

# Analiza ekološkog stanja Medulinske lokve

---

**Kinkela, Bernarda**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:178553>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2022-12-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



**Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

**Fakultet prirodnih znanosti**

**Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru**

**BERNARDA KINKELA**

**ANALIZA EKOLOŠKOG STANJA MEDULINSKE LOKVE**

Završni rad

**Pula, srpanj 2022.**

**Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

**Fakultet prirodnih znanosti**

**Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru**

**BERNARDA KINKELA**

**ANALIZA EKOLOŠKOG STANJA MEDULINSKE LOKVE**

Završni rad

**JMBAG: 0303089821**

**Studijski smjer: Znanost o moru**

**Predmet: Molekularna toksikologija i ekotoksikologija**

**Mentor: doc. dr. sc. Petra Burić**

**Komentor: dr. sc. Neven Iveša**

**Pula, srpanj 2022.**



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana BERNARDA KINKELA, kandidatkinja za prvostupnicu ZNANOSTI O MORU ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Studentica: Bernarda Kinkela

---

U Puli, 15. srpanj 2022. godine.



## **IZJAVA**

### **o korištenju autorskog djela**

Ja, BERNARDA KINKELA dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom „Analiza ekološkog stanja Medulinske lokve“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 15. srpanj 2022. godine

Potpis \_\_\_\_\_

## ZAHVALA

Od srca zahvaljujem svojoj mentorici i profesorici doc. dr. sc. Petri Burić na pristupačnosti, savjetima i pomoći tijekom pisanja završnoga rada.

Zahvaljujem se komentoru dr. sc. Nevenu Iveši na prenesenom znanju te pomoći tijekom terenskog rada.

Zahvaljujem se profesoru doc. dr. sc. Paolu Paliagi na pomoći pri sakupljanju uzoraka, izvođenju laboratorijskog rada te obradi rezultata.

Zahvaljujem se i tvrtki Geogrupa d.o.o. Pula, Zavodu za javno zdravstvo Istarske županije te javnoj ustanovi Natura Histrica na podacima koji su mi pomogli u izradi završnog rada. Posebno se zahvaljujem Općini Medulin na financiranju istraživanja.

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
1.1. Stanište lokvi	1
1.1.1. Medulinska lokva	3
1.2. Parametri analize lokvi	4
1.2.1. Hidrografski uvjeti	4
1.2.2. Klorofil a	5
1.2.3. Mikrobne zajednice	6
1.2.4. Makrofauna lokvi	6
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA</b>	<b>8</b>
<b>3. MATERIJALI I METODE</b>	<b>8</b>
3.1. Geodetska podloga Medulinske lokve	8
3.2. Uzorkovanje	8
3.3. Analiza hidrografskih uvjeta i klorofila	11
3.4. Mikrobiološka analiza	11
3.5. Analiza sedimenta	14
3.6. Analiza makrofaune	14
<b>4. REZULTATI</b>	<b>15</b>
4.1. Određivanje fizikalnih parametara geodetskom metodom	15
4.2. Analiza vode	15
4.3. Analiza mikrobioloških zajednica	18
4.4. Analiza sedimenta	22
4.5. Analiza makrofaune	23
<b>5. RASPRAVA</b>	<b>29</b>
<b>6. ZAKLJUČAK</b>	<b>32</b>
<b>7. LITERATURA</b>	<b>34</b>
<b>8. POPIS SLIKA</b>	<b>37</b>
<b>9. POPIS TABLICA</b>	<b>38</b>
<b>10. SAŽETAK</b>	<b>39</b>
<b>11. SUMMARY</b>	<b>40</b>

## 1. UVOD

### 1.1. Stanište lokvi

Definicija lokve obuhvaća cijeli niz stajaćih slatkovodnih tijela raznolike površine, dubine i porijekla. Globalno lokve predstavljaju izvor slatke vode te 30% ukupne površine slatkovodnih voda stajaćica na Zemlji. To su mala zatvorena vodena staništa čiji su nastanak i porijeklo posljedica klimatskih, hidroloških i geoloških promjena (Zacharias i Zamparas, 2010). Lokve stvaraju veze između postojećih vodenih staništa te omogućuju izmjenu hranjivih tvari i hidrološku regulaciju. Posebno su značajne za krška područja, uključujući obalu, otoke i planine (Céréghino i sur., 2007). Podloga lokvi sastoji se od gline, pijeska ili treseta, a okarakterizirane su kiselošću, prisustvom vegetacijskog pokrova i antropogenim utjecajem. Napajane su kišnicom, a na sadržaj podloge utječu i okolne antropogene aktivnosti. Lokve mogu biti povezane jarcima ili kanalima pri čemu su manje ovisne o donosu kišnice, a kontinuirano su opskrbljene vodom. Osim spomenutog, lokve manje ovise o kišnici i u slučaju kada se napajaju protokom podzemnih voda (Verdonschot, 1992). Jedno od glavnih obilježja lokvi je upravo promjena razine vode koja doseže dva godišnja maksimuma, od kojih je jedan jesenji, a drugi krajem proljeća. Minimumi su prisutni u veljači i kolovozu, što doprinosi i razlikama u temperaturi, količini otopljenog kisika i koncentraciji hranjivih tvari (Brana, 2015).

Lokve se pojavljuju u gotovo svim kopnenim okruženjima. Unatoč svojoj maloj veličini imaju izniman značaj za biološku raznolikost te često pružaju utočište endemskim vrstama biljnog i životinjskog svijeta (Céréghino i sur., 2007). Staništa lokvi se odlikuju jedinstvenim sastavom i visokim značajem za mnoge vrste kopnenih i vodenih vrsta flore i faune (Zacharias i Zamparas, 2010). Kopnene vode su oštro izolirane i plitke te stoga imaju specifičan kemijski sastav u kojem dominiraju karbonati i sulfati. Koncentracija soli u kopnenim vodama je 100 puta manja od one u moru (Kerovec, 1988).

Priobalni pojas lokvi i jezera je karakteriziran trstikom i šašom s obiljem organskog materijala. Od životinja se tu najčešće mogu vidjeti žabe, zmije, kornjače, vodene ptice, puževi, ličinke i odrasli kukci. U pojasu plutajuće vegetacije mogu se pronaći lokvanj (*Nuphar lutea*), lopoč (*Nymphaea spp.*), vodeni orašac (*Trapa natans*) i plutajuće biljke poput leće (*Lemna minor*) i vodene paprati (*Salvinia natans*). Submerzna vegetacija je zaslužna za intenzivnu fotosintezu, a zbog obilja hrane tamo su prisutne i kornjače, maločetinaši, mekušci, rakovi i ribe (Kerovec, 1988). Dobra izolacijska zona u okolini lokve je izuzetno važna zbog



njihove zaštite, ali također predstavlja bitan dio životnog prostora za mnoge vodene životinje koje dio života provode na kopnu. U lokvama i oko njih obitavaju higrofilne i hidrofilne biljke, a većina vrsta koje ondje obitavaju nalazi se na popisu ugroženih ili zaštićenih vrsta. Prijetnju biološkoj raznolikosti u lokvama predstavlja unos alohtonih vrsta koje mogu značajno negativno utjecati na postojeći ekosustav i poremetiti odnose u hranidbenoj mreži. Najčešća alohtona vrsta biljke je lopoč (*Nymphaea sp.*) koji umanjuje prodor svjetlosti u vodu čime se negativno utječe na populaciju fitoplanktona koja predstavlja temelj trofičke piramide. Njihov nedostatak dovodi do neefikasne izmjene plinova između vode i zraka (Brana, 2015). Većina biljaka predstavlja domaćina posebnim skupinama kukaca kao što su leptiri (*Lepidoptera*) i kornjaši (*Coleoptera*), ali i skupinama poput gmazova (*Reptilia*) i drugih vrsta koje na tom području ne bi mogle opstati bez vode (Ozimec, 2008).

Prema kvaliteti vode lokve se dijele na oligotrofne, mezotrofne i eutrofne (Ozimec, 2008). Oligotrofna vodena tijela imaju nisku relativnu produktivnost te nisku koncentraciju hranjivih tvari, dok su mezotrofna karakterizirana srednjom razinom produktivnosti. Eutrofna vodena tijela imaju najveću količinu hranjivih tvari poput fosfora i dušika, što pogoduje rastu flore i razmnožavanju faune. Prirodno i antropogeno povećanje količine hranjivih tvari posljedično dovodi do eutrofikacije. Stupnjevi trofije utječu i na dubinske granice makrofita te na prozirnost (NN, 2015). Jedan od takvih fenomena povećane eutrofikacije prisutan je u Trakošćanskom jezeru koje je nedavno sanirano zbog intenzivnog rasta algi. Smanjenjem koncentracije kisika nestale su životinjske vrste, a vodeni ekosustav postao je tamnozelen i smeđ (Jutarnji list, 2022).

Slatkovodna vodena tijela imaju ključnu ulogu u uklanjanju onečišćujućih tvari iz vode, u sekvestraciji ugljika te u stvaranju ekoloških mreža, čime osiguravaju povezanost između različitih okruženja. Nadalje, lokve imaju i visoku znanstvenu i obrazovnu vrijednost, a važne su i u društveno-ekonomskom pogledu. Unatoč tome, lokve su danas najugroženiji vodeni ekosustav kojem se sa zakonodavnog i političkog gledišta posvećuje premalo pažnje. Program praćenja Okvirne direktive o vodama EU-a ne predviđa nikakvu vrstu djelovanja za vodene ekosustave s površinom manjom od 50 ha (Ruocco, 2017).

Za efikasno provođenje restauracije lokvi i jezera prvobitno se utvrđuju kriteriji koje je potrebno ostvariti. Zaštiti lokvi može se doprinijeti uklanjanjem određenih vrsta koje uzrokuju zamućenje vode, nadziranjem brojnosti nepoželjnih vrsta i prekomjernog rasta makrofita,

poboljšanjem okruženja za ugrožene i endemične vrste te sprječavanjem hipoksije i anoksije. Hipoksija je stanje smanjene koncentracije kisika, dok je anoksija stanje potpunog nedostatka kisika. Najčešće nastaju kao posljedica prekomjerne razgradnje organske tvari i raslojavanja vodenog stupca (Moss i sur., 1996).

### **1.1.1. Medulinska lokva**

Unutar ekološke mreže Natura 2000 Republike Hrvatske opisane su mediteranske povremene lokve kao prioritetna staništa za zaštitu. Lokve su u prošlosti bile korištene uglavnom u poljoprivredne svrhe, no danas je mnoštvo istarskih lokvi obraslo ili presušilo. Procjenjuje se da je 1970. godine u Istri postojalo više od 2000 lokvi, dok ih je danas ostalo upola manje (Brana, 2015).

Medulinska lokva je permanentna stajaćica koja se nalazi na jugozapadnom dijelu općine Medulin istarskog poluotoka. Prvi zapisi o lokvi datiraju iz 1563. godine, kada je kanalom bila povezana s morem. U starim zapisima nazivi lokve navedeni su kao „Regi bara“ i kao „Medulinska stara lokva“. Međutim, danas se mještani koriste nazivom „Medulinska lokva“, dijelom i radi Facebook grupe čiji je osnivač mještанин Medulina, gospodin Kristijan Siladić. Grupa danas broji više od 2 200 članova. Lokva je kroz povijest imala značajnu ulogu u stočarstvu i poljoprivredi, a danas posjeduje estetske i rekreacijske vrijednosti za stanovnike i posjetitelje Medulina. Nalazi se na nižoj nadmorskoj visini od okoline, a okružena je zelenom površinom koju čine travnjak i drveće (Slika 1). Oblik doline u kojoj se lokva nalazi stvara branu koja reducira utjecaj okolnih prometnica i naselja. Geomorfološke karakteristike sredine određuju kemijske parametre vode koji u konačnici utječu na biološki sastav lokve. Podloga obale lokve se uglavnom sastoji od crvenice, dok su na južnoj i zapadnoj strani vidljivi vapnenac i tragovi sive gline koje doprinose nepropusnosti dna. Crvenica je nastala od ostataka karbonatnih stijena i naslaga lesa djelovanjem klimatskih, glacioeustatičkih i tektonskih promjena. Crvenica se nakuplja u debljim nakupinama na mjestima gdje je tektonika bila jako izražena, te u tanjim nakupinama gdje je tektonika bila blaže izražena (Benac i Durn, 1997).



**Slika 1.** Medulinska lokva slikana sa sjeverozapadne strane.

## **1.2. Parametri analize lokvi**

### **1.2.1. Hidrografski uvjeti**

Ekološko stanje površinskih voda utvrđuje se na temelju praćenja stanja bioloških, hidromorfoloških i fizikalno-kemijskih parametara. Fizikalni i kemijski parametri obuhvaćaju sediment, koncentracije hranjivih tvari, dostupnost svjetla, zasićenje kisikom, pH i temperaturu. Uvjeti u lokvama i jezerima mogu se znatno razlikovati, a pH u slatkovodnim sustavima može varirati u rasponu od 2 do 14. Boja vode u jezerima i lokvama uglavnom potječe od organskog materijala kojeg čine ostaci uginulih biljaka i životinja u različitim fazama raspadanja. Huminske tvari dovode do smanjenja prozirnosti vode, nižih pH vrijednosti, a često i do niže koncentracije kisika (Brönmark i Hansson, 2017). Prozirnost vode ponekad ukazuje i na intenzitet proizvodnje pojedinih ekosustava (Kerovec, 1988).

Nadalje, temperatura je jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na život u lokvama. Tijekom ljeta dolazi do termalne stratifikacije lokvi i jezera zagrijavanjem gornjeg sloja vode koja se ne miješa s donjim slojem hladnije vode. Na rast fitoplanktona u jezerima i lokvama najviše utječu ograničavajuće hranjive tvari kao što su dušik i fosfor. Do cvata algi dolazi prisustvom povećanog unosa dušika i fosfora otpadnim vodama ili otjecanjem s poljoprivrednih površina. Cvjetanje algi može postati jako intenzivno i smanjiti prodiranje svjetlosti u vodu (Fisher, 2017).

### 1.2.2. Klorofil a

Klorofili su zeleni pigmenti koji se nalaze u kloroplastima viših biljaka, algi i citoplazmi fotosintetskih bakterija iz skupina cijanobakterija (*Cyanophyta*) i proklorofita (*Prochlorophyta*). Sastoje od tetrapiralnog prstena i magnezijevog iona (Maxwell i Johnson, 2000). Eutrofizirana vodena tijela pospješuju pojavu cijanobakterijskih cvjetanja (Slika 2) koja su lako vidljiva i na satelitskim snimkama (Kolda, 2018).



**Slika 2.** Cvat cijanobakterija (Znachor, 2015).

Prema Uredbi o standardu kakvoće voda, jedan od načina na koji se donosi ocjena ekološkog stanja temelji se na određivanju biomase fitoplanktona. Ona je indikator antropogenog utjecaja i opterećenja ekosustava hranjivim tvarima, a određuje se mjerenjem koncentracije klorofila fluorimetrijskim metodama (NN, 2015). Fluorimetrijske metode se temelje na interakciji uzorka i elektromagnetskog zračenja valnih duljina u rasponu od 200 nm do 800 nm (Maxwell i Johnson, 2000).

Dakle, konačna ocjena ekološkog stanja lokve određuje se modulom za trofiju mjerenjem koncentracije klorofila a (NN, 2015).

### 1.2.3. Mikrobne zajednice

Mikrobna zajednica uključuje indikatore fekalnog onečišćenja koji se koriste za procjenu sanitarne kvalitete vode. Oni su kvantitativno najznačajnija skupina alohtonih mikroorganizama u vodenim ekosustavima, a uključuju ukupne koliforme, fekalne koliforme i fekalne streptokoke (Krstulović i Šolić, 2006).

Heterotrofni prokarioti uključuju bakterije i arheje kategorije pikoplanktona veličine od 0,2 – 2  $\mu\text{m}$ . Oni su najzastupljenija skupina mikroorganizama vodenih ekosustava čija abundancija iznosi od  $10^3$  do  $10^8$  stanica/mL, a ona ovisi o trofiji specifičnog područja. Heterotrofni nanoflagelati predstavljaju skupinu bičaća veličine nanoplanktona (2 - 20  $\mu\text{m}$ ). Ovisno o prehrani dijele se u *Phytomastigophora* i *Zoomastigophora*. Cijanobakterije su autotrofni prokarioti koji provode fotosintezu, a u tilakoidama sadrže klorofil *a*. Njihova brojnost varira od  $10^2$  do  $10^5$  stanica/mL, a najvažniji predstavnici uključuju rodove *Prochlorococcus* i *Synechococcus* (Krstulović i Šolić, 2006).

### 1.2.4. Makrofauna lokvi

Raznolikost makrofaune ovisi o vrsti lokve, njenim dimenzijama, vrsti dna te okolnim staništima. Makrofaunu lokvi čine ptice, ribe, gmazovi, vodozemci i sisavci poput europskog ježa (*Erinaceus europaeus*) (Slika 3), iako su najbrojniji kukci. Mnoge životinje o lokvi ovise zbog prehrane, dok za vrijeme sušnih razdoblja ona često predstavlja i jedini izvor vode. Najčešće vrste ptica obuhvaćaju gnjurce, patke, vodomare, čigre, guske i čaplje (Slika 4). Među gmazovima je najčešća autohtona vrsta bjelouška (*Natrix natrix*), a uz nju su često zastupljene i barske kornjače (*Emys orbicularis*). Od alohtonih vrsta najčešće su crvenouha kornjača (*Trachemys scripta elegans*) (Slika 5) i akvarijska zlatna ribica (*Carassius auratus auratus*), a nakon nje slijede uklija (*Alburnus alburnus*) i linjak (*Tinca tinca*) (Brana, 2015).



**Slika 3.** Europski jež (*Erinaceus europaeus*).



**Slika 4.** Mala bijela čaplja (*Egretta garzetta*).



**Slika 5.** Crvenouha kornjača (*Trachemys scripta elegans*).

## **2. CILJ ISTRAŽIVANJA**

Cilj ovog istraživanja bila je procjena ekološkog stanja i sanitarnih uvjeta Medulinske lokve kako bi se ona sačuvala te kako bi se u potpunosti iskoristila njena višestruka namjena u vidu rekreacije. Svrha ovoga rada je istaknuti vrijednost ovog vodenog staništa.

## **3. MATERIJALI I METODE**

### **3.1. Geodetska podloga Medulinske lokve**

Geodetska mjerenja lokve odrađena su 14. listopada 2021. godine od strane Geogrupe d.o.o. Pula. Mjerenje je rađeno na nekoliko točaka teleskopskim štapom za prizmu uz gumeni čamac (Slika 6).



**Slika 6.** Geodetsko mjerenje dubine lokve 14. listopada 2021. godine.

### **3.2. Uzorkovanje**

Uzorkovanje je odrađeno u jesen na dane 14. listopada i 10. studenog 2021. godine. Prikupljeni su uzorci za analizu mikrobne zajednice, sanitarne kvalitete vode i sedimenta.

Hidrografski parametri su izmjereni *in situ* prijenosnom sondom, a uzorci vode prikupljeni su na dubini od 10 cm na šest mjernih postaja (Slika 7).



**Slika 7.** Kartografski prikaz postaja uzorkovanja vode i sedimenta.

Uzorci za analizu mikrobne zajednice sakupljeni su i pohranjeni u sterilne staklene boce volumena 1 L te u polietilenske bočice volumena 20 mL. Uzorak je fiksiran dodavanjem 36% formaldehida do završne koncentracije od 2% (Paliaga i sur., 2021).

Hidrografski uvjeti su izmjereni na 5 postaja uz rubove lokve. U središnjem dijelu lokve izmjereni su i u pridnenom sloju na dubini od 1,5 m, a prikupljen je i uzorak vode za analizu i mjerenje koncentracije klorofila (Slika 8).





**Slika 8.** Uzorkovanje vode 10. studenog 2021. godine.

Sediment je prikupljen plastičnim vertikalnim korerom duljine 20 cm. Makrofauna je tijekom prvog uzorkovanja prikupljena povlačenjem jednostruke mreže stajaćice veličine oka na mrežnom tegu 28 mm. Zabilježene su i vrste makrofita koje su popisane u Tablici 1.

**Tablica 1.** Hrvatski i latinski naziv zabilježenih vrsta makrofita.

Naziv skupine	Hrvatski naziv vrste	Latinski naziv vrste
<b>Biljke (<i>Plantae</i>)</b>	Bijeli lopoč	<i>Nymphaea alba</i>
	Divlji mak	<i>Papaver rhoeas</i>
	Rogoz	<i>Typha sp.</i>
	Bijela vrba	<i>Salix alba</i>

### 3.3. Analiza hidrografskih uvjeta i klorofila

Osnovni fizikalno-kemijski parametri poput temperature vode, saliniteta, saturacije kisikom i pH izmjereni su *in situ* uporabom multiparametarske sonde (HANNA instruments). Prozirnost je mjerena Secchi diskom, odnosno bijelom pločom promjera 30 cm koja je konopom spuštana u dubinu. Kada ploča više nije bila vidljiva, dužina konopa predstavljala je dubinu dopiranja svjetla, odnosno prozirnost vode (Kerovec, 1988).

Stakleni filter načinjen od mikrovlakana (GF/F) (Whatman, UK) promjera pora 0,7  $\mu\text{m}$  korišten je za filtraciju 500 mL uzorka vode uporabom vakuum pumpe. Filter je prethodno žaren 4 sata na 400 °C kako bi se uništila potencijalno prisutna organska zagađivala. Uzorak je naknadno skladišten na - 20 °C do daljnje provedbe analize. Klorofil *a* je iz filtera ekstrahiran metanolom (Zavřel i sur., 2015). Dobiveni ekstrakti analizirani su uz pomoć spektrofotometra Shimadzu UV. Na valnoj duljini od 655 nm očitana je apsorpcija svjetlosti pigmentom, a koncentracija klorofila *a* iz apsorpcije je određena izračunom klorofila (Ritchie, 2006).

### 3.4. Mikrobiološka analiza

Lokvu većinom nastanjuju saprofitske bakterije od kojih su neke i patogene (van der Valk, 2006). Uzorci za analizu vode prikupljeni su u sterilne staklene boce te fiksirani 2% -tnom otopinom formaldehida. Uzorci su pohranjeni na 4°C, a zatim je ustanovljena brojnost heterotrofnih prokariota, cijanobakterija i heterotrofnih nanoflagelata. U 2 mL fiksiranog uzorka dodana je fluorescentna DAPI boja (4',6-diamidino-2-fenilindol, konačne koncentracije 1  $\mu\text{g/mL}$ ). Nakon 10 minuta, crni polikarbonatni filteri promjera 25 mm i veličine pora od 0,2  $\mu\text{m}$  (Nuclepore, Whatman, UK) korišteni su za filtraciju obojenih uzoraka. Brojnost heterotrofnih prokariota ustanovljena je korištenjem epifluorescentnog mikroskopa (Leitz Laborlux D) povećanja od 1000 puta (Porter i Feig, 1980). Prebrojano je približno 500 stanica heterotrofnih prokariota po uzorku, dok je konačan broj heterotrofnih prokariota utvrđen razlikom cjelokupnog broja prokariota i cijanobakterija. Njihova abundancija je utvrđena prebrojavanjem približno 100 stanica po uzorku, dok je abundancija od približno 300 stanica cijanobakterija po uzorku određena zelenim svjetlom uz njihovu autofluorescenciju (Slika 9) (Takahashi, Kikuchi, Hara, 1985).



**Slika 9.** Cijanobakterije iz voda medulinske lokve pod epifluorescentnim mikroskopom (autofluorescencija na zelenom svjetlu i povećanje 1000 puta).

Nadalje, analizirani su fekalni streptokoki, fekalni koliformi i brojnost bakterije *Escherichia coli*. Prikupljeni uzorci za ovu vrstu mjerenja su pohranjeni u prijenosnom hladnjaku, dok su u laboratoriju uzorci kvantificirani membranskom filtracijom (WHO, 1994). Korišteni su poduzorci od 100 mL, 10 mL, 1 mL i 0,1 mL koji su naknadno razrijeđeni fosfatnim puferom te filtrirani membranskim filterom promjera 0,45  $\mu\text{m}$ .

Membranski filtri za brojanje bakterije *E. coli* postavljeni su u Petrijeve zdjelice na koliformni kromogeni agar. Nakon 24 sata inkubacije na  $36 \pm 2$  °C, kolonije su poprimile tamnoplavu i ljubičastu boju. Membranski filtri za analizu fekalnih koliforma postavljeni su u Petrijeve zdjelice s „m-Fekal koliform“ agrom. Inkubirani su 24 sata na 44,5 °C, a pobrojane su kolonije plave boje.

Analiza fekalnih streptokoka obavljena je postavljanjem membranskih filtara u Petrijeve zdjelice u kojima se nalazio „Slanetz-Bartley“ agar. Nakon inkubacije u trajanju od 48 sati na 36 °C, kolonije su izrasle u crvenoj boji. Potvrdni test je izvršen postavljanjem filtra crvenih kolonija na agar „Bile-aesculin“ te inkubacijom od 2 sata na 44,5 °C, nakon čega su kolonije poprimile smeđu boju (Slika 10).



**Slika 10.** Izrasle kolonije fekalnih indikatora bakterije *E. coli*, fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na selektivnim hranjivim podlogama nakon inkubacije.

Rezultati svih indikatora izraženi su u broju izraslih kolonija (BIK) u 100 mL vode. Izvršena je usporedba dobivenih koncentracija indikatora sa graničnim vrijednostima navedenim u Prilogu 1. Uredbe o kakvoći voda za kupanje (Tablica 2) (NN, 51/2014).

**Tablica 2.** Standardi za ocjenu kakvoće voda nakon svakog ispitivanja (NN 51/2014).

Pokazatelj	Izvrсна kakvoća	Dobra kakvoća	Metoda ispitivanja
crijevni enterokoki BIK/100 mL)	≤200	≤400	HRN EN ISO 7899-1 ili HRN EN ISO 7899-2
<i>E. coli</i> (BIK/100 mL)	≤500	≤1000	HRN EN ISO 9308-1 ili HRN EN ISO 9308-3

BIK - broj izraslih kolonija

### 3.5. Analiza sedimenta

Sonda za mjerenje redoks potencijala je prvobitno kalibrirana u laboratoriju koristeći dvije točke u posebnom puferu (kinohidronskej redukcijskoj otopini, eng. *quinhydrone redox solution*) pri pH vrijednostima 4 i 7. Vrijednosti redoks potencijala izmjerene su u vodi iznad sedimenta, te u svakom centimetru do dubine od 6 cm. Uzorci sedimenta prikupljeni su sedimentnim vertikalnim korerom u površinskom sloju do 6 cm (Paliaga i sur., 2021).

Uzorci su pohranjeni u plastičnim Falcon tubama od 50 mL u koje je dodano 30 mL filtrirane slatke vode i formaldehid do završne koncentracije od 4%. Zatim je u laboratoriju dodano ulje Surfaktant Polisorbat 80 kako bi se mikroorganizmi odvojili od čestica sedimenta. U 1 mL supernatanta dodana je DAPI boja do završne koncentracije od 5 µg/mL. Nakon 15 minuta ultrasonikacije, uzorak je filtriran kroz crne polikarbonatne filtre (Whatman, Nuclepore, 0,22 µm). Cijanobakterije, heterotrofni prokarioti i nanoflagelati su izbrojani pod povećanjem od 1000 puta na epifluorescentnom mikroskopu, a rezultat je prikazan u koncentraciji stanica/g (Porter i Feig, 1980).

Metoda najvjerojatnijeg broja (MPN) fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka korištena je za utvrđivanje sanitarne kakvoće sedimenta. U fosfatnom puferu razrijeđeno je 5 g uzorka površinskog sloja sedimenta deset puta. Potom je dodano 0,25 mL Surfaktant Polisorbata 80, te su uzorci homogenizirani tri minute u ultrasoničnoj kupelji. Kvantifikacija fekalnih koliforma provedena je testiranjem pet replikata za razrjeđenja od 10 mL, 1 mL i 0,1 mL. Replikati su inokulirani u epruvetama s hranjivom podlogom „Lactose broth“ te inkubirani na 35 °C tijekom 24 sata. Kulture s prisustvom plina su podvrgnute potvrdnom testu na selektivnoj podlozi „MacConkey broth“ te inkubirane na 44,5 °C kroz 24 sata nakon čega je razvijena žuta boja.

Kvantifikacija fekalnih streptokoka je provena na isti način, ali je kao početna podloga korištena „Azide dextrose broth“. Inkubacija je provedena kroz 48 sati na temperaturi od 35 °C, a posljedično je na kulturama bio vidljiv ljubičasti talog i povećani turbiditet. Rezultati su uspoređeni s indeksom metode najvjerojatnijeg broja (WHO, 1994), a koncentracija je prikazana kao MPN/100 g sedimenta.

### 3.6. Analiza makrofaune

Analiza makrofaune je provedena korištenjem gumenjaka kojim smo zaokružili dio lokve povlačenjem jednostruke mreže stajačice veličine oka na mrežnom tegu od 28 mm.

Pritom je dio lokve omeđen mrežom i metodom potega prema obali izvučena je na sprud. Analiza prikupljenih uzoraka faune obavljena je uz pomoć odgovarajućih ključeva nakon vizualne identifikacije. Za popis ostalih vrsta koje su do sad zabilježene na lokvi korištena su usmena priopćenja posjetitelja lokve i informacije prikupljene s Facebook grupe, uz naknadnu provjeru točnosti identificiranih organizama s fotografija ili video materijala.

## **4. REZULTATI**

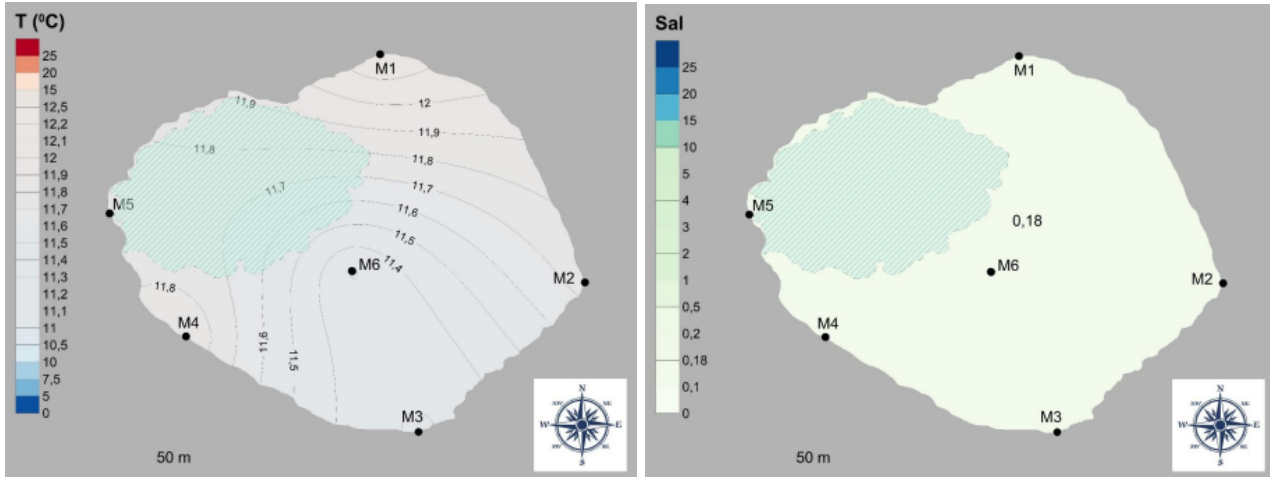
### **4.1. Određivanje fizikalnih parametara geodetskom metodom**

Geodetskim mjerenjem dobivena je dubina lokve koja je do sada bila nepoznata. Dubina na najdubljem dijelu lokve iznosi ~ 160 cm. Volumen vode je na dan 14.10.2021. godine iznosio ~ 2 210 m<sup>3</sup>, iako je prema obrisu maksimalnog dosega vode izračunat volumen od ~ 2 850 m<sup>3</sup>. Osim toga, mjereni su i parametri poput debljine mulja koja iznosi 55 cm i volumena mulja koji je iznosio ~ 738 m<sup>3</sup>. Na zapadnoj strani lokve lopoč prekriva površinu od ~ 470 m<sup>2</sup>.

### **4.2. Analiza vode**

Kvaliteta vodenog ekosustava ovisi o fizikalno-kemijskoj kvaliteti vode kao i o biološkoj raznolikosti sustava. Prosjek temperature površine vode Medulinske lokve iznosio je 11,69 °C, iako treba uzeti u obzir djelovanje vjetra koji je ohladio vodeni stupac. Najviša vrijednost temperature je iznosila 12,2 °C na sjevernom dijelu lokve na postaji M1 koja je izložena suncu, dok je najniža temperatura od 11,28 °C izmjenjena na južnoj strani u blizini postaje M3 koju zasjenjuje vegetacija. U pridnenom sloju je izmjerena temperatura iznosila 10,86 °C.

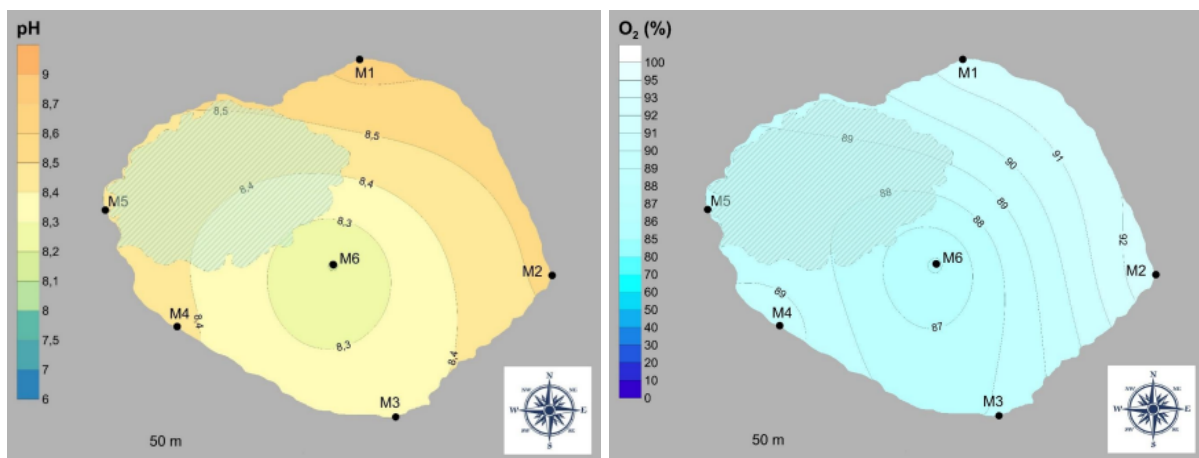
Salinitet je iznosio 0,18 psu na svim postajama na površini i u pridnenom sloju (Slika 11).



**Slika 11.** Raspodjela temperature (lijevo) i saliniteta (desno) u Medulinskoj lokvi.

Izmjerene pH vrijednosti su u prosjeku iznosile  $8,44 \pm 0,15$ . Sjeverni, istočni i zapadni dio lokve pokazuju najlužnatije vrijednosti pH. Najviša razina je izmjerena na postaji M1 (8,65), dok je najniža vrijednost izmjerena na postaji M6 (8,19).

Prosječno zasićenje kisikom površinskih voda lokve iznosilo je  $89,4 \pm 2,6\%$ . Najviše zasićenje kisikom od 93% zabilježeno je na postaji M2, dok je najmanja vrijednost od 85,8% zabilježena na postaji M6. Vrijednosti su bile više na istočnoj strani na kojoj nema pokrovne vegetacije, manje je zasjenjena i prozračenija zbog izloženosti vjetru. Pridneni sloj okarakteriziran je padom primarne proizvodnje i procesima razgradnje organske tvari uslijed čega je i zasićenje kisikom niže (Slika 12).



**Slika 12.** Raspodjela pH vrijednosti (lijevo) i saturacije kisikom (desno) u Medulinskoj lokvi.

Prozirnost i prodiranje svjetla u vodu iznosili su 25 cm, što ukazuje na obogaćenje organskim materijalom (Slika 13). Koncentracija klorofila *a* u površinskim vodama direktan je pokazatelj njegovog trofičkog stanja i daje informaciju o količini algi i njihovoj fotosintetskoj aktivnosti. Koncentracija klorofila *a* Medulinske lokve iznosila je 88 µg/L te je prema graničnim vrijednostima Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/2019) klasificirana kao eutrofna.



**Slika 13.** Prozirnost vode.

Izmjerene vrijednosti parametara prikazane u Tablici 3. se preklapaju s onima dobivenim od strane Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Istarske županije koji je uzorak vode prikupio mjesec dana kasnije, odnosno 12. studenog 2021. godine uz minimalne razlike.



**Tablica 3.** Fizikalno-kemijski parametri izmjereni 14. listopada 2021. godine (Big Blue, NZZJZ).

Parametar	M1	M2	M3	M4	M5	M6 (središte lokve)	M6 (pridneni sloj u središtu lokve)	NZZJZ
Temperatura (°C)	12,2	11,7	11,2	11,9	11,7	11,29	10,86	12
Salinitet (psu)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	/
pH	8,65	8,53	8,39	8,43	8,46	8,19	8,06	7,5
Zasićenje kisikom (%)	91,7	93	88,1	89,6	88,4	85,8	75,5	84

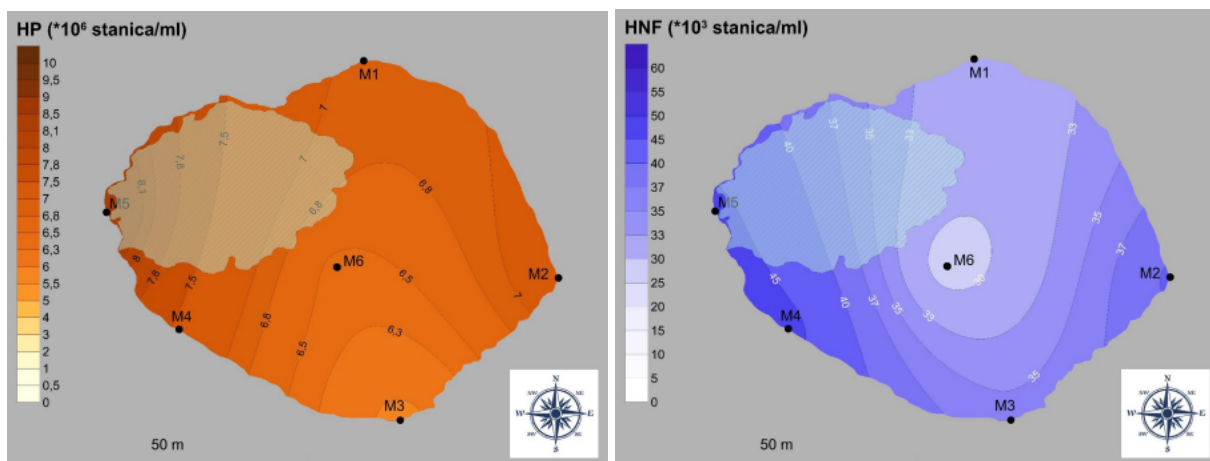
#### 4.3. Analiza mikrobioloških zajednica

Mikrobiološki parametri izmjereni u površinskoj vodi Medulinske lokve ukazuju na povišenu brojnost mikroorganizama, posebice ukupnih i fekalnih koliformnih bakterija poput enterokoka *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Clostridium perfringens*. Povećana brojnost ukazuje na zagađenje uzrokovano otpadnim vodama i prisutnošću domaćih ptica (Paliaga i sur., 2021).

U uzorcima vode Medulinske lokve, **broj heterotrofnih prokariota** bio je u prosjeku jako visok (NZZJZ, 2022). Maksimalna brojnost heterotrofnih prokariota zabilježena je uz zapadni rub lokve na postaji M5 ( $8,435 \cdot 10^6$  stanica/mL), dok su najniže abundancije registrirane su u južnom i središnjem dijelu vodenog tijela ( $5,881 \cdot 10^6$  stanica/mL na M3) (Slika 14).

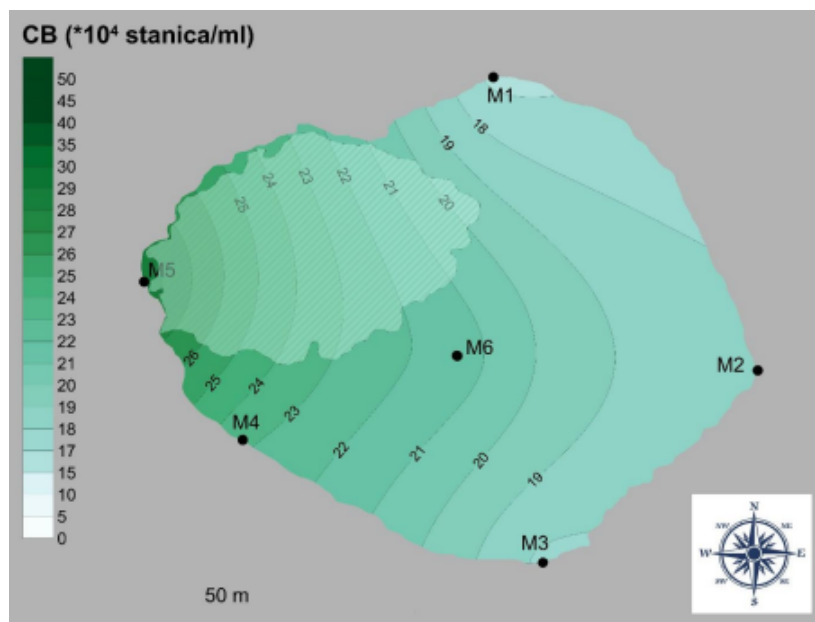
Prosječna **brojnost heterotrofnih nanoflagelata** iznosila je  $38,183 \pm 7,801 \cdot 10^3$  stanica/mL. Na istočnom i na zapadnom dijelu lokve, abundancije heterotrofnih nanoflagelata

su bile najviše, premašivši brojnost od  $46,840 \cdot 10^3$  stanica/mL na postaji M4. Najmanja brojnost iznosila je  $28,180 \cdot 10^3$  stanica/mL, a uočena je na središnjem dijelu lokve na postaji M6 (Slika 14).



**Slika 14.** Raspodjela heterotrofnih prokariota (lijevo) i heterotrofnih nanoflagelata (desno) u Medulinskoj lokvi.

Rasprostranjenost **cijanobakterija** je uglavnom pratila trend porasta s jugoistoka prema sjeverozapadu. Na sjeverozapadu se nalazi zasjenjeni dio lokve, što korelira s većom tolerancijom cijanobakterija na umjerene uvjete osvjetljenja zbog svojih specifičnih fotosintetskih pigmenata u odnosu na ostatak fitoplanktona (Slika 15 i Slika 16).

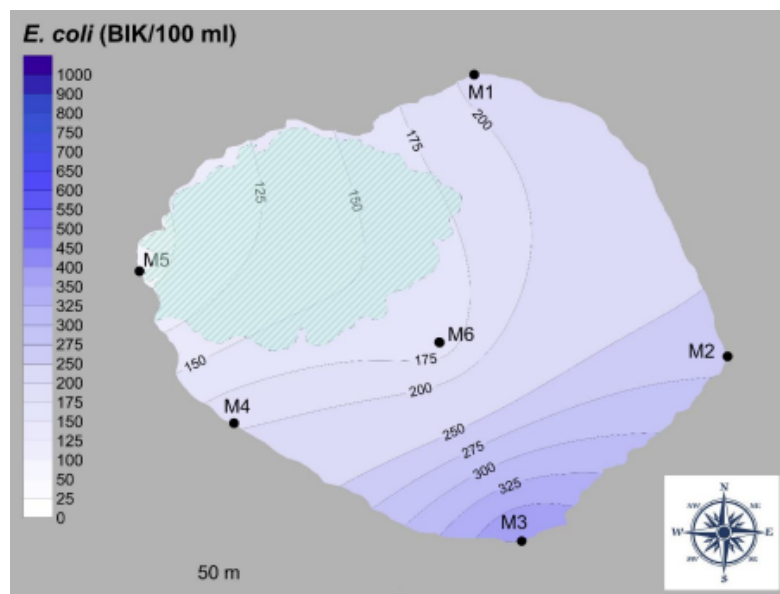


**Slika 15.** Raspodjela cijanobakterija u Medulinskoj lokvi.



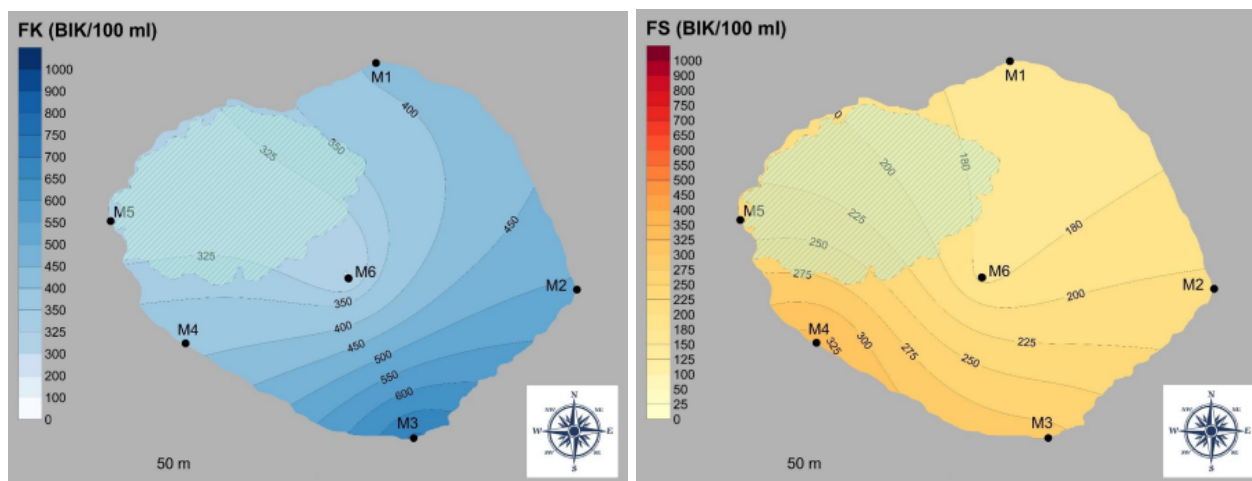
**Slika 16.** Vidljivi znakovi eutrofikacije i cvjetanja cijanobakterija i ostalih algi oko postaje M5.

Izbrojane **koncentracije bakterije *E. coli*** bile su znatno iznad prosjeka na jugoistočnom dijelu kod postaje M3 (386 BIK/100 mL), s brojnošću 4 puta većom u odnosu na postaju M5 (88 BIK/100 mL) na kojoj je izbrojan minimum (Slika 17).



Slika 17. Raspodjela bakterije *E. coli* u Medulinskoj lokvi.

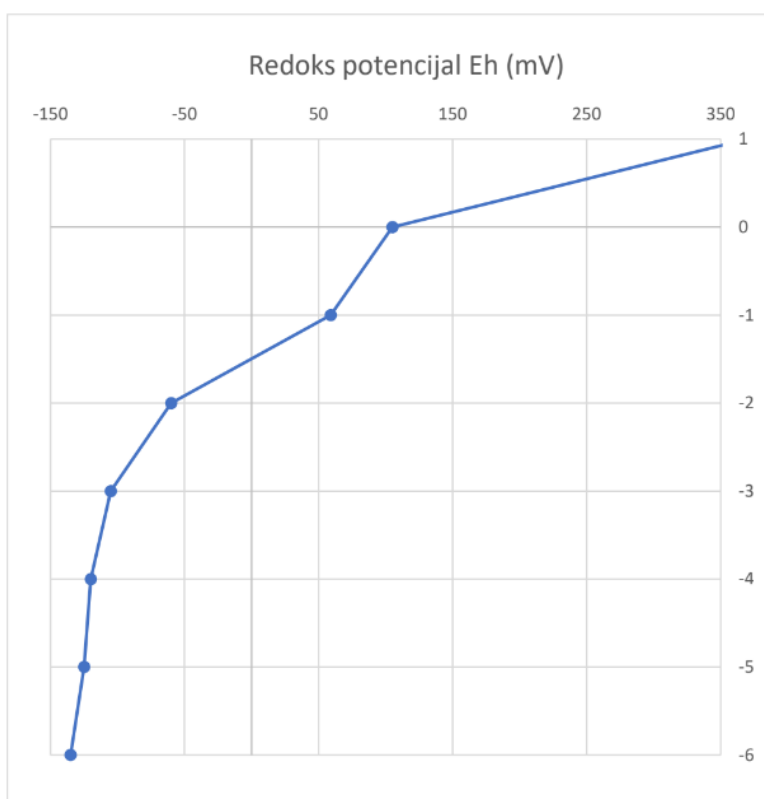
Brojnost fekalnih koliforma iznosila je  $437 \pm 156$  BIK/100 mL te je njihova rasprostranjenost gotovo ista kao i rasprostranjenost *E. coli*. Prosječna koncentracija fekalnih streptokoka iznosila je  $236 \pm 66$  BIK/100 mL (Slika 18).



Slika 18. Raspodjela fekalnih koliforma (desno) i fekalnih streptokoka (lijevo) u Medulinskoj lokvi.

#### 4.4. Analiza sedimenta

Izmjereni redoks potencijal vode iznad sedimenta bio je iznimno visok, što upućuje na prevladavanje oksidativnih i aerobnih uvjeta. Površinski sloj sedimenta dubine od 1 cm imao je pozitivne vrijednosti redoks potencijala sa suboksičnim uvjetima. Nakon dubine od 2 cm redoks potencijal je postepeno počeo poprimiti sve veće negativne vrijednosti u rasponu od -60 do -135 mV (Slika 19).



**Slika 19.** Vertikalni profili (od 0 do 6 cm dubine) redoks potencijala Eh (mV) u sedimentu i vodi neposredno iznad sedimenta Medulinske lokve.

**Tablica 4.** Izmjereni redoks potencijal površinskog sloja sedimenta na dan 14.10.2021. godine.

Dubina (cm)	Redoks potencijal Em (mV)
+ 1	+ 370
0	+ 105

- 1	+ 59
- 2	- 60
- 3	- 105
- 4	- 120
- 5	- 125
- 6	- 135

**Brojnost heterotrofnih prokariota** u sedimentu iznosila je  $29,4 \cdot 10^7$  stanica/g. Iako je vodeni stupac izrazito eutrofan, kompaktnost sedimenta uzrokovala je manju brojnost heterotrofnih prokariota. **Brojnost cijanobakterija** bila je povišena ( $2,1 \cdot 10^6$  stanica/g) zbog njihovog taloženja iz vodenog stupca u sediment gdje dolazi do razmnožavanja. **Vrijednosti heterotrofnih nanoflagelata** bile su standardne s brojnošću od  $5,35 \cdot 10^6$  stanica/g (Paliaga i sur., 2021).

Izmjerene vrijednosti **koncentracija fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka** iznosile su 3650 MPN/100 g i 1360 MPN/100 g, čije su vrijednosti posljedica ispiranja tla i prisustva ptičjeg izmeta (Paliaga i sur., 2021).

#### 4.5. Analiza makrofaune

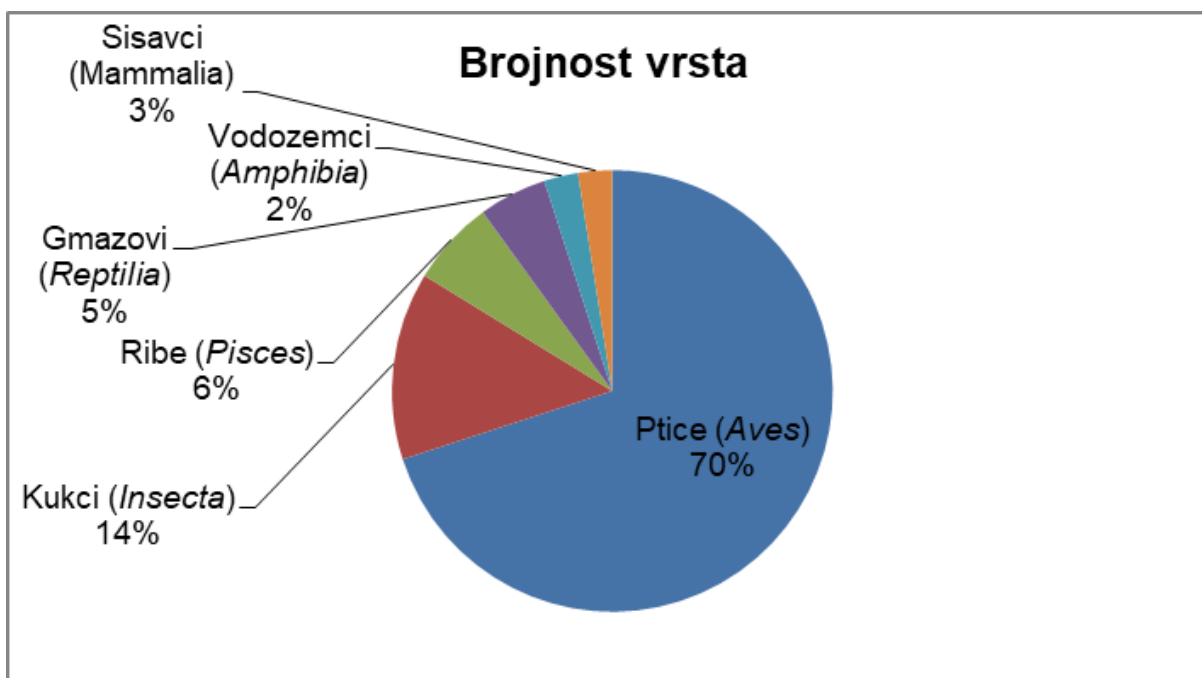
Analizom makrofaune ustanovljena je prisutnost pet vrsta riba (Slika 20) uključujući šarana (*Cyprinus carpio*), soma (*Silurus glanis*), babušku (*Carassius gibelio*), gambuziju (*Gambusia sp.*) i sunčanicu (*Lepomis gibbosus*). Osim soma i šarana, svi ostali pripadnici ihtiofaune pripadaju kategoriji stranih vrsta s izraženom invazivnošću. Zabilježene su vrste gmazova poput invazivne crvenouhe kornjače (*Trachemys scripta elegans*) (Slika 21), barske kornjače, (*Emys orbicularis*), obične čančare (*Testudo hermanni*) te bjelouške (*Natrix natrix*). Osim njih, prisutno je i najmanje 11 vrsta kukaca i 2 vrste vodozemaca, ali najzastupljenija je svakako skupina ptica sa brojnošću od 56 vrsta (Slika 22). Zamijećeni su i sisavci poput europskog ježa (*Erinaceus europaeus*) i riječnog šišmiša (*Myotis daubentonii*). Sve zapažene vrste prikazane su u Tablici 5.



**Slika 20.** Ribe prikupljene mrežom: šaran (*C. carpio*) i babuška (*C. gibelio*).



**Slika 21.** Crvenouha kornjača (*Trachemys scripta elegans*).



**Slika 22.** Brojnost zabilježenih vrsta u Medulinskoj lokvi.

**Tablica 5.** Hrvatski i latinski naziv zabilježenih vrsta faune.

Naziv skupine	Hrvatski naziv vrste	Latinski naziv vrste
<b>Kukci (<i>Insecta</i>)</b>	Sredozemna zelendjevica	<i>Lestes barbarus</i>
	Četveropjega vretence	<i>Libellula quadrimaculata</i>
	Crveni strijelac	<i>Sympetrum sanguineum</i>
	Prugasta konjska smrt	<i>Calopteryx splendens</i>
	Lastin rep	<i>Papilio machaon</i>
	Crveni strijelac	<i>Sympetrum sanguineum</i>
	Vilin konjic	<i>Libellula depressa</i>
	Stršljen	<i>Vespa</i>
	Bubamare	<i>Coccinellidae</i>



	Obična osa	<i>Vespula vulgaris</i>
	Bumbar	<i>Bombus</i>
<b>Vodozemci (<i>Amphibia</i>)</b>	Obična gatalinka	<i>Hyla arborea</i>
	Smeđa krastača	<i>Bufo bufo</i>
<b>Sisavci (<i>Mammalia</i>)</b>	Europski jež	<i>Erinaceus europaeus</i>
	Riječni šišmiš	<i>Myotis daubentonii</i>
<b>Gmazovi (<i>Reptilia</i>)</b>	Crvenouha kornjača	<i>Trachemys scripta elegans</i>
	Bjelouška	<i>Natrix natrix</i>
	Barska kornjača	<i>Emys orbicularis</i>
	Obična čančara	<i>Testudo hermanni</i>
<b>Ribe (<i>Pisces</i>)</b>	Šaran	<i>Cyprinus carpio</i>
	Som	<i>Silurus glanis</i>
	Babuška	<i>Carassius gibelio</i>
	Gambuzija	<i>Gambusia sp.</i>
	Sunčanica	<i>Lepomis gibbosus</i>
<b>Ptice (<i>Aves</i>)</b>	Labudasta guska	<i>Anser cygnoides</i>
	Divlja patka	<i>Anas platyrhynchos</i>
	Vodomar	<i>Alcedo atthis</i>
	Vlastelica	<i>Himantopus himantopus</i>
	Vrana	<i>Corvus corone</i>
	Siva čaplja	<i>Ardea cinerea</i>
	Lastavica pokućarka	<i>Hirundo rustica</i>
	Riječni galeb	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>
	Batokljun	<i>Coccythraustes coccythraustes</i>

	Golub pećinar	<i>Columba livia</i>
	Mala bijela čaplja	<i>Egretta garzetta</i>
	Plavetna sjenica	<i>Parus caeruleus</i>
	Velika mora	<i>Ischnura elegans</i>
	Kos	<i>Turdus merula</i>
	Čvorak	<i>Sturnus vulgaris</i>
	Velika sjenica	<i>Parus major</i>
	Velika bijela čaplja	<i>Egretta alba</i>
	Mošusna patka	<i>Cairina moschata</i>
	Obični vrabac	<i>Passer domesticus</i>
	Snježna čaplja	<i>Egretta thula</i>
	Crna liska	<i>Fulica atra</i>
	Žuta čaplja	<i>Ardeola ralloides</i>
	Svraka	<i>Pica pica</i>
	Obična žutarica	<i>Serinus serinus</i>
	Veliki djetlić	<i>Dendrocopos major</i>
	Veliki vranac	<i>Phalacrocorax carbo</i>
	Pupavac	<i>Upupa epops</i>
	Češljugar	<i>Carduelis carduelis</i>
	Mlakuša	<i>Gallinula chloropus</i>
	Šjuka	<i>Scolopax</i>
	Zelendur	<i>Chloris chloris</i>
	Obični gavran	<i>Corvus corax</i>
	Kulik blatarić	<i>Charadrius hiaticula</i>

	Bijela pastirica	<i>Motacilla alba</i>
	Crvendać	<i>Erithacus rubecula</i>
	Gugutka	<i>Streptopelia decaocto</i>
	Obični zviždak	<i>Phylloscopus collybita</i>
	Piljak	<i>Delichon urbicum</i>
	Čiopa	<i>Apodidae</i>
	Dauriska lastavica	<i>Cecropis daurica</i>
	Žuta pčelarica	<i>Merops apiaster</i>
	Žuta pastirica	<i>Motacilla flava</i>
	Divlja grlica	<i>Streptopelia turtur</i>
	Crnokapa grmuša	<i>Sylvia atricapilla</i>
	Veliki timijanov plavac	<i>Phengaris arion</i>
	Golub grivnjaš	<i>Columba palumbus</i>
	Obični kobac	<i>Accipiter nisus</i>
	Riđa muljača	<i>Limosa lapponica</i>
	Kržulja	<i>Anas crecca</i>
	Gorska pastirica	<i>Motacilla cinerea</i>
	Pacifička crna patka	<i>Anas superciliosa</i>
	Patka lastarka	<i>Anas acuta</i>
	Bregunica	<i>Riparia riparia</i>
	Euroazijska zlatna vuga	<i>Oriolus oriolus</i>
	Škvrlj kriješvar	<i>Pastor roseus</i>
	Šojka	<i>Garrulus glandarius</i>

## 5. RASPRAVA

U ovom je radu ispitano ekološko stanje Medulinske lokve. Lokva je okružena umjereno urbaniziranim naseljem te se nalazi pod umjerenim antropogenim utjecajem. Urbanizacija u okolici lokve intenzivno raste svakim danom. Ekosustav lokve je karakteriziran visokom primarnom proizvodnjom i visokom saturacijom kisika.

Prosjeck **temperature** površine vode Medulinske lokve iznosio je  $11,69 \pm 0,36$  °C što se podudara s vrijednostima izmjerenim u drugim lokvama jugozapadne Istre, iako su vrijednosti sličnije nižim granicama ostalih lokvi. Izmjerena temperatura bila je za  $0,86$  °C niža od prosjeka površinskih voda ostalih lokvi jugozapadne Istre. U usporedbi s ostalim lokvama jugozapadne Istre, najbližnje vrijednosti **saliniteta** su izmjerene na lokvama Greco i Cocaletto u okolici Rovinja, dok su ostale lokve u blizini mora imale više vrijednosti saliniteta u rasponu od  $0,2$  -  $2,7$  psu, kao što je primjerice salinitet za bočatu vodu Paluda tijekom zime iznosio  $\sim 17,6$  psu. Na ostalim lokacijama lokvi u Istri **pH** raspon varira između  $7,3$  -  $9,2$ , dok su vrijednosti izmjerene u Medulinskoj lokvi ( $8,44 \pm 0,15$ ) najbližnje onima zabilježenim u eutrofiziranoj bari Cisterne. Nadalje, vrijednosti pH ovise o procesima proizvodnje i razgradnje organske tvari zbog kojih dolazi do rasta ili pada koncentracije ugljičnog dioksida. U pridnom dijelu lokve smanjena je fotosinteza, a povećana je razgradnja organske tvari što dovodi do rasta koncentracija  $\text{CO}_2$  te je posljedično tome izmjerena pH vrijednost ( $8,06$ ) najniža pri dnu (Paliaga i sur., 2021). Prosječno **zasićenje kisikom** površinskih voda lokve iznosilo je  $89,4 \pm 2,6\%$  što odgovara rasponu vrijednosti ostalih lokvi jugozapadne Istre. **Prozirnost** i prodiranje svjetla u vodu Medulinske lokve ( $25$  cm) se također poklapaju s vrijednostima opisanim u ostalim lokvama ( $15$  -  $69$  cm), iako su bliže nižoj granici. Izmjerene **koncentracije klorofila a** usporedive su s onima izmjerenim u ostalim slatkovodnim vodama stajaćicama jugozapadne Istre. Najviše vrijednosti klorofila a su zabilježene tijekom ljetnog razdoblja u lokvama Pili ( $201,42$  µg/L) i Cocaletto ( $142,05$  µg/L), iako su vrijednosti izmjerene u Medulinskoj lokvi bile najbližnje lokvi Cisterne ( $71,84$  µg/L) (Nikolić, 2021 i Baza podataka CIM-a Rovinj, 2021).

**Analizom mikrobne zajednice** utvrđeno je da prevladavaju heterotrofni prokarioti čija se brojnost povezuje s povišenim stupnjem trofije ekosustava. Prosjeck **heterotrofnih prokariota** bio je bliži najvećim vrijednostima raspona koncentracija ostalih lokvi jugozapadne Istre ( $0,95$  -  $8,5 \cdot 10^6$  stanica/mL) i izrazito sličan eutrofiziranoj lokvi Cocaletto u kojoj

zabilježene vrijednosti iznose  $8,698 \cdot 10^6$  stanica/mL. Eutrofiziranost sustava doprinosi i prisutnosti autotrofnih cijanobakterija koje fiksacijom atmosferskog dušika obogaćuju okoliš hranjivim tvarima. Brojnost **cijanobakterija** bila je za red veličine veća u odnosu na onu zabilježenu u drugim lokvama jugozapadne Istre. Najviša brojnost izmjerena je u eutrofiziranoj lokvi Cocaletto gdje je ona iznosila  $1,1 \cdot 10^4$  stanica/mL. Posljedično, brojnost **heterotrofnih nanoflagelata** bila je povišena pretežito zbog dostupnosti njihovog plijena, odnosno heterotrofnih prokariota i cijanobakterija (Sanders i sur., 1992; Nikolić, 2021). Rasprostranjenost cijanobakterija je pratila trend porasta s jugoistoka prema sjeverozapadu. Naime, Stockenreiter i sur., 2021 ustanovili su u svom istraživanju da cijanobakterije dominiraju u stajaćicama poput Medulinske lokve koje su okarakterizirane manjom prozirnošću vode (Paliaga i sur., 2021).

Analizom **indikatora sanitarne kakvoće** vode Medulinske lokve utvrđen je umjereni stupanj kontaminacije, što vodu kvalificira kao dobru ili izvrsnu. U usporedbi s ostalim lokvama jugozapadne Istre, **koncentracije bakterije *E. coli*** bile su usporedive jedino tijekom kolovoza (Nikolić, 2021 i Baza podataka CIM-a Rovinj, 2021). Izbrojane koncentracije bakterije *E. coli* bile su znatno iznad prosjeka. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/2008) granične vrijednosti iznose 0 BIK/100 mL, dok prema Standardima i kriterijima o vodama za kupanje i rekreaciju (NN 51/2014) granične vrijednosti iznose 500 BIK/100 mL. Podaci upućuju na to da voda iz Medulinske lokve nije za piće, ali je prihvatljiva za ostale rekreativne aktivnosti. **Koncentracije fekalnih koliforma** variraju ovisno o temperaturi zbog čega nije preporučljivo lokvu koristiti za kupanje i rekreaciju. Ukupan raspon fekalnih koliforma i streptokoka bio je gotovo pet puta veći od koncentracija u ostalim lokvama. Brojnosti su bile manje od onih u močvari ornitološkog rezervata Palud, iako su i na Medulinskoj lokvi prisutne određene vrste ptica u manjem broju. **Omjer koncentracija fekalnih koliforma i streptokoka** djeluje kao kvalitativni pokazatelj mogućeg izvora fekalnog onečišćenja, koje u ovom slučaju nije ljudskog porijekla, ali svakako postoji unos fekalnih bakterija toplokrvnih životinja (Paliaga i sur., 2021).

Izmjereni **redoks potencijal vode** iznad sedimenta bio je visok, što ukazuje na prevladavanje oksidativnih i aerobnih uvjeta. Vrijednosti nisu bile niže od - 150 mV što se smatra granicom vrlo izraženih reducirajućih uvjeta (Delaune i Reddy, 2005). Uzorci sedimenta ostalih lokvi jugozapadne Istre ostvarili su sličan vertikalni profil Eh. Analiza

sanitarne kvalitete sedimenta ukazuje na to da brojnost fekalnih indikatora može poslužiti kao rezervoar potencijalno patogenih mikroorganizama, a posebice ukoliko dolazi do resuspenzije površinskog sloja (Paliaga i sur., 2021). Naime, sediment je uglavnom sastavljen od gline crvenice koja ga čini izrazito kompaktnim. Ona otežava cirkulaciju intersticijske vode, organske tvari i mikroorganizama što rezultira minimalnom potrošnjom kisika, a vrijednosti redoks potencijala čini većinom pozitivnima (Paliaga i sur., 2021).

Medulinsku lokvu moguće je usporediti s lokvom koja se nalazi na zaštićenom području značajni krajobraz Donji Kamenjak, a njihova međusobna zračna udaljenost iznosi ~ 3,6 km. Iako se ne radi o istom tipu lokve, te se dvije lokve nalaze na relativno bliskom području. Naime, lokva na Donjem Kamenjaku može se okarakterizirati kao sredozemna privremena lokva koja je podložna isušivanju. Ta lokva revitalizirana je 2015. godine kako bi se obnovila fauna vodozemaca, gmazova, kukaca i drugih pripadnika faune. Recentni monitoring te lokve ukazuje na značajnu raznolikost faune šišmiša na tom području što ukazuje na važnost obnove i održavanja ovakvih vodenih staništa u biološki povoljnom stanju. Nakon obnove primijećeno je deset vrsta vretenaca, no istraživanje je potrebno ponoviti kako bi se postigli recentniji podaci (Štih, 2015). Prisutnost vretenaca u ekosustavu ukazuje na bogatstvo i očuvanost ekosustava. Tijekom godina je na Donjem Kamenjaku uočeno ukupno 16 vrsta, dok je na Medulinskoj lokvi zabilježeno deset vrsta. Brojnost je viša na području Kamenjaka iz razloga što je to zaštićeno područje koje obiluje travnatim površinama s velikom bioraznolikošću. Relativno visoka brojnost vretenaca ukazuje na dobro biološko stanje Medulinske lokve. Istraživanje brojnosti vretenaca potrebno je ponoviti budući da su ovi podaci zabilježeni 2016. godine. Najveći broj vrsta pripada porodici *Libellulidae*, a od ukupnog broja vrsta njih se pet nalazi u Crvenoj knjizi vretenaca Hrvatske. Submerzna vegetacija na Donjem Kamenjaku potpuno nedostaje, dok je u Medulinu ona poprilično razvijena. Na Donjem Kamenjaku je vjerojatno zabilježena veća brojnost vretenaca zbog naselja u okolici Medulinske lokve koje otežava kretanje vretenaca. Na Medulinskoj lokvi ne postoje povoljna hranilišta i rastilišta za populaciju vretenaca jer se njena okolica redovito kosi zbog čega oni moraju utrošiti više vremena u potrazi za hranom. Nadalje, jedna od nepogodnosti je i prisutnost brojnih predatora poput gmazova, a posebice crvenouhих kornjača koje se hrane ličinkama na Medulinskoj lokvi (Štih i Koren, 2016).

## 6. ZAKLJUČAK

Lokve su važna žarišta biološke raznolikosti te se danas nalaze pod jakim antropogenim utjecajem radi prekomjerne urbanizacije. Predstavljaju važna staništa za očuvanje divljih životinja te su pružaju utočište mnogim pticama. Unatoč tome, o njima i njihovoj ekološkoj vrijednosti je provedeno vrlo malo istraživanja.

Ekosustav Medulinske lokve je visoko produktivan te eutrofiziranost sustava doprinosi povećanoj brojnosti cijanobakterija koje predstavljaju jednu od najbrojnijih komponenti mikrobne zajednice. Smanjenjem dominacije cijanobakterija koje luče toksine može se pospješiti razvoj uvjeta povoljnih za eukariotske alge koje podržavaju kvalitetniji prijenos energije u hranidbenoj mreži. Analizom indikatora sanitarne kakvoće vode utvrđena je dobra ili izvrsna kakvoća vode. Unatoč tome nisu preporučljive rekreativne aktivnosti poput kupanja radi moguće resuspenzije sedimenta.

Analizom makrofaune utvrđena je visoka bioraznolikost, pri čemu svakako dominira skupina ptica. Posljednjih je godina uočena i obnova populacije vretenaca što ukazuje na kvalitetan i bogat ekosustav Medulinske lokve. Vezano uz invazivne vrste, budući da se lokva nalazi u vrlo urbaniziranom području, preporučljivo je ostaviti ribu gambuziju, iz razloga što se ista hrani ličinkama komaraca, ali ukloniti ostale vrste. Uklanjanjem invazivnih vrsta moguć je povratak prvobitne prirodne strukture zajednice lokve, nakon čega je poželjno postavljanje tabele zabrane unošenja organizama u lokvu. Neophodno je uklanjanje invazivne vrste lopoča ili nadziranje njegovog širenja. Ova se vrsta lopoča može i zamijeniti endemskom autohtonom vrstom žutog lopoča (*Nuphar lutea*). Kako bi se pospješilo očuvanje lokve, u budućnosti je potrebno djelomično ukloniti vegetaciju lokve te smanjiti površinu lopoča kako bi se spriječilo polaganje jajašaca od strane komaraca.

U slučaju pražnjenja lokve, potrebno je pripaziti na ravnotežu *bottom-up* i *top-down* kontrole hranidbene mreže. Naposljetku, neophodno je sanirati dijelove obale koji su pod utjecajem erozije radi sprječavanja ispiranja i unosa bakterija i hranjivih soli. U budućnosti je potrebno voditi računa o vodnim slivovima koji lokvu prihranjuju vodom te voditi računa o tome da se gradnjom u blizini lokve jedan od važnih vodnih dotoka ne zatvori. Naime, u tom bi slučaju nastao problem i kod novogradnje jer bi vjerojatno podrumi često plavili. Danas nije poznato da li lokva posjeduje podzemni izvor vode ili se puni isključivo dotokom kišnice iz raznih smjerova.

Neophodan dio zaštite okoliša je očuvanje biološke raznolikosti prirodnih zajednica, očuvanje ekološke stabilnosti i racionalno korištenje prirodnih dobara. Budući da su promjene prirodnih staništa sve učestalije, sve je veća potreba za njihovom zaštitom. Cilj buduće obnove Medulinske lokve je očuvanje čim veće bioraznolikosti, ali uzimajući u obzir stanje u kojem se ista danas nalazi.



## 7. LITERATURA

Facebook stranica, dostupno na: [Medulinska Lokva](#) (pristupljeno 22.6.2022.).

Jutarnji list, dostupno na: [Apokaliptični prizori oko jednog od najljepših dvoraca u Europi: Trakošćansko jezero od danas je crno grotlo](#) (pristupljeno 25.6.2022.).

Baza podataka Centra za istraživanje mora (CIM) Rovinj, 2021.

**Benac, Č. i Durn, G.** (1997). Crvenica u području Kvarnera: geomorfološki uvjeti postanka. Acta Geographica Croatica: 32 (1): 18-19.

**Brana, S.** (2015). Kalić: priručnik za upoznavanje lokvi u Istri. Pula: Zelena Istra.

**Brönmark, C. i Hansson, L. A.** (2017). The biology of lakes and ponds. Oxford university press.

**Céréghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S.** (2007). The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. U: Oertli B., Céréghino R., Biggs J., Declerck S., Hull A., Miracle M.R. Pond Conservation in Europe, Dordrecht.

**DeLaune, R. D. i Reddy, K. R.** (2005). Redox potential.

**Fisher, M. R.** (2017). Environmental Biology.

**Maxwell, K. i Johnson, G.N.** (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. Journal of Experimental Botany 51: 659 – 668.

**Nikolić, L.** (2021). Mikrobna zajednica u lokvama jugozapadne Istre i u bočatoj močvari Palud. Završni rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli: 39-42

**Vlada Republike Hrvatske** (2008). Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Narodne novine, br. 47/2008.

**Vlada Republike Hrvatske** (2014). Uredba o kakvoći voda za kupanje, Narodne novine, br. 51/2014.

**Vlada Republike Hrvatske** (2015). Metodologije uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće, Narodne novine.

**Vlada Republike Hrvatske** (2019). Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine, br. 96/2019.

**Kerovec, M.** (1988). Ekologija kopnenih voda, Zagreb: Hrvatsko ekološko društvo i dr. Ante Pelivan.

**Kolda, A.** (2018). Cyanobacteria research methods in water ecosystems. Hrvatske vode: 26(106), 271-280.

**Krstulović, N. i Šolić M.** (2006). Mikrobiologija mora. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

**Moss, B., Jane, M., Geoffrey P.** (1996). A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. Limnology & Oceanography: Broads Authority, Norwich, UK, str. 180.

**Ozimec, R.** (2008). Upravljanjem okolišem korištenjem izvornih pasmina i sorti. Stočarstvo: 62 (1): 43-54.

**Paliaga, P., Iveša, N., Kinkela, B.** (2021). Preliminarni monitoring Medulinske lokve – analiza hidrografskih uvjeta lokve, sanitarne kvalitete vode (mikroorganizmi) te bioraznolikost riba, Ekološko stanje Medulinske lokve.

**Porter, K. G i Feig, Y. S.** (1980). The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnology and Oceanography*: 25: 943-8.

**Ritchie, R. J.** (2006). Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynthesis research*: 89 (1): 27-41.

**Ruocco, M.** (2017). Stagni dell'Emilia Centrale: biodiversità ed ecologia di ambienti vulnerabili.

**Sanders R. W., Caron D. A., Berninger U. G.** (1992). Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters: an inter-ecosystem comparison *Marine Ecology Progress Series*: 86: 1-14.

**Stockenreiter, M., Isanta Navarro, J., Buchberger, F., Stibor, H.** (2021). Community shifts from eukaryote to cyanobacteria dominated phytoplankton: The role of mixing depth and light quality. *Freshwater Biology*: 66 (11): 2145-2157.

**Štih, A.** (2015). Istraživanje i obnova lokve na Kamenjaku. Završni izvještaj. Hrvatsko herpetološko društvo - Hyla. Zagreb, str. 19.

**Štih, A. i Koren, T.** (2016). Praćenje naseljavanja faune vretenaca na novoobnovljenu lokvu na Donjem Kamenjaku. Udruga Hyla. Zagreb, str. 50.

**Takahashi, M., Kikuchi, K., Hara, Y.** (1985). Importance of picocyanobacteria biomass (unicellular, blue-green algae) in the phytoplankton population of the coastal waters off Japan. *Marine Biology*, 89(1), 63-69.

**van der Valk, A.** (2012). *The biology of freshwater wetlands*. Oxford University Press.

**Verdonschot, P. F.** (1992). Macrofaunal community types in ponds and small lakes (Overijssel, The Netherlands). *Hydrobiologia*: 232 (2): 111-132.

**World Health Organization** (1994). Guidelines for health-related monitoring of coastal recreational and shellfish areas. Document ICP/ CEH: 041 (2,3,4), Copenhagen, WHO, Regional Office for Europe.

**Zacharias, I. i Zamparas, M.** (2010). Mediterranean temporary ponds. A disappearing ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 19: 3827-3834.

**Zavřel, T., Sinetova, M. A., Červený, J.** (2015). Measurement of chlorophyll a and carotenoids concentration in cyanobacteria. *Bio-protocol* 5 (9): e1467-e1467.

**Znachor, P.** (2015). Photographic guide to the amazing world of reservoir plankton. Institute of Hydrobiology: Biology Centre CAS.

## **8. POPIS SLIKA**

**Slika 1.** Medulinska lokva slikana sa sjeverozapadne strane.

**Slika 2.** Cvat cijanobakterija (Znachor, 2015).

**Slika 3.** Europski jež (*Erinaceus europaeus*).

**Slika 4.** Mala bijela čaplja (*Egretta garzetta*).

**Slika 5.** Crvenouha kornjača (*Trachemys scripta elegans*).

**Slika 6.** Geodetsko mjerenje dubine lokve 14. listopada 2021. godine.

**Slika 7.** Kartografski prikaz postaja uzorkovanja vode i sedimenta.

**Slika 8.** Uzorkovanje vode 10. studenog 2021. godine.

**Slika 9.** Cijanobakterije iz voda medulinske lokve pod epifluorescentnim mikroskopom (autofluorescencija na zelenom svjetlu i povećanje 1000 puta).

**Slika 10.** Izrasle kolonije fekalnih indikatora bakterije *E. coli*, fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na selektivnim hranjivim podlogama nakon inkubacije.

**Slika 11.** Raspodjela temperature (lijevo) i saliniteta (desno) u Medulinskoj lokvi.

- Slika 12.** Raspodjela pH vrijednosti (lijevo) i saturacije kisikom (desno) u Medulinskoj lokvi.
- Slika 13.** Prozirnost vode.
- Slika 14.** Raspodjela heterotrofnih prokariota (lijevo) i heterotrofnih nanoflagelata (desno) u Medulinskoj lokvi.
- Slika 15.** Raspodjela cijanobakterija u Medulinskoj lokvi.
- Slika 16.** Vidljivi znakovi eutrofikacije i cvjetanja cijanobakterija i ostalih algi oko postaje M5.
- Slika 17.** Raspodjela *E. coli* u Medulinskoj lokvi.
- Slika 18.** Raspodjela fekalnih koliforma (desno) i fekalnih streptokoka (lijevo) u Medulinskoj lokvi.
- Slika 19.** Vertikalni profili (od 0 do 6 cm dubine) redoks potencijala Eh (mV) u sedimentu i vodi neposredno iznad sedimenta Medulinske lokve.
- Slika 20.** Ribe prikupljene mrežom: šaran (*Cyprinus carpio*) i babuška (*Carassius gibelio*).
- Slika 21.** Crvenouha kornjača (*Trachemys scripta elegans*).
- Slika 22.** Brojnost zabilježenih vrsta u Medulinskoj lokvi.

## 9. POPIS TABLICA

- Tablica 1.** Hrvatski i latinski naziv zabilježenih vrsta makrofita.
- Tablica 2.** Standardi za ocjenu kakvoće voda nakon svakog ispitivanja (NN 51/2014).
- Tablica 3.** Fizikalno-kemijski parametri izmjereni 14. listopada 2021. godine (Big Blue, NZZJIZ).
- Tablica 4.** Izmjereni redoks potencijal površinskog sloja sedimenta na dan 14.10.2021. godine.
- Tablica 5.** Hrvatski i latinski naziv zabilježenih vrsta faune.

## 10. SAŽETAK

Unatoč maloj veličini, lokve imaju izniman značaj za biološku raznolikost. Naime, pružaju utočište endemskim vrstama flore i faune, a posebice su značajne za ptice selice. Medulinska lokva je permanentna stajaćica koja se nalazi u jugozapadnom dijelu općine Medulin na Istarskom poluotoku. Okružena je umjereno urbaniziranim naseljem te se nalazi pod umjerenim antropogenim utjecajem. Cilj ovog istraživanja bila je procjena ekološkog stanja i sanitarnih uvjeta Medulinske lokve kako bi se ona sačuvala te kako bi se u potpunosti iskoristila njena višestruka namjena u vidu rekreacije. Tijekom istraživanja provedeno je geodetsko mjerenje, analiza hidrografskih parametara i makrofaune lokve te su prikupljeni uzorci za analizu mikrobne zajednice, sanitarne kvalitete vode i sedimenta. Geodetskim mjerenjem dobivena je dubina lokve koja je do sada bila nepoznata, a ekosustav lokve je karakteriziran visokom primarnom proizvodnjom i visokom saturacijom kisikom. Mikrobiološki parametri izmjereni u površinskoj vodi Medulinske lokve ukazuju na povišenu brojnost mikroorganizama, dok je analizom indikatora sanitarne kakvoće vode Medulinske lokve utvrđen umjereni stupanj kontaminacije, što vodu kvalificira kao dobru ili izvrsnu. Analizom makrofaune utvrđena je visoka bioraznolikost, a posljednjih je godina uočena i obnova populacije vretenaca što ukazuje na kvalitetan i bogat ekosustav Medulinske lokve. Ovo istraživanje može poslužiti kao podloga za daljnja istraživanja.

## **11. SUMMARY**

Despite their small size, ponds are extremely important for biodiversity. They provide a refuge to endemic species of flora and fauna and are especially important for migratory birds. Medulin pond is located in the southwestern part of the municipality of Medulin on the Istrian peninsula. The pond is surrounded by a moderately urbanized settlement and is under a moderate anthropogenic influence. The aim of this research was to assess the ecological and sanitary conditions of the Medulin pond in order to preserve it and to make full use of its multiple purposes in forms of recreation. For research purposes, the geodetic measurement, analysis of hydrographic parameters and macrofauna of the pond were carried out. Samples were collected for the analysis of the microbial community, sanitary quality of water and sediment. The depth of the pond, which was unknown until now, was obtained by geodetic measurement. The pond ecosystem is characterized by high primary productivity and high oxygen saturation. Microbiological parameters measured in the surface water of the Medulin pond indicate an increased number of microorganisms, while the analysis of sanitary quality indicators displayed a moderate contamination, which qualifies the water as good or excellent. Analysis of the macrofauna revealed a high level of biodiversity, and in recent years a reintroduction of the dragonfly population has been observed, which indicates a high-quality and rich ecosystem. This research can serve as a basis for further research.