rijeke Gacke je homogen, odnosno ne postoje značajne promjene u količini protoka vode (Bonacci 1987). Zbog regulacije rijeke te postojanja velikog retencijskog prostora u zaleđu izvorišne zone koji omogućuje formiranje velikih zaliha vode, a kojim se prihranjuju izvori i tok rijeke tijekom sušnog razdoblja, Gacka nikad ne presušuje (Bonacci i Andrić 2008), kao ni dva izvora obuhvaćena ovim istraživanjem. Uniformiranom vodnom režimu i obilnim količinama vode doprinosi i činjenica da se neki izvori Gacke prihranjuju vodom iz rijeke Like i njenog sliva (Bonacci i Andrić 2008). Izotopne i geokemijske analize (Bojić i sur. 2007) pokazale su da se Tonkovića i Majerovo vrilo, iako na približno istim nadmorskim visinama, prihranjuju vodom na različitim nadmorskim visinama. Zbog obilja vode visoke kvalitete Gacka predstavlja iznimno vrijedan regionalni strateški vodni resurs (Bonacci i Andrić 2008).



Slika 6. Tonkovića vrilo u Sincu (autor: S. Gottstein).



Slika 7. Majerovo vrilo u Sincu (autor: S. Gottstein).

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). Krški reljef obuhvaća više od 45% hrvatskog državnog teritorija (Roglić 1974). Dinarski krš je zbog brojnih dobro razvijenih površinskih i podzemnih krških oblika u svijetu poznat kao klasičan tip krša, „locus typicus“ (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 uvelike razlikuju od površinskih voda svojom fizikalno-kemijskom stabilnošću koja se očituje niskim i stabilnim temperaturama vode te visokom koncentracijom kisika (Cantonati 1998). Stalne izvore nastanjuju organizmi prilagođeni na relativno konstantne okolišne uvjete. Iako dijatomeje uvelike ne doprinose produkciji biomase izvora, svojom taksonomskom raznolikošću i brojnošću predstavljaju ključnu ulogu u njihovom funkcioniranju (Mogna i sur. 2015).

1.6. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja bio je:

- opisati zajednicu dijatomeja dvaju izvora rijeke Gacke, Tonkovića vrilo i Majerovo vrilo
- odrediti relativnu učestalost dijatomeja u obraštaju
- procijeniti ekološko stanje vodotoka na temelju dva nezavisna multimetrička dijatomejska indeksa
- dobivene rezultate usporediti s fizikalno - kemijskim parametrima vode te na osnovi tih rezultata i koncentracije klorofila *a* utvrditi linearnu ovisnost
- dobivene rezultate usporediti sa sličnim sustavima te donijeti zaključak o karakterističnim vrstama za ovakav tip krškog staništa i njihovim ekološkim valencijama.

2. MATERIJALI I METODE

Istraživanje je provedeno na izvorima Majerovo vrilo i Tonkovića vrilo jednomjesečnim uzorkovanjem u razdoblju od ožujka do rujna 2014. godine, izuzev svibnja. Metodologija rada bila je usmjerena na uzorkovanje i determinaciju fitobentosa te praćenje fizikalno-kemijskih čimbenika vode.

2.1. Određivanje fizikalno-kemijskih čimbenika vode

Fizikalno-kemijski čimbenici vode mjereni su neposredno prije uzorkovanja fitobentosa. Uz pomoć WTW MultiLine P4 sonde *in situ* su izmjereni: temperatura zraka, temperatura vode, pH vrijednost, koncentracija kisika u vodi (mg L^{-1}), zasićenje kisikom (%), provodljivost ($\mu\text{S cm}^{-1}$), brzina strujanja vode na mjestu uzorkovanja (ms^{-1}) te dubina vode na mjestu uzorkovanja (cm). Uzorci za laboratorijsku analizu uzeti su usporedno sa fizikalno-kemijskim čimbenicima 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).

2.2. Analiza klorofila *a*

Koncentracija klorofila *a* ($\mu\text{g cm}^{-2}$) mjerena je spektrofotometrijski, nakon ekstrakcije etanolom (Nusch 1980) iz četiri mjesečna uzorka: ožujak, travanj, srpanj i rujna 2014. godine.

2.3. Uzorkovanje fitobentosa

Uzorci fitobentosa prikupljani su na Tonkovića vrilu i Majerovom vrilu od ožujka do rujna 2014. godine, izuzev svibnja. Uzorkovanje se provodilo jednom mjesečno s ciljem određivanja sezonske promjene u taksonomskom sastavu zajednice dijatomeja. Uzorci su prikupljani tehnikom struganja sa različitih supstrata površine 3×3 cm (uglavnom s kamena) te su pohranjeni u bočice u zajedničke reprezentativne kompozitne uzorke, uz dodatak vode istraživanog izvora i fiksiranje uzoraka 4%-tnim formaldehidom. Ukupno je sakupljeno 20 uzoraka, po 10 uzoraka sa svakog istraživanog izvora. 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).

2.4. Obrada algološkog materijala

2.4.1. Čišćenje ljušturica dijatomeja od organske tvari

Uzorci fitobentosa pripremljeni su za kvalitativnu analizu u obliku trajnih preparata. Izradi trajnih preparata prethodilo je čišćenje ljušturica dijatomeja od organske i anorganske tvari. Mineralni i organski dijelovi, uključujući i staničan sadržaj dijatomeja, uklonjeni su sedimentacijskim i oksidacijskim metodama.

Prvi korak u izradi trajnih preparata je ispiranje konzerviranog materijala od formaldehida. Uzorci se ispiru destiliranom vodom i centrifugiraju 2 minute na 2000 okr./min. (Slika 8). Za dio uzoraka korištena je metoda sedimentacije u čašama od 100 ml vode u trajanju od najmanje 6-8 sati. Nakon centrifugiranja supernatant se uklanja vakuum pumpom. U laboratoriju su na raspolaganju tri sustava za vakuum, a korišten je sustav priključen na vodu. Na preostali talog dodaje se destilirana voda te se za svaki uzorak postupak sedimentacije i uklanjanja supernatanta ponavlja 4-5 puta kako bi se u potpunosti uklonili tragovi formaldehida.

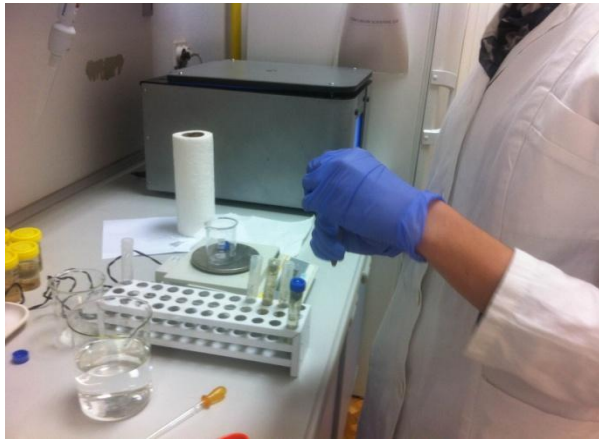
Kalcijev karbonat (CaCO_3) uklanja se iz uzoraka dodavanjem 36,5% klorovodične kiseline (HCl) u jednakom volumenu, pri čemu stvaranje pjene na uzorku označava prestanak reakcije između CaCO_3 i HCl. Nakon uklanjanja anorganske tvari, uzorak se ponovno ispiru (najmanje 3-4 puta) destiliranom vodom po već opisanom postupku.

Uklanjanje organske tvar provodi se u epruvetama s debelim dnom dodavanjem 96% sulfatne kiseline (H_2SO_4) u dvostrukom volumenu u odnosu na talog. Smjesa uzorka i sulfatne kiseline zagrijava se na alkoholnom ili špiritnom plameniku do promjene boje u crno (Slika 9). Ako je u smjesi ostalo organske tvari, dodavanjem kristalića natrijevog ili kalijevog nitrata (KNO_3 ili NaNO_3) smjesa se obezboji. Nakon hlađenja, obezbojena se smjesa ispiru destiliranom vodom i centrifugira dok se ne postigne pH 7 (oko 5-6 puta), odnosno potpuno ukloni kiselina iz uzorka.

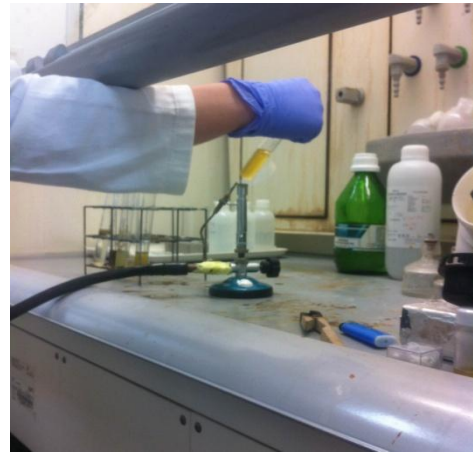
2.4.2. Izrada trajnih preparata

Izrada kvalitetnih trajnih preparata moguća je samo iz potpuno očišćenih uzoraka. Radi dobivanja optimalne gustoće frustula na trajnom preparatu, uzorak se razrijedi u destiliranoj vodi, te se poduzorci kapalicom (0,05 mL) nanesu na nekoliko čistih pokrovnica i ostave na sušenju u digestoru pri sobnoj temperaturi (Slika 10). Osušene pokrovnice uklope se

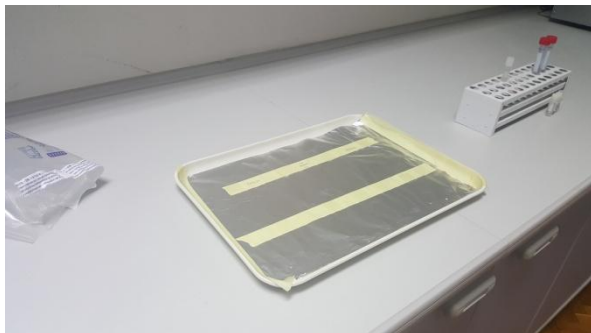
pomoću kapi smole (naphrax) na predmetnicu te se preparat lagano zagrijava na vrućoj ploči (Slika 11). Smola se, uz stvaranje mjehurića, raširi po cijeloj pokrovnici, nakon čega se istisnu preostali mjehurići zraka i preparat ostavi na hlađenju. Ohlađeni preparat spreman je za mikroskopiranje. Iz svakog uzorka izrađeno je pet trajnih preparata (replikata).



Slika 8. Ispiranje uzoraka prilikom čišćenja ljušturica (autor: Anamarija Ćukurin).



Slika 9. Uklanjanje organske tvari (autor: Anamarija Ćukurin).



Slika 10. Sušenje pokrovnica s uzorcima (autor: Mirela Šušnjara)



Slika 11. Izrada trajnih preparata (autor: Mirela Šušnjara)

2.5. Mikroskopske analize i određivanje vrsta

Relativna učestalost dijatomeja, određivanje vrsta i izrada mikrofotografija (LM) odrađena je na svjetlosnom inverznom mikroskopu (Zeiss Axiovert 200, Carl Zeiss, Germany) uz povećanje 1000X 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 μm) te nakon sušenja pričvršćeni na aluminijske tablice i poprskani s 30 nm

zlata. Uzorci su mikroskopirani na FEG Tescan MIRA3 mikroskopu. SEM mikrografije 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 (1991a, 1991b).

Determinacija vrsta temeljila se na morfometrijskim mjerenjima triju varijabli: dužine i širine valve te gustoću strija (broj strija u 10 μm), te na ostalim morfološkim karakteristikama frustula. Vrste učestale u uzorku mjerene su na 20-30 valvi, dok su kod rjeđih vrsta izmjerene sve pronađene stanice. Morfometrijska mjerenja i izrada mikrografija obavljena su u AxioVision LE 4.8.2 programu (Carl Zeiss, 2009).

Ukupno je izbrojano 400 stanica po uzorku, s iznimkom uzorka Majerovo vrilo iz ožujka, gdje je zbog malog broja stanica ukupan broj iznosio 164 stanice u tri transekte. Odnos broja stanica pojedine vrste i ukupnog broja stanica dijatomeja daje apsolutnu učestalost te vrste. Relativna učestalost dijatomeja izražava se kao postotak od 400 prebrojenih stanica. Na osnovu relativne učestalosti vrsta (%) određene su dominantne vrste za istraživane izvore.

2.6. Analiza podataka i statističke metode

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 međuodnosu, 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 (λ). 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 jedinke 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 dijatomeja, 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 dva nezavisna multimetrička dijatomejska indeksa: 1) trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{RH}); i 2) saprobnog indeksa (SI_{HRIS}). Za izračunavanje oba indeksa korištena je modificirana jednačica 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 dijatomeja ukazuje na opterećenje vodnog tijela hranjivim tvarima, odnosno stupanj trofije prema zastupljenosti dijatomejskih vrsta (Rott i sur. 1999). Kategorizacija trofičkog stanja vode na temelju trofičkog indeksa prema Rott i sur. 1999 prikazana je u Tablici 2. 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_{HR} 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 3).

Tablica 2. 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. Saprobni indeks (Zelinka i Marwan 1961) definiran je saprobnim vrijednostima (indikatorska vrijednost i indikatorska težina) za svaku pojedinu dijatomejsku 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 polisaprobnost) i pridružene su klasama ekološkog stanja (ES) (Tablica 4).

Za determinirane vrste u svakom uzorku određene su trofičke, odnosno saprobne indikatorske vrijednosti (osjetljivost) i težine (tolerantnost) prema Operativnoj listi svojti (OLS) dijatomeja za rijeke i jezera.

Tablica 3. Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim graničnim vrijednostima trofičkog indeksa dijatomeja (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 4. Klasifikacija ekološkog stanja (ES) tekućica u RH temeljena na preporučenim graničnim vrijednostima SI_{HRIS} indeksa (Plenković-Moraj i sur. 2009).

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

2.7. Numerička i grafička obrada podataka

Sve statističke metode izrađene su uz pomoć računalnih programa Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation 2007) i PRIMER 6.1.10 (Primer-E Ltd. 2007), a grafički prikazi izrađeni su pomoću programa Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation 2007). Pri obradi slika korišteni su CorelDraw X6 (Corel Corporation 2013) and Adobe Photoshop CS6 v.13.0.1 (Adobe Systems Incorporated 2012).

3. REZULTATI

3.1. Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika vode

Fizikalno-kemijski čimbenici na Tonkovića (Tablica 5) i Majerovom vrilu (Tablica 6) analizirani su u proljetnim i ljetnim mjesecima 2014. godine (od ožujka do rujna).

Temperatura vode u Majerovom vrilu kretala se u rasponu od 8,8 °C u ožujku do 9,4 °C u srpnju. Srednja godišnja temperatura vode u istraživanom razdoblju bila je 9,1 °C. U Tonkovića vrilu, najniža temperatura vode zabilježena je u ožujku 9,5 °C, a najviša 10,1 °C u kolovozu. Srednja godišnja temperatura vode na Tonkovića vrilu iznosila je 9,7 °C. Minimalna i maksimalna temperatura vode u Majerovom vrilu niža je u odnosu na Tonkovića vrilo, gdje su izmjerene i niže temperature zraka (11,0 - 27,9 °C) nego na izvoru Majerovo vrilo (12,4 - 30,7 °C).

Najniža izmjerena koncentracija otopljenog kisika u Majerovom vrilu bila je 9,80 mg L⁻¹ u ožujku, a najveća 10,97 mg L⁻¹ u travnju, dok je u Tonkovića vrilu najniža vrijednost u lipnju (9,86 mg L⁻¹), a najveća (15,60 mg L⁻¹) u ožujku. Srednja vrijednost otopljenog kisika u Majerovom vrilu je 10,43 mg L⁻¹, a u Tonkovića vrilu 11,00 mg L⁻¹. Koncentracija kisika u Tonkovića vrilu najveća je u proljetnoj sezoni. Vrijednosti zasićenja vode kisikom u Majerovom vrilu kretale su se u rasponu od 92,1% u ožujku do 100,1% u travnju. Minimalna vrijednost zasićenja kisikom u Tonkovića vrilu bila je 91,3% u lipnju, a maksimalna vrijednost od 130,8% u ožujku. Srednja vrijednost zasićenja vode kisikom u Tonkovića vrilu (111,1%) veća je od iste u Majerovom vrilu (96,3%).

Vrijednosti pH u Majerovom vrilu kretale su se u rasponu od 7,19 (kolovoz) do 7,58 (rujan). U Tonkovića vrilu najniža izmjerena pH vrijednost je 7,04 u rujnu, a najviša 7,42 u kolovozu. pH vrijednost oba izvora sezonski se značajno ne razlikuje.

Provodljivost vode (σ) u Majerovom vrilu kretala se od 433 $\mu\text{S cm}^{-1}$ u travnju do 481 $\mu\text{S cm}^{-1}$ u rujnu, a u Tonkovića vrilu u rasponu od 484 $\mu\text{S cm}^{-1}$ u ožujku do 522 $\mu\text{S cm}^{-1}$ u kolovozu. Srednja vrijednost provodljivosti u Tonkovića vrilu iznosi 502 $\mu\text{S cm}^{-1}$ te je veća od iste u Majerovom vrilu (452 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Najvišu pojedinačnu (275 mg L⁻¹ u travnju) i srednju vrijednost alkaliniteta (263 mg L⁻¹) ima Tonkovića vrilo, a najnižu pojedinačnu (245 mg L⁻¹ u travnju) i srednju vrijednost alkaliniteta (250 mg L⁻¹) ima Majerovo vrilo.

Vrijednosti KPK kreću se u rasponu 0,39 - 1,77 mg L⁻¹ u Majerovom vrilu, te od 0,24 do 1,87 mg L⁻¹ u Tonkovića vrilu. Srednja vrijednosti KPK u Majerovu vrilu (1,05 mg L⁻¹) veća je od iste u Tonkovića vrilu (0,98 mg L⁻¹).

Minimalna brzina strujanja vode izmjerena u Majerovom vrilu iznosila je 0,02 ms⁻¹, a maksimalna 1,35 ms⁻¹. Brzina strujanja vode u Tonkovića vrilu kretala se u rasponu od 0,04 ms⁻¹ do 1,13 ms⁻¹. Prosječna brzina strujanja vode u Majerovom vrilu iznosila je 0,44 ms⁻¹, a u Tonkovića vrilu 0,49 ms⁻¹.

Minimalna dubina vode na mjestu uzorkovanja na Majerovom vrilu iznosila je 14 cm, a maksimalna 60 cm. Na Tonkovića vrilu dubina vode na mjestu uzorkovanja kretala se u rasponu od 15 do 68 cm. Srednja maksimalna dubina vode u Majerovom vrilu je 50 cm, a u Tonkovića vrilu 54 cm. Srednja minimalna dubina vode na mjestu uzorkovanja iznosila je 36 cm na Majerovom, te 23 cm na Tonkovića vrilu.

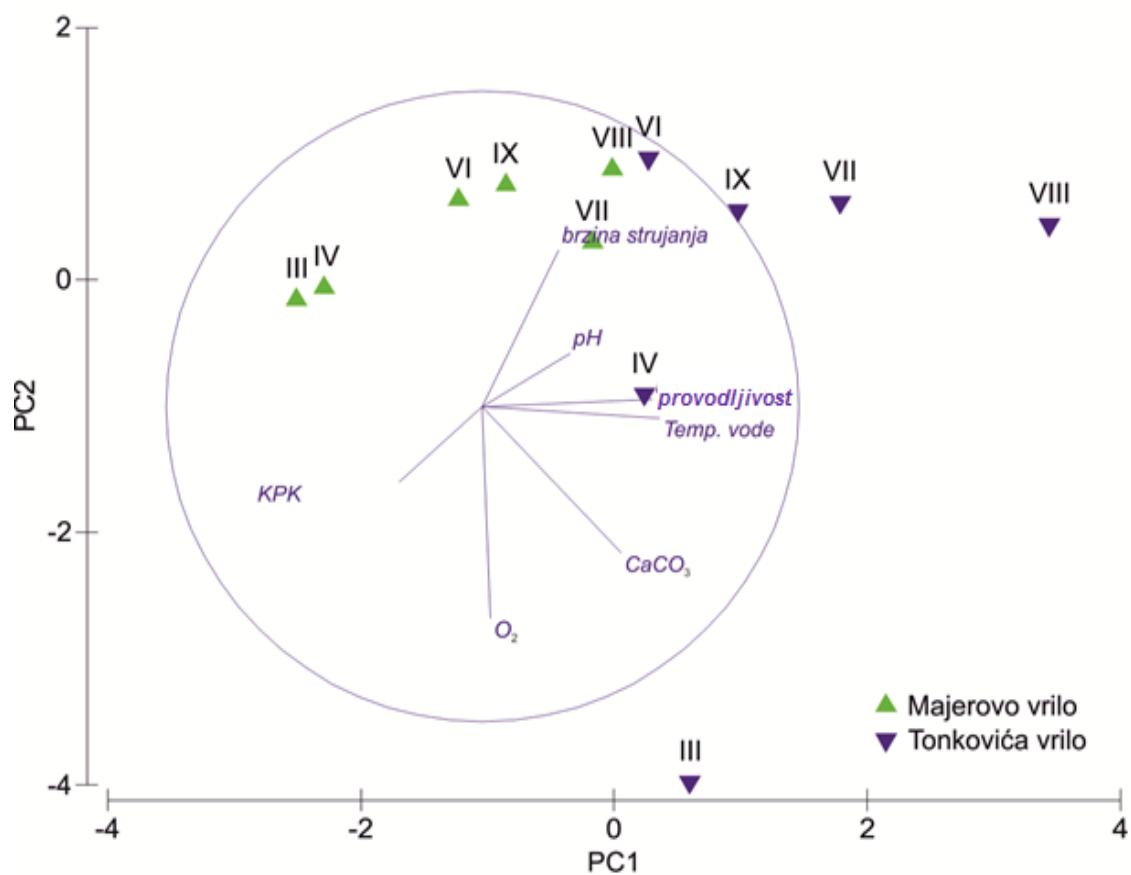
Tablica 5. Minimalne (min.), maksimalne (max.) i srednje vrijednosti (sr. vr.) fizikalno-kemijskih čimbenika u Majerovom vrilu.

	min.	max.	sr. vr.
Temperatura zraka (°C)	11,0	27,9	19,6
Temperatura vode (°C)	8,8	9,4	9,1
O ₂ (mg L ⁻¹)	9,80	10,97	10,44
O ₂ (%)	92,1	100,1	96,3
pH	7,19	7,58	7,38
σ (μS cm ⁻¹)	433	481	452
Utrošak HCl (ml)	4,90	5,15	5,01
CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	245	257	250
KPK (mg L ⁻¹)	0,39	1,77	1,05
Minimalna brzina strujanja (ms ⁻¹)	0,02	0,38	0,13
Maksimalna brzina strujanja (ms ⁻¹)	0,64	1,35	0,91
Srednja vrijednost brzine strujanja (ms ⁻¹)	0,28	0,77	0,44
Najveća dubina vode na mjestu uzorkovanja (cm)	42	60	50
Najmanja dubina vode na mjestu uzorkovanja (cm)	14	50	36

Tablica 6. Minimalne (min.), maksimalne (max.) i srednje vrijednosti (sr. vr.) fizikalno-kemijskih čimbenika u Tonkovića vrilu.

	min.	max.	sr. vr.
Temperatura zraka (°C)	12,4	30,7	19,9
Temperatura vode (°C)	9,5	10,1	9,7
O ₂ (mg L ⁻¹)	9,86	15,60	11,0
O ₂ (%)	91,3	130,8	111,1
pH	7,04	7,42	7,22
σ (μS cm ⁻¹)	484	522	502
Utrošak HCl (ml)	5,1	5,5	5,3
CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	252	275	263
KPK (mg L ⁻¹)	0,24	1,87	0,98
Minimalna brzina strujanja (ms ⁻¹)	0,04	0,33	0,19
Maksimalna brzina strujanja (ms ⁻¹)	0,69	1,13	0,91
Srednja vrijednost brzine strujanja (ms ⁻¹)	0,32	0,67	0,49
Najveća dubina vode na mjestu uzorkovanja (cm)	35	68	54
Najmanja dubina vode na mjestu uzorkovanja (cm)	15	37	23

Fizikalno-kemijski čimbenici istraživanih izvorišta statistički su analizirani multivarijantnom analizom osnovnih komponenti (PCA). Analiziranjem 7 varijabli na dvije dimenzije opisano je 67,0% varijabilnosti, od čega PC1 os opisuje 40,7%, a PC2 os 26,3% varijabilnosti fizikalno-kemijskih čimbenika (Tablica 7). PC1 os najbolje opisuju sljedeće varijable: temperatura vode (koeficijent $r = 0,560$) i provodljivost vode (koeficijent $r = 0,537$). Os PC2 opisuje varijabilnosti fizikalno-kemijskih čimbenika koje najbolje određuju koncentracija kisika ($r = -0,672$), brzina strujanja vode ($r = 0,497$) i alkalinitet ($r = 0,463$) (Tablica 8). Uzorci se jasno grupiraju prema staništu, ali ne i prema mjesecima uzorkovanja (Slika 12).



Slika 12. Ordinacijski dijagram PCA analize sedam vrijednosti fizikalno-kemijskih čimbenika na istraživanim postajama.

Tablica 7. Svojtvene vrijednosti prvih pet osi PCA analize s postocima ukupne varijacije.

PC	svojtvena vrijednost	% varijacije	kumulativni % varijacije
1	2.85	40.7	40.7
2	1.84	26.3	67.0
3	1.38	19.7	86.8
4	0.45	6.4	93.2
5	0.31	4.4	97.6

Tablica 8. Koeficijenti linearne kombinacije varijabli dobiveni PCA analizom.

Varijable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temperatura vode (°C)	0.560	-0.037	-0.056	0.243	0.235
O ₂ (mg L ⁻¹)	0.026	-0.672	0.099	-0.079	-0.685
pH	0.277	0.167	0.595	-0.729	0.024
σ (μS cm ⁻¹)	0.537	0.022	-0.289	-0.119	0.019
CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	0.438	-0.463	-0.084	0.004	0.198
KPK (mg L ⁻¹)	-0.264	-0.240	-0.600	-0.610	0.278
Prosječna brzina strujanja (ms ⁻¹)	0.241	0.497	-0.427	-0.129	-0.599

3.2. Struktura zajednice bentičkih dijatomeja

U Tonkovića i Majerovom vrilu ukupno su određene 52 vrste dijatomeja. Popis vrsta prikazan je u Tablici 9. Rodovi koji su zastupljeni s najvećim brojem vrsta su: *Navicula* (6), *Planothidium* (5), *Fragilaria* (4), *Nitzschia* (4), *Gomphonema* (4) i *Cymbella* (4). Dominantne vrste u oba izvora su: *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, (Slika 14, 1-6; slika 16, 4-6), *Cocconeis placentula* Ehrenberg (Slika 14, 7-10; slika 16, 1-3), *Meridion circulare* (Greville) C.Agardh (Slika 15; slika 16, 7-12) i *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) D.M.Williams & Round (Slika 14-12; slika 16, 13-17). Najzastupljenija vrsta u oba staništa je *Achnantheidium minutissimum*.

Dominantna vrsta u Majerovom vrilu je *Achnantheidium minutissimum* s relativnom učestalošću iznad 70%. U travnju i rujnu 2014. godine vrsta dominira sa preko 95%, dok u ožujku, srpnju i kolovozu sa 70-90%. U lipnju nije zabilježena niti jedna stanica te dominaciju preuzima vrsta *Meridion circulare* (18%). Ostale vrste s velikom brojnošću u lipnju su: *Cymbella lange-bertalotii* Krammer (12%), *Encyonopsis cesatii* (Rabenhorst) Krammer (11%), *Cymbella parva* (W.Smith) Kirchner (10%), *Gomphonema micropus* Kützing (10%) i *Staurosirella pinnata* (10%). U istom mjesecu zabilježene su stanice vrsta: *Achnanthes conspicua* A. Mayer (5%), *Denticula tenuis* Kützing (4%), *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow ex A.Schmidt (3%), *Brachysira* sp. Kützing (3%), *Planothidium dubium* (Grunow) Round & Bukhtiyarova (2%), *Cyclotella comensis* Grunow (2%), *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot (1%) te *Gomphonema pumilum* (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot (1%). U listopadu i studenom 2014. godine zajednica dijatomeja u potpunosti

izostaje. Promjene relativne učestalosti dominantnih vrsta numerički su prikazane u Tablici 10.

U Tonkovića vrilu dominira vrsta *Achnantheidium minutissimum*. U ožujku i travnju relativna učestalost vrste je iznad 80%, dok u lipnju dolazi do značajnog pada brojnosti pa relativna učestalost iznosi 25%. U srpnju se brojnost vrste povećava (85%), dok u kolovozu i rujnu vrsta dominira s relativnom učestalošću od 40%. Ostale vrste zastupljene na staništu su: *Meridion circulare* sa 12%, *Cocconeis placentula* sa 3% (najveća brojnost u kolovozu), *Staurosirella pinnata* sa 2% (najveća brojnost u travnju), *Planothidium dubium* (Grunow) Round & Bukhtiyarova sa 3% (najveća brojnost u lipnju). Kao i u Majerovom vrilu, dominantna vrsta u lipnju je *Meridion circulare* s relativnom učestalošću od 35%. Slijede ju vrste *Planothidium dubium* (11%), *Achnanthes conspicua* (8%) i *Gomphonema innocens* E. Reichardt (7%). U jesenskim mjesecima vrste sa značajnom zastupljenošću su: *Encyonema ventricosum* (C. Agardh) Grunow (16%), *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot (8%), *Planothidium delicatulum* (Kützing) Round & Bukhtiyarova (4%), *Planothidium dubium* (3%) te *Navicula cryptocephala* Kützing (1%). Najveća brojnost spomenutih vrsta zabilježena je u rujnu. U zimskom razdoblju (ožujak) zastupljene su i vrste roda *Gomphonema* s ukupnom relativnom učestalošću od 11%. Promjene relativne učestalosti dominantnih vrsta numerički su prikazane u Tablici 11.

Tablica 9. Popis vrsta bentičkih dijatomeja (*Bacillariophyceae*) određenih u fitobentosu istraživanih izvora.

	Majerovo vrilo	Tonkovića vrilo
<i>Achnanthes conspicua</i> A.Mayer	+	+
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	+	
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	+	+
<i>Achnantheidium</i> sp. 1 Kützing	+	
<i>Achnantheidium</i> sp. 2 Kützing	+	
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow ex A.Schmidt	+	+
<i>Brachysira</i> sp. Kützing	+	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+
<i>Cyclotella comensis</i> Grunow	+	+
<i>Cymbella lange-bertalotii</i> Krammer	+	
<i>Cymbella dorsenotata</i> Østrup	+	
<i>Cymbella laevis</i> Nägeli	+	
<i>Cymbella parva</i> (W.Smith) Kirchner	+	
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	+	
<i>Diatoma ehrenbergii</i> Kützing	+	+
<i>Diatoma</i> sp. 2 Bory	+	

	Majerovo vrilo	Tonkovića vrilo
<i>Diatoma</i> sp. 1 Bory	+	
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann	+	+
<i>Encyonema ventricosum</i> (C.Agardh) Grunow		+
<i>Encyonopsis cesatii</i> (Rabenhorst) Krammer	+	
<i>Encyonopsis aequaliformis</i> L.Bahls	+	
<i>Fragilaria</i> sp. 1 Lyngbye		+
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières		+
<i>Fragilaria fasciculata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot		+
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	+	+
<i>Gomphonema micropus</i> Kützing	+	+
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot	+	+
<i>Gomphonema</i> spp. Ehrenberg		+
<i>Gomphonema innocens</i> E.Reichardt	+	+
<i>Halamphora thumensis</i> (A.Mayer) Levkov	+	
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	+	+
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing		+
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	+	+
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	+	
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	+	
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	+	
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot		+
<i>Nitzschia</i> sp. 1 Hassall	+	
<i>Nitzschia</i> sp. 2 Hassall		+
<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow	+	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	+	+
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	+	
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova		+
<i>Planothidium dubium</i> (Grunow) Round & Bukhtiyarova	+	+
<i>Planothidium hauckianum</i> (Grunow) Round & Bukhtiyarova	+	+
<i>Planothidium</i> sp. Round & L.Bukhtiyarova, 1996		+
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer		+
<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & J.D.Möller	+	
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round	+	+
<i>Surirella angusta</i> Kützing		+
<i>Surirella subsalsa</i> W.Smith		+
<i>Tabellaria</i> sp. Ehrenberg ex Kützing		+

Tablica 10. Relativna učestalost (%) dominantnih vrsta u Majerovom vrilu tijekom istraživanog razdoblja.

	ožujak	travanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	86	95	0	71	90	97
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	4	0	18	13	7	1
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round	0	1	10	10	1	1
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0	1	4	1	0	1

Tablica 11. Relativna učestalost (%) dominantnih vrsta u Tonkovića vrilu tijekom istraživnog razdoblja.

	ožujak	travanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	81	82	25	85	40	41
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	5	10	35	9	30	10
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	1	1	5	0	6	4
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M. Williams & Round	2	5	2	0	1	0

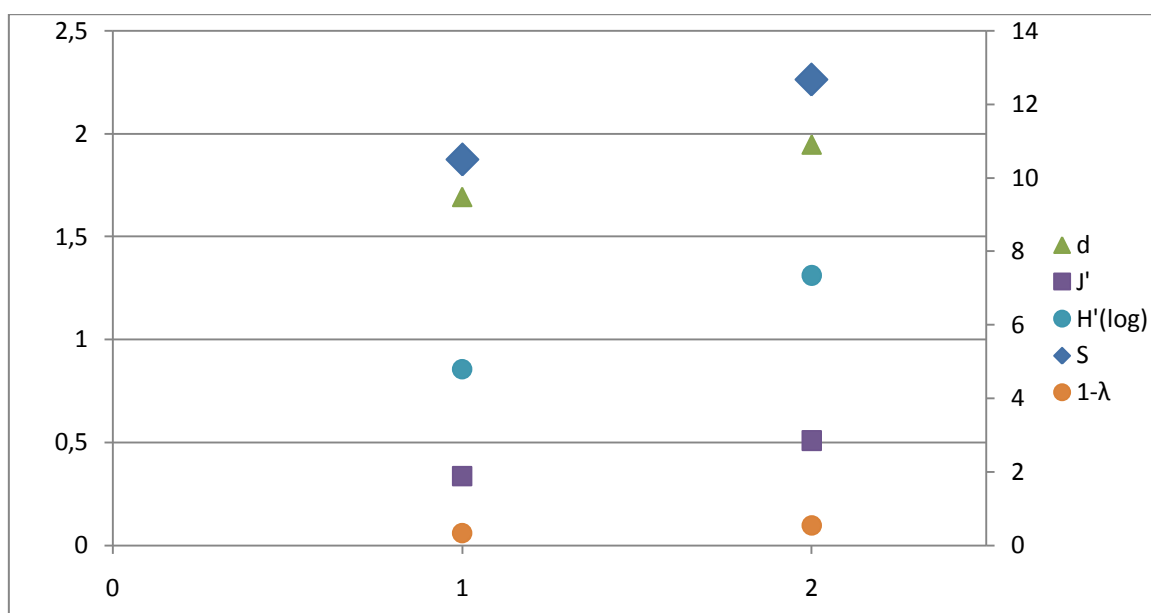
Srednji mjesečni broj vrsta u Majerovom vrilu bio je 10. Broj vrsta kretao se od 7 do 23 (Tablica 12). Najniža brojnost zabilježena je u rujnu, a najviša u lipnju 2014. godine. Najviša vrijednost Margalef-ovog indeksa bogatstva vrsta iznosila je 4,31 (u lipnju), a najmanja 1,00 (u rujnu). Srednja vrijednost Margalef-ovog indeksa bila je 1,69, a Pielou-ovog indeksa ujednačenosti 0,33. Shannon-Wiener-ov indeks raznolikosti, koji je osjetljiv na prisustvo rijetkih vrsta u uzorku, iznosio je između 0,18 (rujan) i 2,60 (lipanj). Srednja vrijednost Simpson-ovog indeksa raznolikosti, na koji utječe broj dominantnih vrsta, bila je 0,33 (Tablica 12). U Tonkovića vrilu srednji mjesečni broj vrsta bio je 12, najveći broj vrsta 17 (u rujnu i kolovozu), a najmanji broj vrsta 7 (u travnju). Margalef-ov indeks bogatstva vrsta, sukladno broju vrsta, bio je najveći u rujnu (2,67), a najmanji u travnju (1,00). Srednja vrijednost Margalef-ovog indeksa bogatstva vrsta bila je 1,94 i Pielou-ovog indeksa ujednačenosti 0,50. Shannon-Wiener-ov indeks raznolikosti iznosio je između 0,71 (u travnju) i 1,81 (u rujnu). Srednja vrijednost Simpson-ovog indeksa bila je 0,54. (Tablica 13). Prema svim ispitanim indeksima raznolikosti Tonkovića vrilo ima veću biološku raznolikost u odnosu na Majerovo vrilo (Slika 13).

Tablica 12. 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 ($1-\lambda$) u Majerovom vrilu u istraživnom razdoblju.

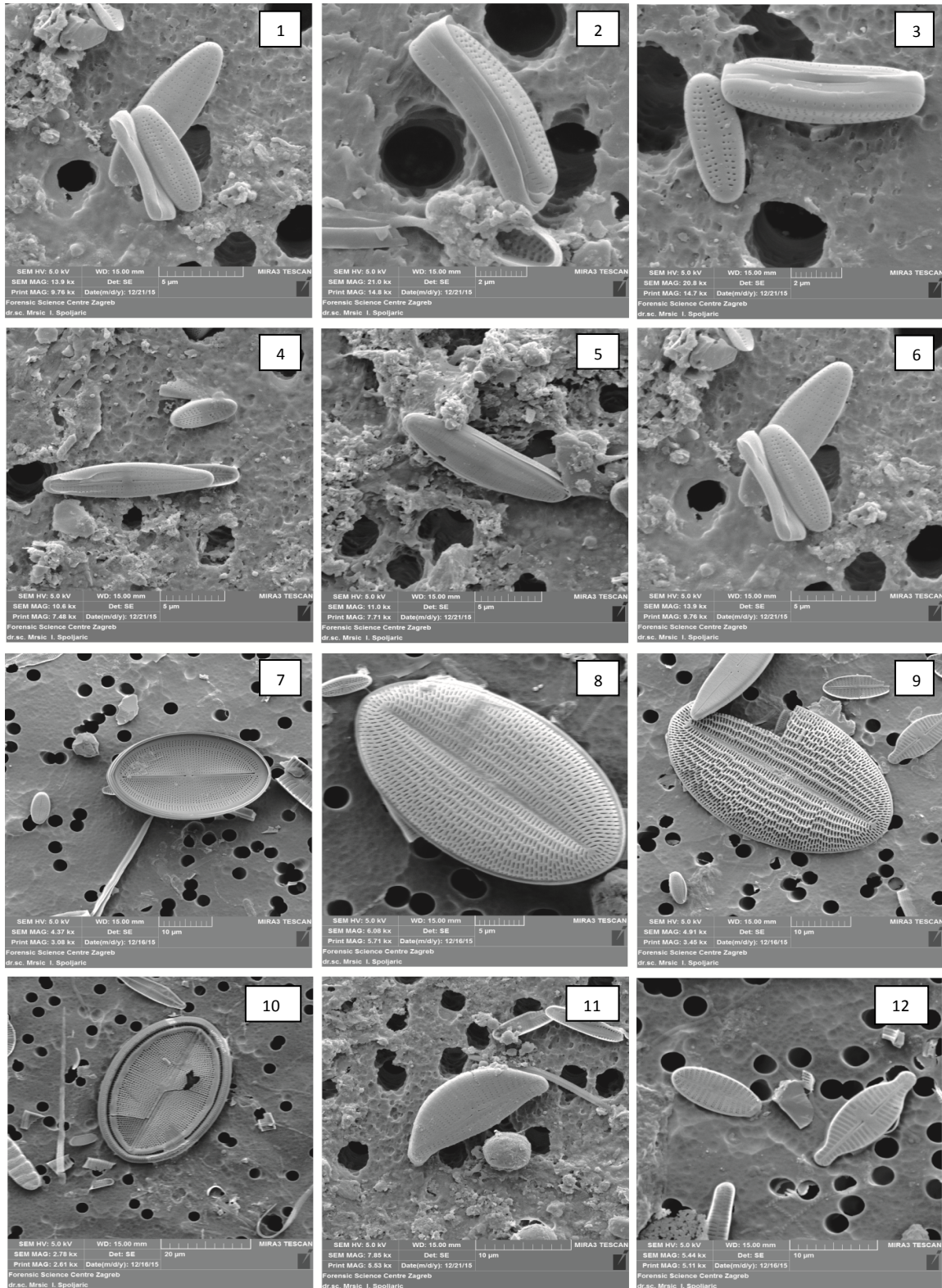
	S	N	d	J'	$H'(\log)$	$1-\lambda$
min.	7	400	1.00	0.09	0.18	0.05
max.	23	164	4.31	0.82	2.60	0.90
sr. vr.	10.5	360	1.69	0.33	0.85	0.33

Tablica 13. 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 ($1-\lambda$) u Tonkovića vrilu u istraživanom razdoblju.

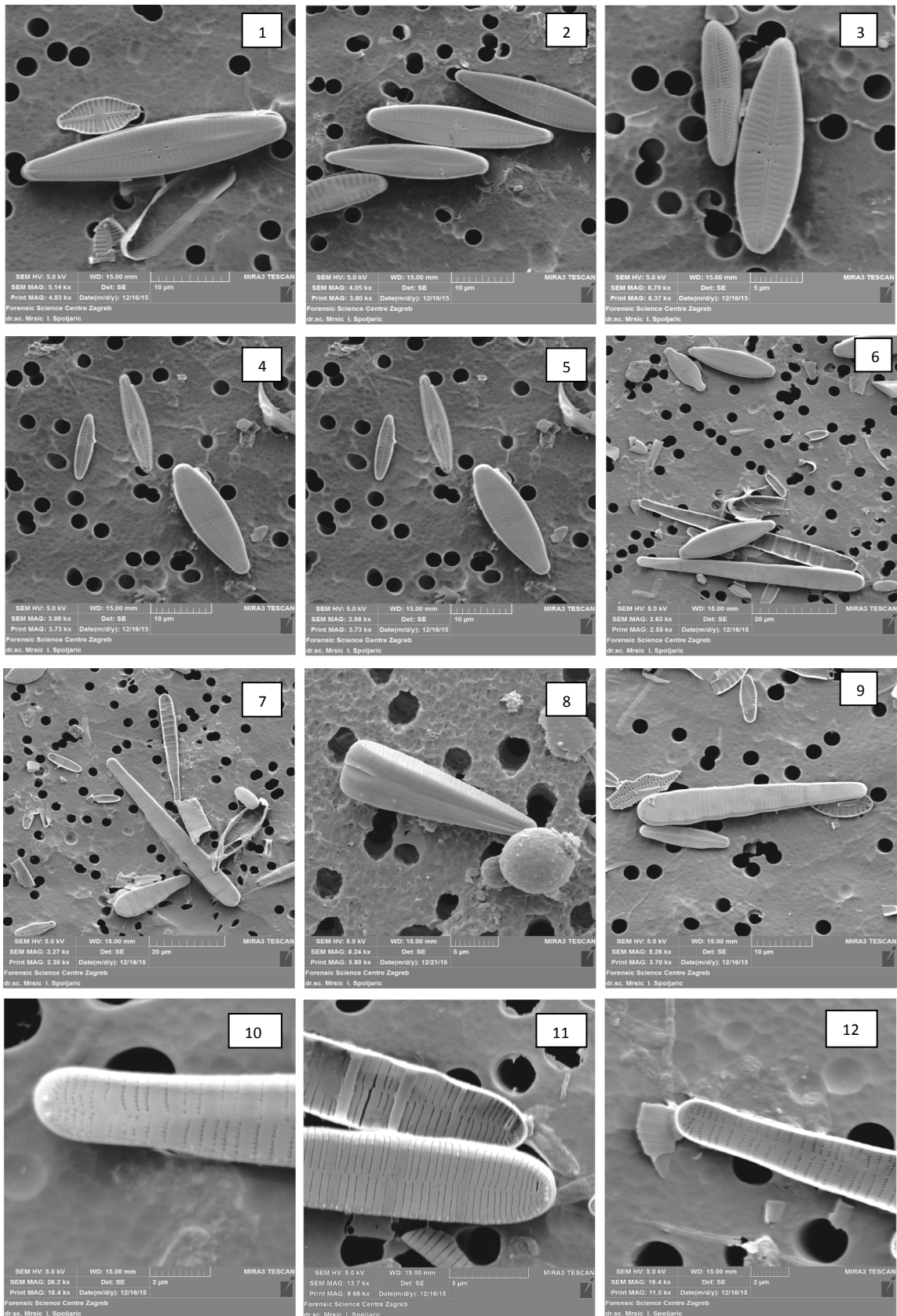
	S	N	d	J'	$H'(\log)$	$1-\lambda$
min.	7	400	1.00	0.36	0.71	0.32
max.	17	400	2.67	0.63	1.81	0.74
sr. vr.	12.66	400	1.94	0.50	1.31	0.54



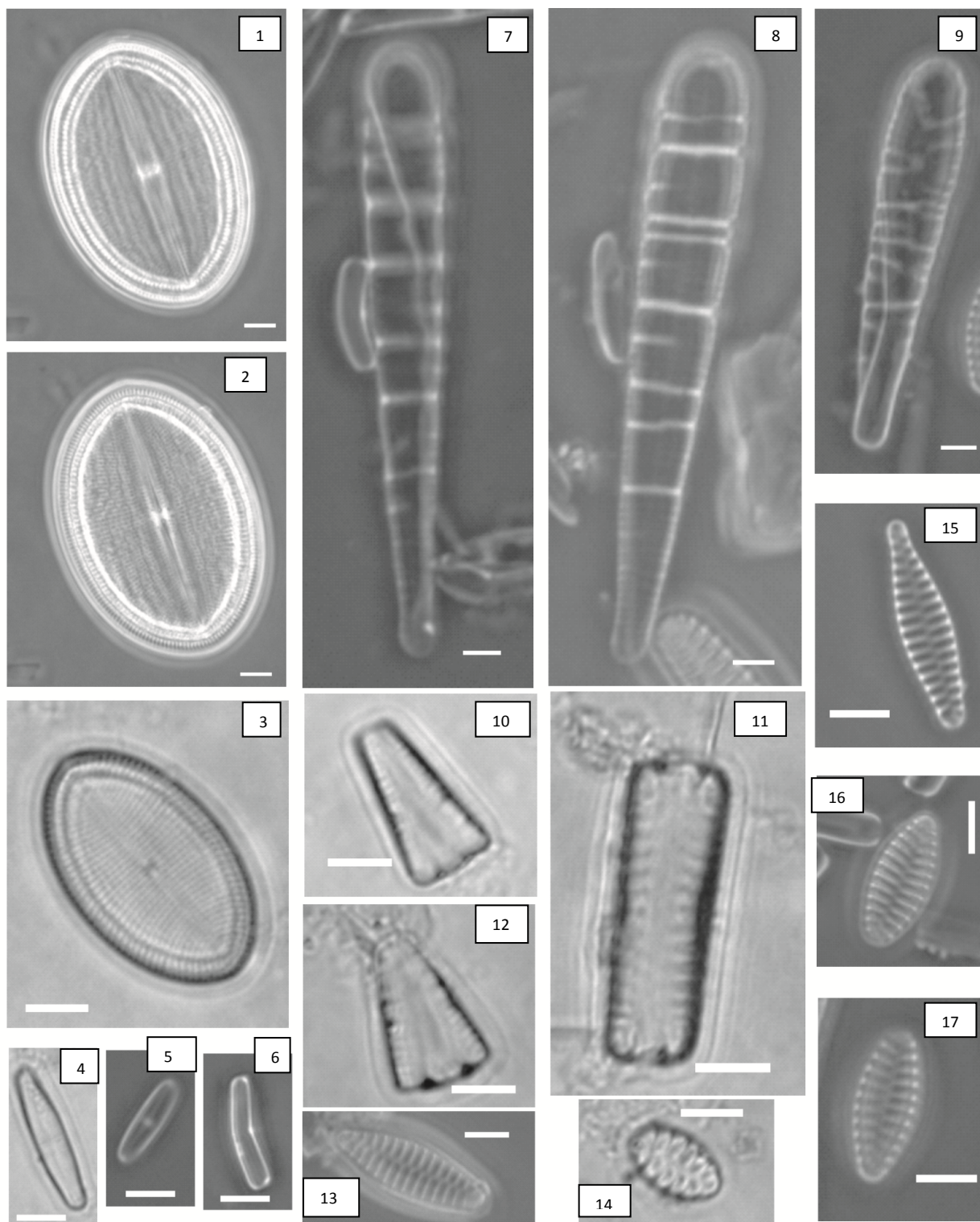
Slika 13. Usporedba biološke raznolikosti Majerovog (1) i Tonkovića vrila (2). S - broj vrsta, d - Margalef-ov indeks bogatstva vrsta, J' - Pielou-ov indeks ujednačenosti, $H'(\log)$ - Shannon-Wiener-ov indeks raznolikosti, $1-\lambda$ - Simpson-ov indeks raznolikosti.



Slika 14. Mikrofotografije (SEM) dominantnih vrsta u Majerovom vrilu. 1–6 *Achnantheidium minutissimum*, 7–10 *Cocconeis placentula* (Tonkovića vrilo) 11 - *Encyonema minutum*, 12–*Fragilaria* sp. 1 (Tonkovića vrilo).



Slika 15. Mikrofotografije (SEM) dominantnih vrsta u Tonkovića vrilu. 1–6 *Gomphonema* spp., 7–12 *Meridion circulare*.



Slika 16. Mikrofotografije (LM, povećanje 1000X) dominantnih vrsta dijatomeja u istraživanim izvorima. 1–3 *Cocconeis placentula*, 4–6 *Achnanthisdium minutissimum*, 7–12 *Meridion circulare*, 13–17 *Staurosirella pinnata*. Mjerna skala = 10 μ m.

3.2.1. Analiza sastava dijatomeja u odnosu na ekološke čimbenike

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

U odnosu na pH reakciju vode (R), 57% vrsta imalo je indikatorske vrijednosti. Analizom učestalosti vrsta utvrđeno je da su u uzorcima u najvećem broju prisutne alkalifilne vrste (60%), zatim slijede cirkumneutralne vrste (26%), alkalibionti (10%) te acidofilne vrste (3%) (Tablica 14).

Tablica 14. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta prema pH vrijednostima (R)

R	organizmi indikatori pH	broj vrsta	%
1	acidobionti - pH < 5,5	0	0
2	acidofili - pH < 7	1	3
3	cirkumneutralni - pH ≈ 7	8	26
4	alkalifili - pH ≥ 7	18	60
5	alkalibionti - pH > 7	3	10
6	pH neosjetljivi	0	0

U odnosu na zasićenje kisikom (O₂), 44% pronađenih vrsta imalo je indikatorske vrijednosti. Najveći broj vrsta (40%) zahtijeva 75-100% zasićenja O₂, dok je oksidofilnih vrsta koje zahtijevaju visoko zasićenje O₂ (100%) ukupno 26%. Isti je i broj vrsta koje dolaze u umjereno oksidiranim staništima (50% O₂), a vrlo mali broj vrsta (ukupno 2) koji podnose nisku vrijednost zasićenja O₂ (Tablica 15).

Tablica 15. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta prema zasićenju kisikom (O₂).

O ₂	zasićenje kisikom	broj vrsta	%
1	konstantno visoka, 100%	6	26
2	prilično visoka, preko 75%	9	40
3	umjerena, oko 50%	6	26
4	niska, oko 30%	2	8
5	vrlo niska, oko 10%	0	0

S obzirom na vlažnost staništa (M), ukupno 48% vrsta imalo je indikatorske vrijednosti. Prema listi indikatorskih vrijednosti po van Dam i sur. (1994), 56% vrsta

nastanjuje vodene ekosustave, ali redovito dolaze i na vlažnim mjestima. Udio vrsta koje uglavnom nastanjuju vodena staništa, a ponekad nastanjuju i vlažna mjesta je 20%, kao i udio vrsta koje su isključivo vezane za vodena staništa (nikad ili vrlo rijetko izvan vode). Jedna vrsta (*Achnanthes conspicua*) dolazi uglavnom na vlažnim mjestima (Tablica 16).

Tablica 16. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta prema vlažnosti (M).

M	opis staništa	broj vrsta	%
1	nikad, ili vrlo rijetko izvan vode	5	20
2	u vodi, ponekad na vlažnim mjestima	5	20
3	u vodi, ali regularno na vlažnim mjestima	14	56
4	na vlažnim mjestima	1	4
5	isključivo izvan vode	0	0

U odnosu na trofiju ekosustava (T), ukupno 57% vrsta pronađenih u uzorcima ima indikatorske vrijednosti. Najveći je broj vrsta eutrofnih staništa (37%), dok su vrste oligo- do eutrofna staništa zastupljene s 27%. Vrste mezotrofnih i hipereutrofnih staništa prisutne su u uzorcima s 11%. Isključivo oligotrofna staništa nastanjuje ukupno 7% vrsta pronađenih u uzorcima, kao i mezo-eutrofna staništa (Tablica 17).

Tablica 17. Klasifikacija indikatorskih vrijednosti vrsta prema trofiji (T).

T	opis staništa	broj vrsta	%
1	oligotrofna	2	7
2	oligo-mezotrofna	0	0
3	mezotrofna	3	11
4	mezo-eutrofna	2	7
5	eutrofna	11	37
6	hipereutrofna	1	11
7	oligo- do eutrofna	8	27

3.2.2. Trofički indeks dijatomeja (TID_{HR}) i saprobni indeks (SI_{HRIS})

Trofički indeks dijatomeja Majerovog vrila ukazuje na dobar ekološki status, odnosno mezotrofano do umjereno eutrofano stanje izvora tijekom svih osam mjeseci istraživanja, izuzev lipnja kad je sustav ocjenjen kao vrlo dobar (oligotrofan do umjereno mezotrofan) (Tablica 18). Vrijednosti trofičkog indeksa kreću se u rasponu od 2,32 do 2,55. Na temelju

trofičkog indeksa, ekološki status Tonkovića vrila u lipnju, kolovozu i rujnu je vrlo dobar (oligotrofan do umjereno mezotrofan), a u ostalim mjesecima dobar (mezotrofan do umjereno eutrofan). TID_{HR} varira u rasponu od 2,07 do 2,51 (Tablica 19). Prema vrijednostima njemačkog trofičkog indeksa po Rott-u (1999) trofički status Majerovog i Tonkovića vrila je eutrofan, s izuzetkom lipnja u Tonkovića vrilu kad je sustav mezo-eutrofan. Zbog specifičnosti hrvatskih vodotoka, procjena ekološkog stanja (ES) u ovom istraživanju temeljena je na prilagođenim graničnim vrijednostima TID_{HR} za hrvatske vodotoke.

Tablica 18. Vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{HR}) u istraživanom razdoblju u Majerovom vrilu.

	ožujak	travanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
TID_{HR}	2,55	2,49	2,32	2,48	2,48	2,50
klase ES	dobro	dobro	vrlo dobro	dobro	dobro	dobro

Tablica 19. Vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{HR}) u istraživanom razdoblju u Tonkovića vrilu.

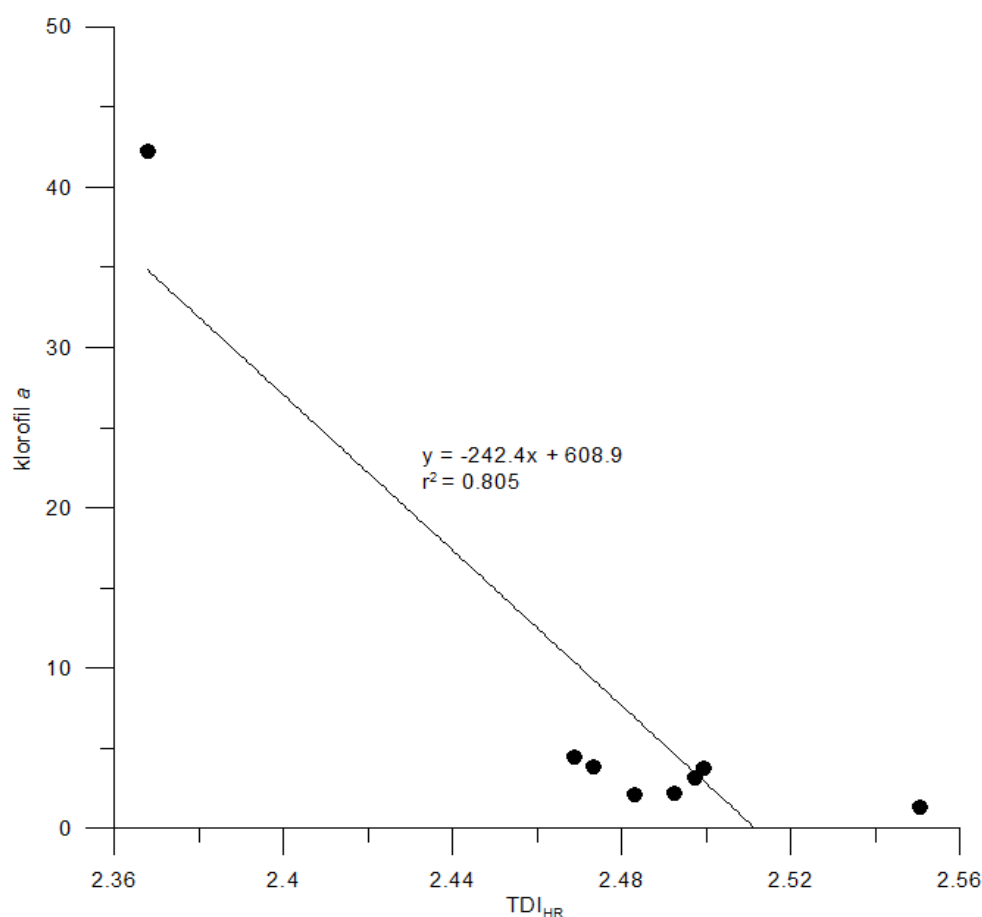
	ožujak	travanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
TID_{HR}	2,47	2,50	2,07	2,47	2,37	2,37
klase ES	dobro	dobro	vrlo dobro	dobro	vrlo dobro	vrlo dobro

Za procjenu ukupnog ekološkog stanja istraživanih izvora izračunata je prosječna vrijednost TID_{HR} za istraživano razdoblje (od ožujka do studenog 2014.). Prosječan trofički indeks za Majerovo vrilo iznosi 2,47 što ukazuje na mezotrofan do umjereno eutrofan trofički status. Sukladno tome, ekološko stanje Majerova vrila klasificirano je kao dobro. Prema prosječnoj vrijednosti trofičkog indeksa (2,38), trofički status Tonkovića vrila je oligotrofan do umjereno mezotrofan, što ukazuje na vrlo dobro ekološko stanje (Tablica 20).

Tablica 20. Prosjek trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{HR}) na istraživanim izvorima s pripadajućom klasom ekološkog statusa (ES).

	TID_{HR}	klase ES
Majerovo vrilo	2.47	dobro
Tonkovića vrilo	2.38	vrlo dobro

Pouzdanost TID_{HR} dodatno je provjerena ispitivanjem odnosa s izmjerenom koncentracijom klorofila *a* (Chl *a*; $\mu\text{g cm}^{-2}$). Dobiven je obrnuto proporcionalan odnos Chl *a* i TID_{HR} (Slika 17). Najveća vrijednost koncentracije Chl *a* izmjerena je u rujnu 2014. godine u Tonkovića vrilu i iznosi $42,22 \mu\text{g cm}^{-2}$, dok u istom razdoblju TID_{HR} ima najnižu vrijednost (2,35). Minimum koncentracije Chl *a* izmjeren je u ožujku na Majerovom vrilu (1,29), dok u istom razdoblju TID_{HR} ima najveću izračunatu vrijednost (2,55) (Tablica 21). Vrijednosti koncentracije Chl *a* korelirane su s TID_{HR} i u ostalim mjesecima uzorkovanja.



Slika 17. Odnos koncentracije klorofila *a* i trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{HR}) na istraživanim izvorima.

Tablica 21. Vrijednosti koncentracije klorofila *a* (Chl *a*) i trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{HR}) s pripadajućom klasom ekološkog statusa (ES).

	Majerovo vrilo		klase ES	Tonkovića vrilo		klase ES
	Chl <i>a</i>	TID _{HR}		Chl <i>a</i>	TID _{HR}	
ožujak	1,29	2,55	dobro	3,80	2,47	dobro
travanj	2,21	2,49	dobro	3,78	2,50	dobro
srpanj	2,08	2,48	dobro	4,48	2,47	dobro
rujan	3,15	2,50	dobro	42,22	2,37	vrlo dobro

Uz trofički indeks dijatomeja izračunat je i saprobni indeks (SI_{HRIS}). Najniža vrijednost SI_{HRIS} (1,83) zabilježena je u Majerovom vrilu u lipnju i na Tonkovića vrilu u kolovozu 2014. godine. Najviša vrijednost saprobnog indeksa je 2,20 u Majerovom vrilu u ožujku, te 2,15 u ožujku i rujnu u Tonkovića vrilu (Tablice 22, 23). Prosječna vrijednost SI_{HRIS} indeksa u Majerovom vrilu je 2,07, a u Tonkovića vrilu 2,04. Vrijednosti SI_{HRIS} ukazuju na o-β-mezosaprobnost do β-mezosaprobnost stanje u svim istraživanim mjesecima na oba izvora.

Tablica 22. Vrijednosti saprobnog indeksa (SI_{HRIS}) u Majerovom vrilu tijekom istraživanog razdoblja.

	ožujak	travanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
SI _{HRIS}	2.20	2.15	1.83	1.99	2.08	2.16

Tablica 23. Vrijednosti saprobnog indeksa (SI_{HRIS}) u Tonkovića vrilu tijekom istraživanog razdoblja.

	ožujak	travanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
SI _{HRIS}	2.15	2.05	1.85	2.07	1.83	2.15

4. RASPRAVA

Iako površinom mali, izvori su zbog svoje morfološke, hidrološke i kemijske raznolikosti važna mikrostaništa za osjetljive, rijetke i endemične vrste (Odum 1957). Stalni izvori predstavljaju staništa za specijalizirane organizme prilagođene na relativno stalne i slabo promjenjive okolišne uvjete (Mogna i sur. 2015). Zajednice algi u izvorištima razlikuju se prema sastavu geološke podloge (npr. na karbonatima i silikatima) i dužini zadržavanja vode, koji u najvećoj mjeri utječu na fizikalno-kemijske čimbenike izvora (Cantonati 1998).

Temperatura podzemne vode koristi se kao prirodni indikator pomoću kojeg se određuje porijeklo podzemne vode, vrijeme zadržavanja podzemne vode u vodonosniku (retencijsko vrijeme) i dinamika izvora (Kamberović 2015). Temperatura vode u izvorima ovisi o godišnjim temperaturama zraka slivnog područja (Lukač Reberski i sur. 2009). Temperatura vode u Tonkovića vrilu (max. 10,1 °C) veća je nego u Majerovom vrilu, sukladno većim izmjerenim temperaturama zraka (max. 30,7 °C). Obzirom da se istraživani izvori nalaze na istim nadmorskim visinama te imaju zajedničko slivno područje, razlike u temperaturi zraka, kao i u temperaturi vode, su male (oko 1 °C).

Zahvaljujući poroznosti stijena vodonosnika i kontakta podzemne vode s atmosferom, izvorska voda je u krškim sustavima vrlo često dobro oksidirana (Cantonati 1998). Tako su koncentracije kisika u istraživanim izvorima poprilično visoke (9,8-15,6 mg L⁻¹). Koncentracije otopljenog kisika u oba istraživana izvora veće su u proljetnim mjesecima kad su temperature vode niže. Obzirom na temperaturnu stabilnost vode u istraživanom razdoblju (razlika između minimalne i maksimalne izmjerene temperature je tek 0,6 °C), koncentracije otopljenog kisika se neznatno razlikuju. Zasićenje kisikom odgovara vrijednostima koncentracije kisika. Izmjerene koncentracije kisika i s tim u vezi niske vrijednosti KPK pokazuju dobro stanje izvorišta.

Provodljivost izvorske vode usko je povezana s topljivošću vodonosnih stijena. Lukač Reberski i sur. (2009) navode kako povećana koncentracija magnezijevih iona u Majerovom vrilu ukazuje na prisustvo dolomita u dubljim dijelovima vodonosnika. Niže vrijednosti provodljivosti vode u Majerovom vrilu (452 μS cm⁻¹) u odnosu na Tonkovića vrilo (502 μS cm⁻¹) rezultat su slabije topljivosti dolomita od vapnenca. Na istraživanim izvorima vrijednosti provodljivosti vode rastu u jesenskim mjesecima, nakon čega postupno opadaju. Nakon niskih ljetnih vodostaja, obilne kiše istalože i ispiru velike količine otopljenih tvari iz tla i epikrške zone povećavajući vrijednosti provodljivosti (Lukač Reberski i sur. 2009). Osim količine oborina, provodljivost ovisi i od temperaturi vode. U razrijeđenoj otopini

temperaturni porast od 1°C uzrokuje povećanje provodljivosti za 2% (HEM, 1985). Premda su u oba izvora prisutne male temperaturne razlike, uočava se porast provodljivosti sukladno porastu temperature vode, pri čemu izvor Tonkovića vrilo zbog viših izmjerenih temperatura vode ima veću provodljivost.

Istraživani izvori pokazuju stabilnu pH vrijednost tijekom godine (7,1-7,6), što ukazuje na visok puferski kapacitet. Obzirom da na pH izvorske vode utječu litološke osobine vodonosnika, Majerovo vrilo ima niže izmjerene pH vrijednosti. Dominantna vrsta u ovom istraživanju, *Achnanthydium minutissimum*, je alkalifilna i cirkumneutralna vrsta (Mogna i sur. 2015), dok subdominantna vrsta *Meridion circulare* nastanjuje vode u rasponu pH od 6,4 do 9,0 (Lowe 1974). Ekološki zahtjevi dominantnih vrsta u skladu su s izmjerenim vrijednostima na istraživanim izvorima.

Visok stupanj mineralizacije vode te odgovarajuće visoke vrijednosti provodljivosti i alkaliniteta rezultat su dobre topljivosti stijena (Cantonati 1998). Izmjerene vrijednosti alkaliniteta na Majerovom i Tonkovića vrilu bile su veće od prosječne vrijednosti karakteristične za krške sustave (~ 180 mg L⁻¹; Gligora 2007). Alkalinitet izvora Tonkovića vrilo veći je u odnosu na Majerovo vrilo, što se može objasniti utjecajem litološke podloge. Obilato izvora vodom, kao i brzina strujanja vode, dostižu maksimum tijekom kišne sezone (u proljeće i jesen), a minimum u zimskom i ljetnom periodu. Sezonske varijacije spomenutih vrijednosti manje su izražene u rijekama na karbonatnoj podlozi, što ukazuje da se izvorišta prihranjuju iz većih vodonosnika (Cantonati 1998). Izmjerene relativno stalne brzine strujanja vode (0,5 ms⁻¹) na Majerovom i Tonkovića vrilu potvrđuju ujednačen godišnji protok vode. Postojanje velikog retencijskog prostora u zaleđu izvorišne zone omogućuje prihranjivanje izvora tijekom cijele godine (Bonacci i Andrić 2008).

Iz PCA analize fizikalno-kemijskih čimbenika vidljivo je kako razlike u fizikalno-kemijskim čimbenicima nisu velike, ali je prisutno jasno grupiranje uzoraka prema staništu. PC1 os pokazuje odvajanje uzoraka prema geološkoj podlozi, gdje su glavne varijable temperatura vode i provodljivost, dok PC2 os odvaja uzorke prema koncentraciji kisika, alkalinitetu i brzini strujanja. Alkalinitet, pH, geološka podloga, provodljivost i temperatura su čimbenici koji utječu na sastav dijatomejske zajednice (Mogna i sur. 2015).

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 Tonkovića vrilu primjećen je povećan broj vrsta i u jesenskom razdoblju (rujan). Dominantna vrsta na istraživanim izvorima, *Achnanthydium minutissimum*, široko je

rasprostranjena vrsta bentičkih zajednica. U Majerovom i Tonkovića vrilu raznolikost vrsta se povećava smanjenjem učestalosti dominantne vrste.

Najveći broj različitih vrsta (23) u Majerovom vrilu prisutan je u lipnju, kada vrsta *Achnanthydium minutissimum* u potpunosti izostaje, što potvrđuje i najveća vrijednost Shannon-Wiener-ovog indeksa raznolikosti (2,60). Realativna učestalost dominantne vrste u lipnju (*Meridion circulare*) iznosi tek 18% što doprinosi većoj biološkoj raznolikosti i pojavi subdominantnih vrsta. Subdominantna vrsta u lipnju je *Cymbella lange-bertalotii* (12%), a koja je tipična potočna vrsta. Cantonati (1998) i Mogna i sur. (2015) pronalaze istu vrstu u reokrenim izvorima, dok su Majerovo i Tonkovića vrilo limnokreni tipovi izvora. Prema Round (1981) flora izvorišta je slična toku koji formiraju. Nasuprot tome, *Diatoma ehrenbergii* Kützing, vrsta tipična za litoralnu zonu jezera, pronađena je u ovom istraživanju kao i u sličnim istraživanim limnokrenim izvorima (Cantonati i Lowe 2004; Mogna i sur. 2015). U istom je uzorku izbrojan znatno manji broj stanica (164), vjerojatno zbog otplavlivanja fitobentoske zajednice uslijed visokog vodostaja i brzog protoka vode. Veća biološka raznolikost zajednice dijatomeja u Tonkovića vrilu prisutna je u lipnju, kolovozu i rujnu, kada se učestalost dominantne vrste *Achnanthydium minutissimum* smanjuje, a što potvrđuje i najveća vrijednost Shannon-Wiener-ovog indeksa raznolikosti za tri spomenuta razdoblja (max. 1,81). Kao i u Majerovom vrilu, staništem tada dominira vrsta *Meridion circulare*. Struktura zajednice dijatomeja krških izvora u južnim Alpama (Cantonati 1998) također je uniformirana s dominacijom vrsta *Achnanthydium minutissimum* i *Meridion circulare*. Strukture zajednica dijatomeja u istraživanim izvorima razlikuju se zbog: 1) različite geološke podloge vodonosnika; 2) razlika u fizikalno-kemijskim čimbenicima; 3) prihranjivanja vodom s različitih nadmorskih visina.

Trofički indeks dijatomeja u Majerovom vrilu ukazuje na mezotrofan do umjereno eutrofan status izvora tijekom svih šest mjeseci istraživanja, izuzev lipnja kad je sustav oligotrofan do umjereno mezotrofan. Srednja vrijednost trofičkog indeksa ukazuje na dobar (mezotrofan do umjereno eutrofan) ekološki status izvora. Trofički status u Tonkovića vrilu u lipnju, kolovozu i rujnu je oligotrofan do umjereno mezotrofan, a u ostalim mjesecima mezotrofan do umjereno eutrofan. Vrijednost trofičkog indeksa najmanja je u lipnju, kolovozu i rujnu zbog velike raznolikosti i brojnosti vrsta, a ekološki status procjenjen kao vrlo dobar. Velika raznolikost vrsta rezultat je umjerenih stabilnih uvjeta koji omogućavaju razvoj velikog broja različitih vrsta u istom vremenskom razdoblju. Srednja vrijednost trofičkog indeksa pokazatelj je vrlo dobrog ekološkog statusa (oligotrofno do umjereno mezotrofno) Tonkovića vrila. Najmanja vrijednost TID_{HR} dobivena je u lipnju (2,07), što ukazuje na vrlo

dobro ekološko stanje. Visoka vrijednost Chl *a* u rujnu posljedica je naglog razvoja cijanobakterijske zajednice, stoga je odnos koncentracije Chl *a* i trofičkog indeksa obrnuto proporcionalan. Prema Rott i sur. (1999) trofički status Majerovog i Tonkovića vrila je eutrofan, s izuzetkom lipnja u Tonkovića vrilu kad je sustav mezo-eutrofan. Uvažavajući razlike i specifičnosti vodotoka u Republici Hrvatskoj, granične vrijednosti trofičkog indeksa (TID_{RH}) su prilagođene pa se tako procjena trofičkog stanja razlikuje od one po Rott i sur. (1999). Ekološko stanje Majerovog i Tonkovića vrila, temeljeno na preporučenim graničnim vrijednostima indeksa TID_{RH}, u ovom istraživanju ocijenjeno je kao dobro, odnosno vrlo dobro. U procjeni ekološkog stanja istraživanih izvora izračunate vrijednosti SI_{HRIS} (0-β-mezosaprobno do β-mezosaprobno) ukazuju na dobro ekološko stanje. Najmanja vrijednosti saprobnog indeksa u Majerovom vrilu je u lipnju (1,87) kad je biološka raznolikost najveća.

S obzirom da se dobiveni rezultati procjene ekološkog stanja izvora razlikuju od očekivanih rezultata gdje je ekološko stanje oba istraživana izvora vrlo dobro, ovim i sličnim istraživanjima (Bosna i Hercegovina, Italija) pokazano je da se granične vrijednosti biotičkih indeksa za procjenu ekološkog stanja izvora trebaju prilagoditi. S tim u vezi, prilagođene indikatorske vrijednosti i težine za pojedine dijatomejske vrste mogle bi se definirati nakon opsežnih istraživanja različitih tipova izvora.

Prema listi indikatorskih vrijednosti (van Dam i sur. 1994), najveći broj vrsta u Majerovom i Tonkovića vrilu su alkalifilne i cirkumneutralne vrste, sukladno izmjerenim pH vrijednostima. Udio vrsta koje zahtijevaju prilično visoku ili konstantno visoku zasićenost kisikom je iznad 66%, što ide u prilog visokim izmjerenim vrijednostima zasićenja kisikom u istraživanim izvorima (iznad 90%). Prema van Dam i sur. (1994) najveći broj vrsta preferira eutrofna staništa, što je u suprotnosti s ocijenjenim trofičkim stanjem Majerovog i Tonkovića vrila. Tako je manji broj vrsta (27%) koje preferiraju oligo- do eutrofna staništa te mezotrofna (11%) kakva su istraživani izvori. *Brachysira* sp. Kützing i *Planothidium hauckianum* (Grunow) Round & Bukhtiyarova, vrste koje zahtijevaju oligotrofna staništa, pronađene su u lipnju u Majerovu vrilu te u lipnju i kolovozu u Tonkovića vrilu kad je ekološko stanje izvora ocijenjeno kao vrlo dobro.

Na osnovu analize fitobentosa kao biološkog pokazatelja kakvoće vode te izračuna dva nezavisna multimetrička dijatomejska indeksa, ekološko stanje dvaju istraživanih izvora je ocijenjeno kao dobro. Međutim, postoje indicije da je sustav dijelom i pod utjecajem eutrofikacije. Smanjenje antropogenog utjecaja, monitoring te očuvanje izvorišnih staništa trebali bi biti ciljevi u sprječavanju procesa eutrofikacije Majerovog i Tonkovića vrila.

Obzirom na heterogenost krških sustava, provedba zaštite izvorišnih staništa morala bi obuhvatiti šire geografsko područje.

5. ZAKLJUČAK

- U ukupno 12 uzoraka na 2 istraživana izvora determinirane su 52 vrste dijatomeja (*Bacillariophyceae*).
- Dominantne vrste u oba izvora su: *Achnantheidium minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Meridion circulare* i *Staurosirella pinnata*
- Struktura zajednica dijatomeja dvaju izvora karakteristična je za karbonatne izvore, relativno uniformirana s dominacijom dviju vrsta *Achnantheidium minutissimum*, *Meridion circulare*.
- Sezonske promjene u strukturi dijatomejskih zajednica u istraživanim izvorima nisu jako izražene, ali je raznolikost vrsta veća u kasno proljeće i rano ljeto kad je niža relativna učestalost dominantnih vrsta. Povećana bioraznolikost u Tonkovića vrilu je i u jesenskom razdoblju.
- Biološka raznolikost zajednice dijatomeja u Tonkovića vrilu je veća nego u Majerovom vrilu.
- Fizikalno-kemijski čimbenici koji utječu na sastav dijatomske zajednice su: pH, alkalinitet, provodljivost i brzina strujanja vode.
- Alkalinitet i provodljivost vode u Majerovu vrilu manji su nego u Tonkovića vrilu zbog utjecaja dolomitne podloge u dubljim djelovima vodonosnika.
- Najveći broj determiniranih dijatomeja prema indikatorskim vrijednostima preuzetih od van Dam i sur. (1994) su alkalifilne i cirkumneutralne vrste, oksifilne, vrste koje nastanjuju vodene ekosustave, ali dolaze i na vlažnim staništima te vrste koje preferiraju eutrofna i oligo- eutrofna staništa.
- Na temelju preporučenih graničnih vrijednosti trofičkog indeksa dijatomeja (TID_{RH}), ekološko stanje Majerovog vrila ocijenjeno je kao dobro, dok je ekološko stanje Tonkovića vrila vrlo dobro.
- Saprobni indeks (SI_{HRIS}), izračunat po saprobnim vrijednostima prema Hrvatskom indikatorskom sustavu HRIS, ocjenjuje ekološko stanje Majerovog i Tonkovića vrila kao dobro (o- β -mezosaprobno do β -mezosaprobno).

6. LITERATURA

- Azim, M.E., Beveridge, M.C.M., van Dam, A.A., Verdegem, M.C.J. (2005): *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. CABI Publishing.
- American Public Health Association APHA (1995): *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater*. 19th edition, APHA, Washington.
- Bojić, D., Mandić, M., Roller-Lutz, Z., Lutz, H., Kapelj, S., Horvatinčić, N., Krajcar-Bronić, I., Sironić, A. (2007): Isotopic composition of spring waters from Croatian karst regions: Gacka river area. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* 52 (1): 9.
- Bonacci, O. (1987): *Karst Hydrology with Special Reference to the Dinaric Karst*. Springer-Verlag-Berlin-Heidelberg, 9/4, 328-338.
- Bonacci, O., Andrić, I. (2008): Sinking karst rivers hydrology: Case of the Lika and Gacka (Croatia). *Acta Carsologica* 37/2-3, 185-196, POSTOJNA 2008.
- Cantonati, M. (1998): Diatom communities of spring in the southern Alps. *Diatom Research* (1998) Voluen 13 (2), 201-220.
- Cantonati, M., Lowe, R.L. (2014): Lake benthic algae: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science* 33, 475-486.
- Delgado, C., Perdo, I., Gracia, L. (2012): Diatom communities as indicators of ecological status in Mediterranean temporary streams (Balearic Island, Spain). *Ecological Indicators* 15 (2012) 131-139.
- Delgado, C., Ector, L., Novais, M.H., Blanco, S., Hoffmann, L., Pardo, I. (2013): Epilithic diatoms of springs and spring-fed streams in Majorca Island (Spain) with the description of a new diatom species *Cymbopleura margalefii* sp.nov. *Fottea, Olomouc*, 13 (2): 87-104.
- Gligora, M. (2007): *Sukcesije funkcionalnih grupa fitoplanktona u polimiktičnim krškim jezerima*. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- 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.
- Hem, J., D. (1984): *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. U.S Geological Survey Water-Supply Paper 2254.

- Jelić, D., Špelić, I., Žutinić, P. (2016): Introduced species community over-dominates endemic ichthyofauna of high Lika plateau (Central Croatia) over a 100 year period. U postupku objave.
- John, J. (2012): A beginner's guide for diatoms. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel, Liechtenstein.
- Kaczmarska, I., Beaton, M., Benoit, A.C., Medlin, L.K. (2006): Molecular phylogeny of selected members of the order Thalassiosirales (Bacillariophyta) and evolution of the fulcristriata. *Journal of Phycology* 42: 121–138.
- 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.
- Kamberović, J. (2015): Struktura i sezonska dinamika krenonskih zajednica algi i vodenog bilja na području planine Konjuh, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Tuzli, Tuzla.
- 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.
- Li, C.W., Volcani, B.E. (1987): Four new apochlorotic diatoms. *Journal of Phycology* 22: 375-382.
- 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.
- Lukač Reberski, J. (2008): Hydrogeological and hydrogeochemical basis for the Gacka river catchment area and protection of its springs. *Croatian scientific bibliography*.
- 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.
- Norris, R.H., Barbour, M.T. (2009): Bioassessment of Aquatic Ecosystem, Pollution and Remediation. Elsevier Inc.

- Norris, R.H., Thoms, M.C. (1999): What is river health?, *Freshwater Biology*, Volume 41, Issue 2, 197-209.
- Nusch, E.A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. *Archiv für Hydrobiologie* 14: 14–36.
- Odum, H. T. (1957): Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. *Ecological Monographs* 27: 55-112.
- Ollis, D.J., Dallas, H.F., Esler, K.J., Boucher, C. (2016): Bioassessment of the ecological integrity of river ecosystems using aquatic macroinvertebrates: an overview with a focus on South Africa. *African Journal of Aquatic Science* 31(2): 205–227.
- Pasarić, A. (2007): Sukcesivni razvoj pričvršćenih dijatomeja u estuariju Omble. Diplomski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Pejnović, D. (1991): Režim tekućica kao indikator općih hidrogeografskih obilježja Like. *Geografski glasnik* 53, 41-56.
- 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.
- Pouličková, A., Hašler, P., Lysakova, M., Spears, B. (2008): The ecology of freshwater epipellic algae: an update. *Phycologia*, Volume 47 (5), 437–450.
- Primc Habdija, B., Kerovec, M. i sur. (2003): Biološka valorizacija voda - Metode i indikatorski sustav HRIS. Biološki odsjek PMF-a, Zagreb.
- Primc Habdija, B., Kerovec, M. (2005): Biološka valorizacija voda - Studija II: Primjena hrvatskog indikatorskog sustava. Biološki odsjek PMF-a, Zagreb.
- 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. (1981): Some aspects of the origins of diatoms and their subsequent evolution. *BioSystems*, 14: 483-486.
- Round, F.E., Crawford R.M., Mann D.G. (1990): *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Shannon, C. E. (1948): A mathematical theory of communication. Bell System Tehnical Jurnal 27, 37-42.
- 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.
- Vilmi, A., Karjalainenc, S.M., Seppo Hellstenc, S., Heinoa J. (2015): Bioassessment in a metacommunity context: Are diatom communities structured solely by species sorting? Ecological Indicators 62 (2016) 86–94, 2015, Elsevier Ltd.
- Vorosmarti, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Reidy Liermann, C., Davies, P.M. (2010): Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, doi:10.1038/nature09440.
- 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, 13.12.2015.

URL 2. Algaebase, <http://www.algaebase.org/>, 13.12.2015.

URL 3. European Diatom Database, <http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>, 13.12.2015.

URL 4. FIU: Florida International University, <http://www.fiu.edu/>, 25.01.2016.

URL 5. Rijeke Hrvatske, http://www.crorivers.com/popis-rijeka_gacka.php, 26.01.2016.

URL 6. Cro-eu.com, <http://www.cro-eu.com/forum/index.php?topic=665.0>, 25.01.2016.

URL 7. Sjeverni Velebit, <http://www.np-sjeverni-velebit.hr/>, 25.01.2014.

URL 8. Panoramio.com, <http://www.panoramio.com/photo/21448943>, 25.01.2016.

URL 9. Hrvatske vode, Metodologija, <http://www.voda.hr/hr/metodologije>, 26.01.2015.

ŽIVOTOPIS

Rođena sam 30. travnja 1991. godine u Sinju. Osnovnoškolsko obrazovanje završila sam u O.Š. „Trilj“ u Trilju. Nakon završene Franjevačke klasične gimnazije u Sinju, upisala sam preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Sveučilišni prvostupnik postala sam 2013. godine, sa završnim seminarom: „Hidrogeološki odnosi područja rijeke Cetine“. Tijekom diplomskog studija odrađivala sam laboratorijsku praksu u laboratoriju za fiziologiju bilja te u laboratoriju za slatkovodne alge. Sudjelovala sam na radionici „Kultura tkiva dubrovačke zečine (*Centaurea ragusina* L.) u sklopu projekta BioFitoCen, a već nekoliko godina sudjelujem i kao volonter na manifestaciji Noć biologije.