

# Praćenje kvalitete vode Lokvarskog jezera

---

Lončar, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:845022>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-11**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

bacc.san.ing. Ana Lončar

PRAĆENJE KVALITETE VODE LOKVARSKOG JEZERA

DIPLOMSKI RAD

RIJEKA, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

bacc.san.ing. Ana Lončar

PRAĆENJE KVALITETE VODE LOKVARSKOG JEZERA

DIPLOMSKI RAD

RIJEKA, 2019.

Mentor rada: Izv.prof. dr. sc. Aleksandar Bulog, dipl.san.ing.

Diplomski rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ u/na \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_. Pred povjerenstvom u sastavu :

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Rad ima 53 stranica. 15 slika. 5 tablica. 11 navoda literature.

## **SAŽETAK :**

Lokvarsko jezero umjetno je jezero nastalo kada je rijeka Lokvarka zaustavljena u radnim akcijama. Umjetno jezero Lokve danas je iznimno poželjno mjesto za turističke atrakcije, na njemu se održavaju razne sportske igre, te je omiljeno mjesto za skupljanje ljudi, djece i obitelji. U radu su promatrane koncentracije hranjivih soli, dušika i fosfora. Podatke dobivene od Hrvatskih voda interpretirane su pomoću računalnog programa te iz toga doneseni zaključci u vezi jezera. O njegovom ekološkom stanju, tipu, eutrofikaciji.

**Ključne riječi:** eutrofikacija, amonijak, nitrati, nitriti, ortofosfati i ukupni fosfor

**SUMMARY:**

Lake Lokve is an artificial lake that was created when the Lokvarka River was stopped in the workshops. Lake Lokve is an artificial lake that is almost perfectly integrated into the natural environment of gorgeous coniferous forests, and today it represents an exceptional tourist attraction and a favorite place for athletes and recreationalists. In this paper the concentrations of nutrients, nitrogen and phosphorus are observed. The data obtained from the Croatian waters were interpreted using a computer program and the conclusions about the lake were made. About his ecological status, type, eutrophication.

**Key words:** eutrophication, ammonia, nitrates, nitrites, orthophosphates and total phosphorus

## SADRŽAJ:

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....                              | 1  |
| 1.1. GRAĐA MOLEKULE VODE.....              | 2  |
| 1.2. KOLIČINA VODE NA ZEMLJI .....         | 5  |
| 1.3. HIDROLOŠKI CIKLUS .....               | 6  |
| 1.4. VRSTE VODE PO PODRIJETLU .....        | 9  |
| 1.4.1. OBORINSKA VODA.....                 | 9  |
| 1.4.2. POVRŠINSKA VODA .....               | 9  |
| 1.4.3. PODZEMNA VODA.....                  | 10 |
| 1.5. KOPNENE VODE .....                    | 12 |
| 1.5.1. TEMPERATURA JEZERSKE VODE.....      | 13 |
| 1.5.2. SVJETLOST .....                     | 15 |
| 1.6. EUTROFIKACIJA VODNIH SUSTAVA .....    | 17 |
| 1.7. KEMIJSKA KONTAMINACIJA U VODAMA ..... | 19 |
| 1.7.1. DUŠIK.....                          | 19 |
| 1.7.2. NITRATI I NITRITI .....             | 20 |
| 1.7.3. AMONIJAK.....                       | 21 |
| 1.7.4. UKUPNI DUŠIK.....                   | 23 |
| 1.7.5. FOSFOR.....                         | 23 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.7.6. | UKUPNI FOSFOR .....                         | 24 |
| 1.8.   | LOKVARSKO JEZERO .....                      | 27 |
| 2.     | CILJ ISTRAŽIVANJA.....                      | 28 |
| 3.     | MATERIJALI I METODE .....                   | 29 |
| 3.1.   | ODREĐIVANJE AMONIJAKA U UZORCIMA VODE ..... | 29 |
| 3.2.   | ODREĐIVANJE NITRITA U UZORCIMA VODE .....   | 30 |
| 3.3.   | ODREĐIVANJE FOSFATA U UZORCIMA VODE .....   | 30 |
| 3.4.   | ODREĐIVANJE UKUPNOG FOSFORA U VODAMA.....   | 31 |
| 3.5.   | ODREĐIVANJE NITRATA U VODAMA.....           | 31 |
| 4.     | REZULTATI .....                             | 32 |
| 5.     | RASPRAVA .....                              | 39 |
| 6.     | ZAKLJUČAK .....                             | 44 |
| 7.     | LITERATURA .....                            | 46 |





## 1. UVOD

Voda je tvar bez koje ljudi nemogu živjeti, nužno je potrebna za život te zbog toga možemo definirati da je voda život. Voda služi kao transportni medij, uz pomoć vode proizvodimo energiju, voda služi kao uzgajalište i služenje hrane, voda služi kao lijek, voda je prostor za rekreaciju, voda je česta granica između država, kultura, regija ali voda je i prepreka, ratište, ubojica i grobnica.

(1) Najrasprostranjenija kapljevina na Zemlji je voda, voda je snažno polarno otapalo koje otapa plinove, kapljevine te mnoge druge krutine i tvari. Molekula vode ( $H_2O$ ) sastoji se od dvaju atoma vodika i atoma kisika.

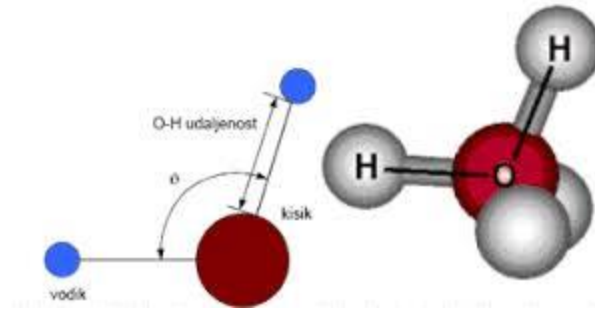
Potreba za vodom opća je. Bez nje nema života ni normalnog funkcioniranja ljudskog organizma. Za život svih živih organizama voda je nužna. Živa bića, tvrde znanstvenici, najvećim dijelom sastoje od vode, te zaključuju da ona čini tri četvrtine ukupne površine Zemlje. Voda se koristi za navodnjavanje polja, suhog tla, za održavanje ratarskih kultura te kao takva uvelike pomaže poljoprovrednicima u uzgoju. Bez vode biljke ne bi dobivale mineralne tvari, a proces fotosinteze bi bio nemoguć. U vodi se ne otapaju samo enzimi, već i metaboliti potrebni organizmu.

Za društvo je opskrba zdravstveno ispravnom vodom nužna i temeljna stavka, koja uvjetuje život ljudi. Dostava valjane vode je teška zadaća koja mora biti ispoštovana u cilju zdravlja i očuvanja ljudi. Voda ima prirodan ciklus kruženja u prirodi, nalazimo je u svim agregatnim stanjima, u atmosferi, na površini i u unutrašnjosti Zemlje. Čovjek ometa kruženje i obnavljanje vode u prirodi, a ubrzanom urbanizacijom, poljoprovrednim aktivnostima i industrijskom proizvodnjom

ne samo da se narušava izvor pitke vode, nego uzrokuje porast njene uporabe, koji se ponekad teško može opravdati racionalnim razlozima. (2)

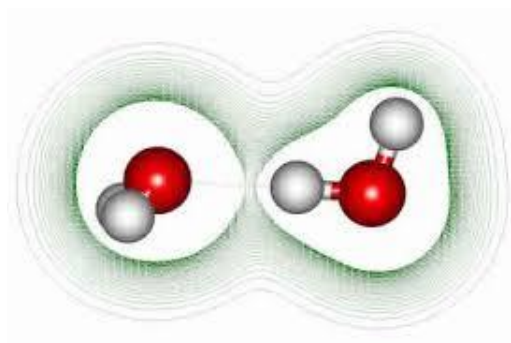
### 1.1. GRAĐA MOLEKULE VODE

Kada gledamo građu molekule vode, rekli bismo da naizgled mala trivijalna molekula nema baš nekakvih posebnih svojstva. Međutim, gadno bismo se prevarili jer upravo tako jednostavna molekula ima posebna svojstva. Polarnost kao najvažnije svojstvo vode mora biti spomenuto. Neravnomjerna razdioba električnog naboja unutar molekule opisuje polarnost vode. Razdioba je uzrokovana odjeljivanjem električnog naboja zbog neravnomjerne raspodjele elektrona u molekuli. Kada bi opisali molekulu vode rekli bi smo da je nesimetrična jer vodikovi atomi vežu se na jedan kraj molekule pod kutem  $104,5^\circ$ . Molekula vode ima 4 para elektrona oko središnjeg kisikova atoma. Oni su idealno tetrahedralno položeni. Dva elektronska para sudjeluju u kovalentnoj vezi. Nevezani elektronski parovi više odbijaju vezane elektronske parove nego što se vezani elektronski parovi međusobno odbijaju. Svima poznata formula  $H_2O$ , međutim iza te formule krije se čudestan, vrlo dinamičan mikrosvijet u kojem vladaju zakoni atomske, odnosno molekularne fizike. Molekula  $H_2O$  je električki neutralna, no zbog asimetrične građe pozitivni i negativni naboji nisu podjednako raspoređeni (slika 1.)



Slika 1. Shematski prikaz električnih naboja molekule vode

Elektronski (negativni) naboj koncentriran je, zbog dijelom nevezanih elektrona i visokog kisikovog neutralnog naboja, na strani molekule na kojoj se nalazi atom kisika. Takav raspored naboja uzrok je dipolnog karaktera molekule vode. Krajevi dipola su težište pozitivnih i negativnih naboja pa se mogu nalaziti i izvan atoma i izvan internuklearnih osi veza. Dipolni moment je vektor, tj. uz veličinu ima i određeni smjer koji ide od negativnog naboja prema pozitivnom, a može se izračunati kao rezultanta dipolnih momenata pojedinih veza. Kako se suprotni naboji međusobno privlače, tako će dijelom pozitivno nabijen vodikov kraj molekule vode elektrostatski privlačiti dijelom negativno nabijen vodikov kraj susjedne molekule vode (slika 2.)



Slika 2. Veza dvije molekule vode

Taj se proces obično naziva vodikova veza. Razmak molekula vode u vodikovim vezama iznosi 117 pm i veći je od razmaka između kovalentno vezanih atoma vodika i atoma kisika koji iznosi 99 pm. To znači da je veza između susjednih molekula vode znatno slabija od sila koje drže na okupu atome u jednoj molekuli vode, što znači da veze između susjednih molekula traju kratko, tj. da se veza kida između dvije susjedne molekule vode i uspostavlja se neka nova veza s nekom drugom molekulom iz okruženja. Postojanost vodikove veze ovisi o temperaturi. Tako je u tekućoj vodi pri temperaturi 0°C međusobno vezano više od 95% molekula vode, a pri temperaturi nešto nižoj od 100°C broj međusobno vezanih molekula ne prelazi 85%. Pri temperaturi nižoj od 0°C udio vezanih molekula naglo raste, a pri temperaturi višoj od 100°C, naglo pada. Ta ovisnost vodikovih veza o temperaturi jedan je od glavnih razloga što se voda pojavljuje u tri agregatna stanja unutar relativno malog raspona temperature od samo 100°C. (1) Toplina se može povezati s prosječnom kinetičkom energijom molekula u nekom određenom volumenu. Kada su temperature niske molekule su blizu jedna druge te se vežu u krutine, titraju oko središnjeg položaja, i kao takva tvar zadržava oblik. Kada se molekule nalaze u tekućem stanju oslobađaju se dijela tih veza i slobodno se gibaju, te zbog toga nemaju stalan oblik i volumen. U plinovitom stanju molekule su posve slobodne, nema uređene strukture.

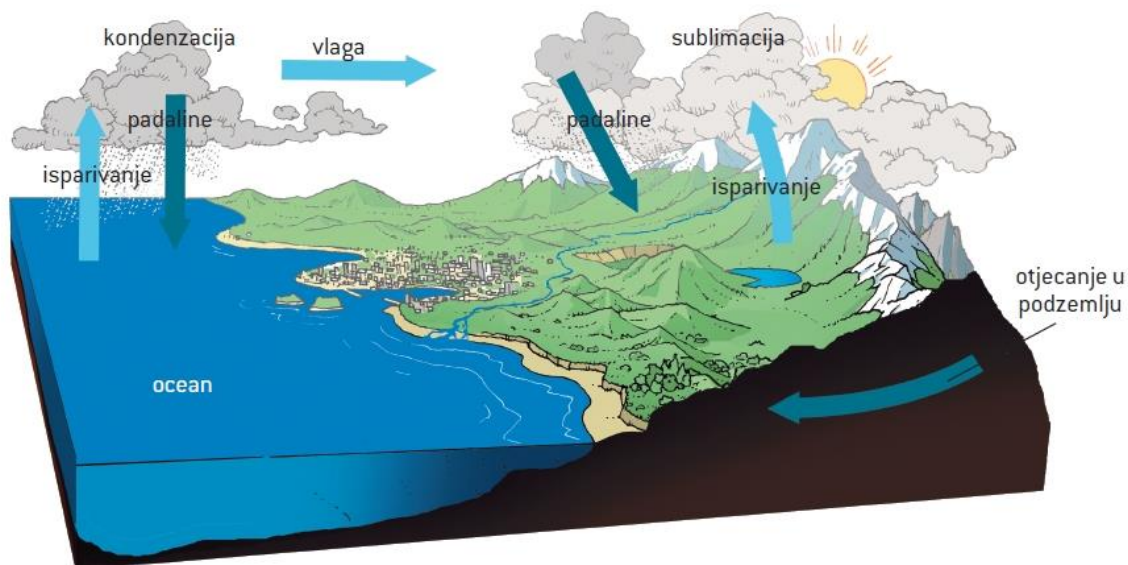
## 1.2. KOLIČINA VODE NA ZEMLJI

Kad bi pogledali Zemlju iz Svemira prvo što bi nam palo na pamet da je to „vodeni planet“, jer gledajući Zemlju ona pliva na vodi. Međutim prema pravim izračunima i podacima pravi volumen iznosi 1/800. Kako tako malo, objašnjava se jer se voda nalazi u različitim oblicima te je raspoređena u atmosferi, litosferi i hidrosferi. 1,4 milijardi  $\text{km}^3$  je brojka koja opisuje volumen svih voda na Zemlji. Pri tome samo 2,5 % otpada na slatke vode, a od te količine 69 % nedovoljno je za ljudsku upotrebu, jer se nalazi u formi vječnog snijega i leda na Sjevernom i Južnom polu. Ostale količine slatke vode pohranjene su uglavnom kao podzemna voda na dubini od 2.000 metara. Ta količina čini 97 % upotrebljenih slatkih voda, dok je količina vode u jezerima i rijekama iznosila oko 0,3 % od ukupne količine slatke vode. Ljudi troše vodu dvostruko više nego u prošlom stoljeću, odnosno 54 % od dostupnih zaliha slatke vode. Potrebe i potrošnja vode po stanovniku raste svakodnevno, a zbog naglog rasta stanovništva svakodnevno se smanjuje raspoloživa količina slatke vode općenito. Kao obrazloženje te činjenice možemo utvrditi da je 1970. godine zaliha slatke vode bila 12.900  $\text{m}^3$ , a već 2000. godine ta brojka je pala na manje od 7.000  $\text{m}^3$ . Moramo uzet u obzir da sva slatka voda nije ravnomjerno raspoređena na Zemlji, te se procjenjuje kako će 2025. godine ta brojka iznositi 5.100  $\text{m}^3$ . Oko 3 milijarde ljudi će 2025. godine biti u kategoriji ugroženih u vodoopskrbi. U razvijenim zemljama se troši 10 puta više slatke vode nego u zemljama u razvoju, što je prosječno dnevno iznosi između 500 do 800 litara vode po stanovniku. Dok u isto vrijeme u zemljama u razvoju troši mnogo manje, prosječno 60 do 150 litara vode po stanovniku. Temeljem tih podataka razumljive su poruke Svjetske zdravstvene organizacije (World Health Organisation) o nužnosti osiguranja dovoljno zdravstvene ispravne pitke vode. WHO izvještava da zbog onečišćenja vode godišnje obolijeva oko 1,2 milijarde ljudi,

jer 1,1 milijarda ljudi nema pristupa zdravstveno ispravnoj vodi te je zbog toga nužno da za 2,4 milijarde ljudi potrebno poboljšati osnovne uvjete vodoopskrbe. (2)

### 1.3. HIDROLOŠKI CIKLUS

Hidrološki ciklus je neprestano kruženje vode na Zemlji. Upravo zbog hidrološkog ciklusa, zalihe potrebne slatke vode na Zemlji stalno se obnavlja. Ciklus se neprekidno odvija između zraka, zemlje i mora te između različitih oblika života i njegova okoliša. Ciklus vode uključuje isparavanje, tvorbu oblaka, otjecanje po površini i protjecanje kroz tlo. (3) Iz površinskih voda i s površine Zemlje, voda isparava i stiže u atmosferu, iz nje se putem atmosferskih padalina vraća na Zemlju odakle ili ponire kroz razne slojeve, hraneći podzemne izvore ili ponovno stiže u površinske vode, da bi opet, isparavanjem dospjela u atmosferu. Ukupna je količina isparene vode i vode u obliku padalina zapravo jednaka. Isparavanje oceana i mora veće je od primitka vode, a kontinenti više vode prime preko padalina, nego što izgube isparavanjem. Osim što voda isparava s površina rijeka, jezera, mora i oceana, isparavanje se obavlja i s površine zemlje te s raslinja i transpiracijom biljaka preko lišća. Hidrološki procesi se mogu podijeliti u dvije kategorije. U prvoj su kategoriji hidrološki procesi u kojima se voda pretežno kreće u vertikalnom smjeru (evaporacija i transpiracija, zadržavanje padalina, infiltracija i procjeđivanje). U drugoj su hidrološki procesi kod kojih se voda pretežito kreće horizontalno (površinsko otjecanje, tok podzemne vode te tok u koritima vodotokova). Taj međusobni odnos ovisi o klimi, svojstvima površina te o svojstvima tla kroz koje voda teče, a oba procesa se odvijaju istodobno (slika 3.) (2)



Slika 3. Shematski prikaz kružnog kretanja vode

Padaline, kao pojava nastaju iz vodene pare koja se nalazi u atmosferi, kao rezultata isparavanja sa zemlje. Nastanak padalina vezan je za kondenzaciju vodene pare i nastaju uslijed prezasićenost zraka vodenom parom. Tu možemo razlikovati snijeg, mraz, kišu i rosu. Za zadržavanje padalina su odgovorne prepreke koje se nalaze na putu do tla. Tu se misli na vegetaciju, pri čemu su bitni količina, oblik i struktura lišća i gustoća drveća. Prepreke predstavljaju također i građevine, njihova gustoća i karakteristike. Sve je naravno povezano i sa intenzitetom, trajanjem i učestalosti padalina. Transpiracija je gubitak vode putem biljke, kao rezultat njenog metabolizma i ovisi o količini raspoložive toplote. Veći dio se izgubi putem te ispari u atmosferu. Proces zvan evaporacija je isparavanja vode s površine zemlje tj. s vodene površine. Infiltracija je proces koji objašnjava da se dio padalina vrati u atmosferu procesom evaporacije, a ostatak uđe u vodotok



ili se infiltrira u tlo. Infiltrirana voda može se ponovno vratiti u atmosferu procesom transpiracije. Trebali bi zapamtiti dva pojma vezana uz infiltraciju, brzina infiltracije je količina vode koja natopi zemljište u određenom vremenu, dok kapacitet infiltracije predstavlja maksimalnu količinu vode koja se infiltrira u zemljište. Dio vode od padalina koji se zadrži na površini terena uključuje se u površinsko otjecanje. Sam proces površinskog otjecanja uključuje složene procese akumuliranja i toka u interakciji vode i zemljišta. Podzemno otjecanje odvija se u zonama u podzemlju kroz propusne stijene. Najveća se količina vode prikuplja upravo poniranjem padalina. (2)

## 1.4. VRSTE VODE PO PODRIJETLU

Prema podrijetlu razlikujemo tri osnovne vrste vode : oborinske, površinske i podzemne.

### 1.4.1. OBORINSKA VODA

Oborinska voda u obliku padalina (kiša, snijeg, led) dopiye na zemlju. Prirodno je nekontaminirana, a zbog niskog sadržaja otopljenih mineralnih tvari je bez okusa ili kako se u narodu kaže bljutava. Temperatura oborinske vode varira i o temperaturi okoliša u kojem se nalazi. Međutim prolaskom oborinske vode kroz slojeve atmosfere ona apsorbira prašinu, mikroorganizme, plinove i druge prisutne kontaminante. Na taj način oborine su neka vrsta pročišćivača atmosfere. Otapanjem CO<sub>2</sub> takva voda je kisela, što je čini agresivnom za metalne dijelove vodoopskrbnog sustava. Kišnica sa zdravstvenog stajališta pripada tek uvjetno dobrim vodama za piće , jer osim opisane apsorpcije kontaminanata u zraku, može biti dodatno kontaminirana nehigijenskim pohranjivanjem. Zbog toga se rabi samo ondje gdje nema drugih mogućnosti i zahtjeva dodatnu obradu, poput kondicioniranja, prije uporabe.

### 1.4.2. POVRŠINSKA VODA

Površinske su vode prirodni vodotoci, poput rijeka i potoka, oceana i mora te voda stajaćica kao što su jezera i bare. U tu grupu također spadaju akumulacije i rezervoari , stvoreni od strane čovjeka , neovisno o svrsi i namjeri. Površinske vode obnavljaju se oborinama ili putem podzemnih izvora. Tvrde su od oborinskih voda zbog otopljenih mineralnih soli. Mogućnost kontaminacije površinskih voda je velika , zbog kontakta s tlom i drugim raznim kontaminatima. Ovisno o okolišu u kojem se nalaze , sadrže promjenjive koncentracije otopljene , suspendirane organske i anorganske tvari te žive organizme , poput mikroorganizama, pa mogle biti dosta

mutne. Karakteriziraju ih više ili manje intenzivni biološki procesi od aerobnih do anaerobnih, što ovisi o koncentraciji otopljenog kisika i stupnja onečišćenja vode. Poseban problem predstavljaju sekundarna onečišćenja. Sekundarno onečišćenje nastaje izravnim ispuštanjem otpadnih voda industrije i naselja te njihovim podzemnim dotokom. Razlikujemo slatke i slane površinske vode. U nedostatku podzemne vode, slatke se površinske vode, u određenim uvjetima i nakon obrade, upotrebljavaju za piće. Postupkom desalinacije mora i oceana, možemo stvoriti slatku vodu koja je upotrebljiva za piće. Međutim, taj postupak je skup i prilično složen.

#### 1.4.3. PODZEMNA VODA

Podzemne vode mogu biti prisutne na različitim dubinama, mogu komunicirati s površinom zemlje ili biti od nje zaštićene. Ovisno o dubinama podzemnih voda, ovisi i njihova kvaliteta, pa tako podzemne vode s manjim dubinama, osobitno one do 6 metara, dubiozne su kvalitete jer obično imaju komunikaciju s površinom zemlje i kvaliteta im ovisi o stanju površine koja joj služi kao izvor dopune. Prave su podzemne vode, vode s dubinom većom od 20 metara, vrlo kvalitetni izvor vode, jer su obično bez mirisa, stabilnog su sastava i temperature te ih ima u dovoljnim količinama. Razlikujemo pukotinske (krške) i vode zemeljnice, ovisno o načinu kretanja i sastavu. Pukotinska voda je po stupnju onečišćenja slična površinskoj vodi. Porozan sastav tla, pukotine i podzemni prolazi omogućuju prolaz vode s površine zemlje velikom brzinom, čime je u najvećoj mjeri omogućeno prirodno čišćenje i voda se ne može svrstati u sigurnu vodu za piće. Takvu vodu je prije upotrebe potrebno kondicionirati i kontrolirati. U vodama u kojima dominira vapnenac i mjestimično dolomit iz terena, u većoj ili manjoj koncentraciji, a ponegdje u obalnom području zbog miješanja s morem može biti prisutna veća koncentracija klorida, što vodi daje slankast okus i takva se voda naziva bočatom. Voda temeljnica, zbog dugotrajnog kontakta sa slojevima tla, ima

više ili manje mineralnih soli i ubraja se u tvrde vode, a koncentracija joj raste dubinom i starošću vode. Što je voda dublja ima manje kisika, neutralni pH i konstante je temperature. Voda se nalazi u poroznom, šljunčanom i pješčanom materijalu, tzv. vodonosni sloj, koji leži na nepropusnom sloju gline, ilovače ili lapora. Spora kretanja vode pogoduje mehaničkom čišćenju i biološkoj razgradnji. Međutim, ako onečišćenje i dospije do vodonosnog sloja širi se samo u njegovom gornjem zonom i tada u vodi prevladava mikrobiološko onečišćenje. Ako je voda prema površini zaštićena nepropusni slojem gline i ne sadržava željezo može biti pogodno za piće, jer je duboka i stara voda temeljnica bistra, sterilna i stabilne temperature. (2)

## 1.5. KOPNENE VODE

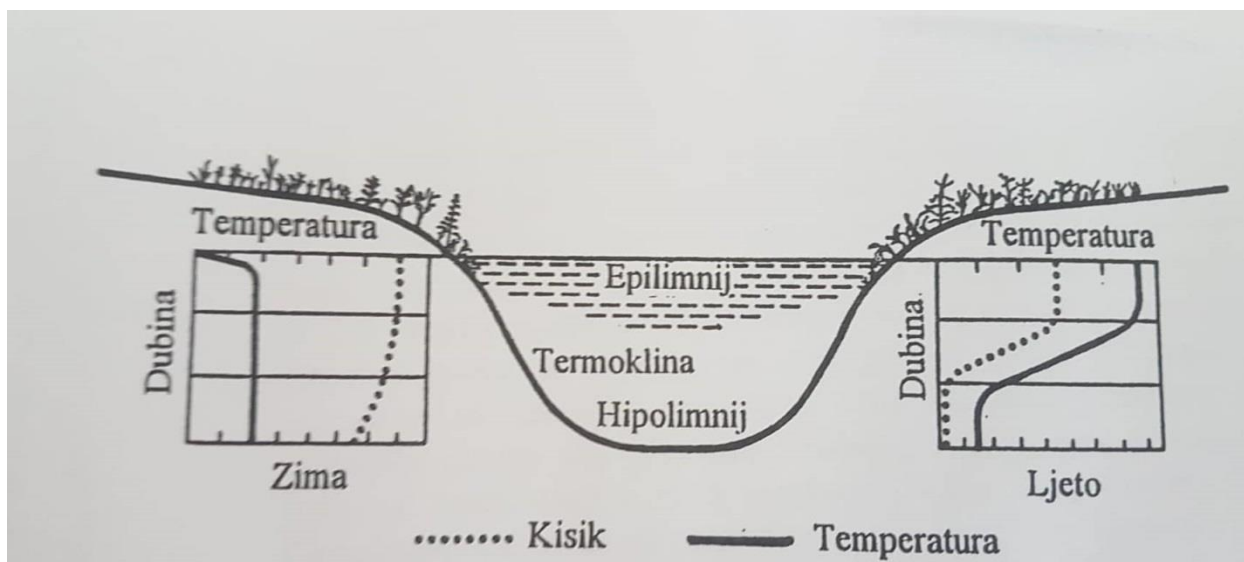
Ekologija kao znanost obuhvaća širok spektar djelatnosti, ali dio ekologije koji se bavi proučavanjem kopnenih vodnih ekosustava naziva se limnologija. Kopnene vode se razlikuju od mora i oceana jer su one prolazne tvorevine koje nastaju i iščezavaju u kratkom razdoblju. Kopnene vode su uglavnom slatke, s malom koncentracijom otopljenih soli u odnos na morsku vodu koja je slana. S obzirom na njihovu veličinu, ekosustavi kopnenih voda pod većim su utjecajem otpadnih organskih i anorganskih tvari, te utjecajem čovjekovih djelatnosti koja su naročito izražena u blizini naselja, industrijskih područja i poljoprivrednih površina. Kopnene vode možemo prema gibanju vodnih masa podijeliti na:

1. Stajačice: jezera, ribnjaci, bare, močvare
2. Tekućice: potoci, rijeke, kanali.

Kopnene vode imaju posebno značenje za čovjekov život na zemlji, jer su najpovoljniji i najjeftiniji izvor vode za opskrbu stanovništva, industrije te poljoprivrednih zemljišta. Stajačice su dijelovi hidrosfere koji su duljinom, širinom i dubinom približno istog reda veličine. Kod stajaćica nema izrazitog gibanja vodene mase uslijed nagiba vodene površine. Strujanja su uglavnom izazvana vjetrovima. Kod razmjerno malih stajaćica, utjecaj okretanja Zemlje nije važan, međutim kod velikih jezeran, taj utjecaj okretanja Zemlje treba uzeti u obzir radi Coriolisove sile. Utjecaj Coriolisove sile zavisi o geografskoj širini. Na Sjevernoj polutki Coriolisova sila usmjerava gibanja udesno u odnosu na osnovni smjer. Učinak sile opaža se u jezera širih od 5 km, za najčešće brzine strujanja od 0,10 m/s na 45° geografske širine. (4)

### 1.5.1. TEMPERATURA JEZERSKE VODE

Temperatura jezerske vode je bitan činitelj kemijskih, biokemijskih postupaka te rasporeda gustoće vode, a samim time i pojave stratifikacije (slojevitosti). Temperatura vode ovisi o geografskoj širini i nadmorskoj visini na kojima se jezero nalazi. Jezeru na srednjoj geografskoj širini se temperatura mijenja tijekom godine u ovisnosti o mjesnim klimatskim prilikama. Tijekom ljeta pod utjecajem Sunčeve energije se površinski sloj vode jako zagrijava, te kao takva toplija voda manje je gustoće pa se zadržava na površini. Za mirna vremena, bez većih vjetrova koji bi mogli uzrokovati promješavanje jezerske vode dolazi do stratifikacije, tj. slojevitosti jezera i to u tri sloja. Gornji, topliji sloj, manje gustoće naziva se epilimnij. U donjem dijelu jezera izjednačen je sloj hladnije vode te se naziva hipolimnij. U srednjem sloju, temperatura odnosno gustoća, naglo se mijenja od epilimnija do hipolimnija i taj se sloj obično naziva termoklina, a ponekad i metalimnij.



Slika 4. Toplinska slojevitost u jezeru

U jesenskom razdoblju nastaje hlađenje gornjeg sloja, temperatura odnosno gustoća se izjednačava te se zbog utjecaja vjetra događa promješavanje jezerske vode. Daljnim hlađenjem, kad temperatura padne ispod 4°C, gustoća vode je manja te se hladniji sloj odnosno lakši pojavljuje na površini. U ovisnosti o mjesnim prilikama dolazi do zaleđivanja površinskog sloja. U proljeće, uslijed zagrijavanja, temperatura se ponovno izjednačava, odnosno gustoća po dubini vode, te nastaje drugo razdoblje promješavanja. Jezera s takvim načinom mješanja, kako je opisano, dva puta godišnje nazivaju dimiktična. Takva jezera se nalaze pretežno u Europi. Ako se promješavanje vode događa samo jednom godišnje, takva se jezera nazivaju monomiktična. Tu se navode jezera koja se nalaze u subtropskoj klimi u kojima je temperatura uvijek iznad 4°C, ili u subpolarnoj gdje je temperatura samo u kratkom ljetnom razdoblju oko 4°C. U polarnoj klimi, u kojem je površinski sloj stalno zaleđen, nema promješavanja i takva jezera se nazivaju amiktična. U tropskoj klimi s vrlo visokim temperaturama vode i neznčajnim godišnjim promjenama postoji stalno mješanje vode po dubini i takva se jezera nazivaju polimiktična. Polimiktična mogu biti i plitka jezera u umjerenj klimi. Raspored otopljenih plinova i hranjivih soli u jezerima ovisi o pojavi slojevitosti. U gornjim slojevima postupkom fotosinteze količina otopljenog kisika se povećava, a smanjuje ugljikov dioksid i hranjive soli uslijed organske proizvodnje. U donjim slojevima troši se kisik uslijed razgradnje mrtve organske tvari, ali se povećava količina ugljikovog dioksida i hranjivih soli. Miješanjem vode obavlja se prijenos plinova i hranjivih soli po dubini jezera. (4)

### 1.5.2. SVJETLOST

Prodiranje svjetlosti ovisi o mutnoći jezerske vode. Ako su jezera vrlo prozirna, svjetlo prodire do približno 30 m. Međutim za jezera s vrlo snažnom organskom proizvodnjom, prozirnost može biti i manja od 1 m. Osvijetljeni sloj vode u kojem je moguć postupak fotosinteze naziva se trofogeni ili eutrofični. Donji sloj koji je neosvijetljen naziva se trofolitični ili afotični.

Možemo razlikovati tri staništa u vodama stajačicama. Obalno ili litoralno područje usko je područje u kojem svjetlost dopire do dna, te u tom području prevladavaju zelene biljke s korijenjem.

Površinski sloj ili limnetični pojas dio je otvorene vode jezera do dubine prodiranja svjetlosti. Dubina ovog sloja se računa do razine gdje jakost svjetla iznosi do 1 % od ukupnog Sunčevog zračenja, tj. gdje je proizvodnja kisika iz postupka fotosinteze u ravnoteži s potrošnjom kisika-disanjem. U malim, plitkim te uskim stajačicama taj sloj ne postoji. U životnoj zajednici ovog pojasa prevladavaju planktoni, nektoni i donekle neustona.

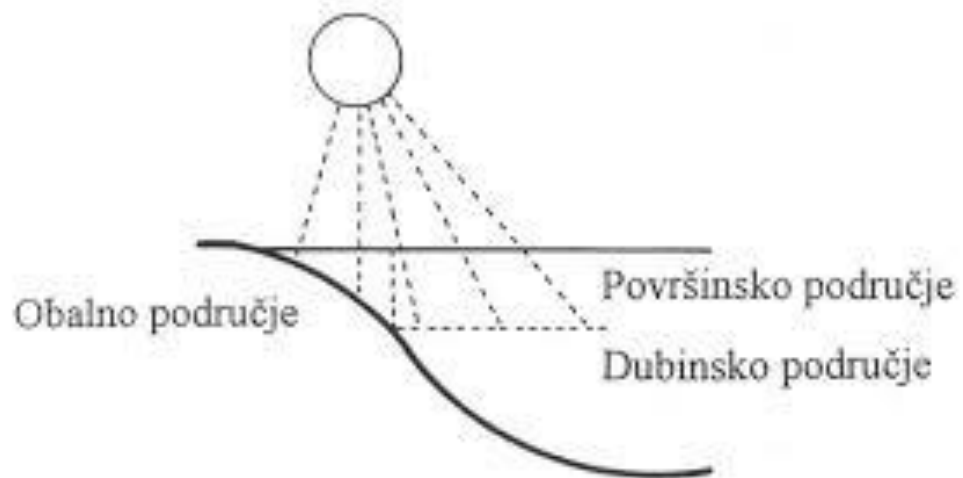
Dubinski sloj ili profundal dio je vode jezera ispod dubine prodiranja svjetlosti do dna. U plitkih bara, ribnjaka tog sloja nema. U tom sloju nastanjeni su organizmi bentosa.

Općenito na životne oblike i uvjete staništa u vodama možemo razlikovati slijedeće skupine organizama:

- a) Bentos ( organizmi koji žive na dnu ili pridnenim naslagama)
- b) Periphyton (organizmi koji su se prihvatili ili priljubili uz stabljike, lišće ili korijenje biljaka)
- c) Plankton ( lebdeći organizam čije kretanje ovisi o strujanju vode)
- d) Nekton ( plivajući organizam, poput riba)



e) Neuston ( organizmi koji se zadržavaju na površini) (4)



Slika 5. Podjela jezera na područja osvjetljenosti

## 1.6. EUTROFIKACIJA VODNIH SUSTAVA

U prirodnim vodama, koje su siromašne hranjivim tvarima, razvoj fitoplaktona, odnosno algi, proizvođača nove organske tvari, umjeren je i usklađen s razvojem potrošača prvog i viših redova. Takve su vode biste, prozirne, Sunčeva energija prodire i u dublje dijelove vodnog sustava pa su mogući postupci fotosinteze po dubini vodnog stupca. Razlike u količini otopljenog kisika po dubini stupca vode razmjerno su male, jer uslijed male proizvodnje biomase, postoji i mala količina mrtve organske tvari koja se razgrađuje. Kada se uvodi veća količina hranjivih tvari, čije podrijetlo potječe od gradskih i otpadnih voda industrije te oborinskih voda, a one koje potječu s poljoprivrednih površina stvaraju mogućnosti za povećani razvoj fotofilnih algi. Uslijed povećane proizvodnje fitoplaktona voda postaje znatno mutnija, uvelike se smanjuje prodiranje svjetlosti te se ograničava visina stupca same vode u kojem su mogući postupci fotosinteze. U gornjim slojevima, gdje se zbivaju povećani postupci fotosinteze, pojavljuje se prezasićenost (supersaturacija) kisikom. Potrošači prvog i viših redova sporije se razvijaju od proizvođača, pa dio mase fitoplaktona ugiba i dospijeva na dno. Na dnu sporofagi razlažu mrtvu organsku tvar, troše kisik, kojeg je zbog smanjenog procesa fotosinteze sve manje. Nakon iscrpljivanja otopljenog kisika u dubljim slojevima se nastavlja razgradnja organske tvari anaerobnim postupcima. Na samom dnu vodnog sustava taloži se mulj. Dio proizvoda razgradnje organske tvari, anorganske hranjive soli se vraćaju u površinske dijelove, tako povećavaju količinu hranjivih tvari i ubrzavaju eutrofikaciju. U plićim dijelovima vodnog sustava gomila se više mulja, smanjuje se dubina, pojavljuje su priobalna makrovegetacija, čije ugibanje povećava količinu mulja i koncentraciju hranjivih soli, ubrza se proces eutrofikacije pa se sustav približava bari odnosno

močvari. Pojava eutrofikacije svojstvena je za vode stajačice, jezera, spremnike, estuarije, zatvorene dijelove mora. Činitelji koji utječu na povećanu trofičnost voda su:

- hidrodinamičke osobitosti, tj. godišnja izmjena mase vode sa čistom vodom,
- godišnja raspodjela temperature i gustoće po dubini stupca vode,
- koncentracija hranjivih soli te njihova godišnja raspodjela po dubini vode,
- te ukupna proizvodnja biomase ekosustava.

Hranjive soli su najznačajniji poremećaj prirodne biloške ravnoteže u vodnim sustavima. Za većinu voda fosfor predstavlja vrlo bitan elemen, ugljik i dušik se mogu nadoknaditi iz atmosfere, za razliku od fosfora koji se taloži na dnu vodnog sustava te se vraća samo u ograničavajućim količinama u vodu. U posebnim slučajevima, dušik također može predstavljati kritičan element. Odnos elemenata dušika i fosfora ovisi koji će biti ograničavajući činitelj rasta trofikacije vodnog sustava. Kod malog odnosa N/P, ograničavajući će biti dušik, dok kod većih vrijednosti to će biti fosfor. Općenito je u oligotrofnim jezerima odnos N/P veći od 7 pa je fosfor ograničavajući činitelj. U eutrofnim jezerima N/P je manji od 7 i dušik predstavlja ograničavajući faktor. Proizvodnja biomase ovi uvijek o onom elementu koji je najviše ograničen u otopljenom stanju. (4)

## 1.7. KEMIJSKA KONTAMINACIJA U VODAMA

Kemijska kontaminacija je rezultat ulaska organskih i anorganskih tvari u vodu. Anorganski spojevi su spojevi koji ne sadržavaju ugljik, a u vodi dolaze kao posljedica poljoprivrednih i industrijskih aktivnosti. Organski spojevi su oni koji sadrže ugljik, a u vodu ulaze ispiranjem s poljoprivrednih površina i odvodnjom industrijskih otpadnih voda. Ispuštanjem otpadnih voda povećava opterećenost voda organskim i anorganskim kontaminatima. Proces onečišćenja voda dovode do eutrofikacije vodenog sustava. To je prirodna pojava, koja zbog povećanje količine fosfora i dušika u vodi dovodi do povećanog razvoja algi. Alge tako odnose veće količine kisika, čime guše ostatak života u vodi. U kemijske kontaminante ubijamo fluoride, sulfate, arsen, nitrite i nitrata te natrijeve soli. Možemo ih povezati s mnogim promjenama i trovanjima kod ljudi, kao što su nastanak karijesa, fluoroze, kroničnih trovanja, povišenog krvnog tlaka, proljeva kod djece te methemoglobinemije kod dojenčadi. (2)

### 1.7.1. DUŠIK

Plin bez mirisa, bez boje i koji je pri niskim temperaturama nereaktivan. Najviše se dušik se kao takav upotrebljava za proizvodnju umjetnih gnojiva, i to u iznimno velikom postotku od 85% ukupne svjetske proizvodnje, dok se ostatak koristi u različitim granama industrije. U prirodnom stanju se pojavljuje pretežno kao elementarni spoj, dobiven vulkanskim ekshalacijama, također dobiven iz mineralnih voda itd. Vežan je u obliku nitrata i nitrita, amonijaka i mnogih drugih organskih spojeva. Teško se spaja s drugim elementima, ne gori jer je nereaktivan ali također ne podržava gorenje. (5)

Dušik plin koji se nalazi u atmosferi, te pri posebnim uvjetima oksidacije prelazi u dušik-oksidi, a ispiranjem iz atmosfere oborinama dopire u vodu. Neke vrste algi, bakterija i biljaka mogu uzimati dušik iz atmosfere, ali najveći dio dušika u vodi nastane upravo razgradnjom organske tvari. Procesima ispiranja poljoprivrednih zemljišta unose se još veće količine dušikovih spojeva u vodene sustave. U vodi organski dušik i amonijak nisu poželjni, jer troše potrebni kisik za daljnju razgradnju. (4)

#### 1.7.2. NITRATI I NITRITI

Nitritni ioni (nitriti) nalaze se u malim količinama u podzemnoj vodi. Povećani sadržaj nitratnih iona pojavi se u procesu stvaranja spojeva amonijaka i organske tvari, te u reduciranju nitrata u nitrite. Oksidacija amonijevih spojeva uzrokovana je djelovanjem nitrificirajućih bakterija. Nitritni ioni nisu pronađeni u velikim količinama u površinskim vodama upravo zbog oksidacije do nitrata. Velike količine nitrata u vodi znak je onečišćenja voda bakterijama, te zaključujemo da je provedena neadekvatna dezinfekcija. Nitrati možemo naći u otpadnim vodama, vodama odlagališta, poljoprivrednim površinama i kanalizacijama gradova. (6)

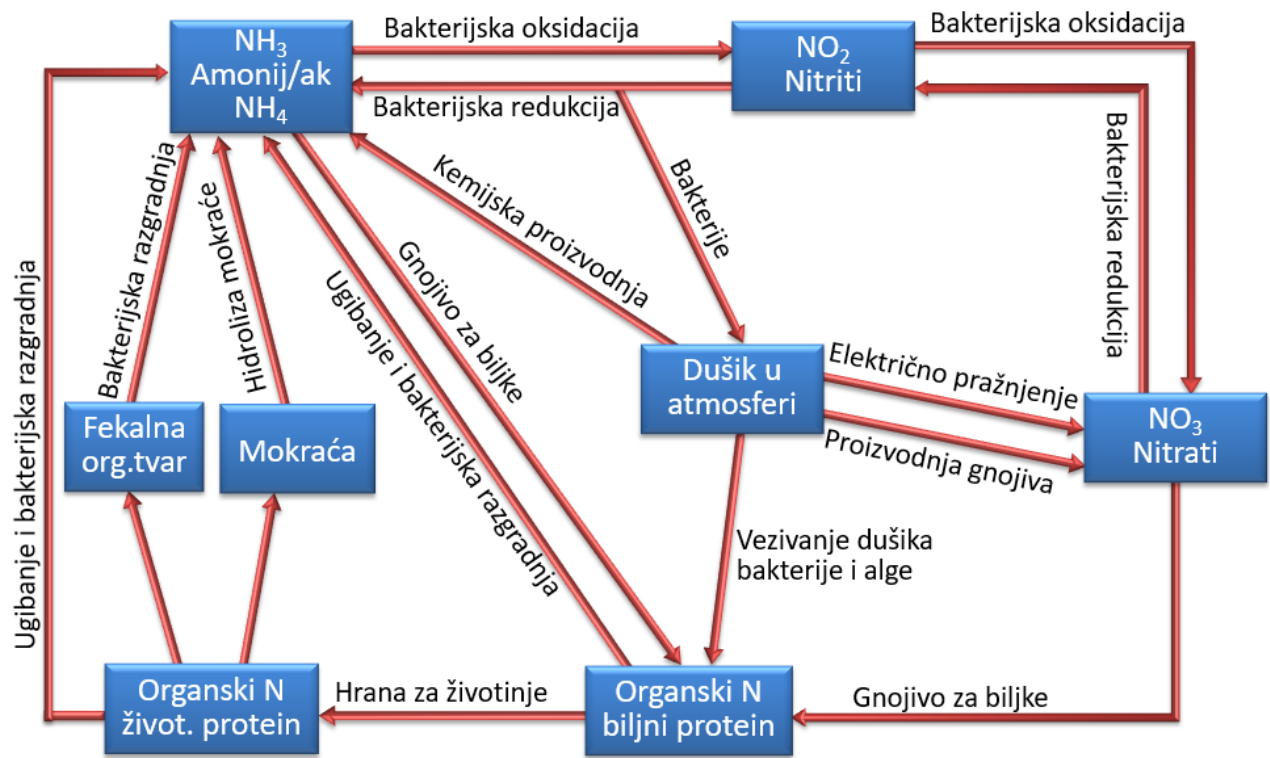
Nitrati ioni i nitritni ioni mogu dospjeti u tijelo čovjeka putem hrane, vode i zraka. Međutim, daleko najveći unos je upravo putem hrane jer se konzumiraju namirnice kod kojih se kao aditivi i konzervansi upotrebljavaju upravo nitrati. Poznato je da nitrati u mesnim prerađevinama i u mesu mogu u određenim uvjetima prijeći u visoko karcinogene spojeve N-nitrozamine. Unos putem vode se očituje u konzumiranju vode kontaminirane nitratima i nitritima, kao posljedica njihove prisutnosti u površinskoj i podzemnoj vodi nakon ispiranja tla koje je bilo tretirano anorganskim gnojivima. U vodu nitrati također mogu dospjeti iz otpadnih voda kontaminiranih

otpadom ljudskog ili životinjskog podrijetla, koji sadržavaju dušik u obliku amonijaka koji oksidiraju u nitrite pa u nitrati. (2)

Nitrati su otrovni u vodi za životinje ali također i za djecu. Veće količine nitrata u vodi dovodi do pojave methemoglobinemije, poznatu još kao bolest „plavog djeteta“. (4)

### 1.7.3. AMONIJAK

Amonijak predstavlja jedan od mnogih dušikovih spojeva u vodi. Spoj je dušika i vodika kemijske formule  $\text{NH}_3$ . Pri normalnoj temperaturi i tlaku je bezbojan plin, oštrog i karakterističnoga mirisa te je lako topljiv u vodi. Toksičan je za živi svijet, ali je i korozivan za pojedine materijale, pogotovo za vodovodne cijevi. Amonijak se kao plin nalazi otopljen u vodi, što ovisi o pH-vrijednosti i temperaturi vode. Amonijak nije poželjan u vodi jer troši kisik za svoju oksidaciju. Može biti otrovan za ribe i druge vodene organizme, ali treba naglasiti da je i korozivan. Pokazatelj je da je onečišćenje dušikovim spojevima svježje. Prisutnost amonijaka indikator je mikrobne razgradnje organskih tvari koje sadržavaju dušik. U površinskim vodama, za vrijeme vegetacije, amonijak se pojavljuje u malim količinama. Amonijak se lako prevodi u nitratne ione, uz pomoć nitrificirajućih bakterija. Takve vode imaju veći sadržaj nitrata, a smanjuje im se sadržaj amonijaka. (7) Količina amonijaka u vodi je nepovoljan pri dezinfekciji klorom jer se stvara spoj kloramin, koji je još opasniji po život vodenih organizama od samog klora. Prisustvom kisika u vodi, dušik se od amonijaka razgrađuje do nitrata i nitrita i taj proces naziva se proces nitrifikacije. (4)



Slika 6. Kruženje dušika

#### 1.7.4. UKUPNI DUŠIK

U vodu ukupni dušik može potjecati iz amonijevih iona, nitrata, nitrita pa čak iz organskih spojeva. Ukupni dušik čini zbroj upravo ovih dušikovih spojeva. Uključuje spojeve poput peptida, proteina, nukleinskih kiselina. Metoda koja se koristi za određivanje dušika u vodi je Kjeldahlova metoda, koja se temelji na određivanju ukupnog organskoga i amonijačnog dušika u vodi. Metoda se sastoji u tome da se svi prisutni oblici dušika prevode u amonijak uz pomoć katalizatora poput kalijevog sulfata i sulfatne kiseline i mnogih drugih. Slobodni amonijak se također prevodi u amonijak. Takav nastali amonijak određujemo spektrofotometrijski. (7)

#### 1.7.5. FOSFOR

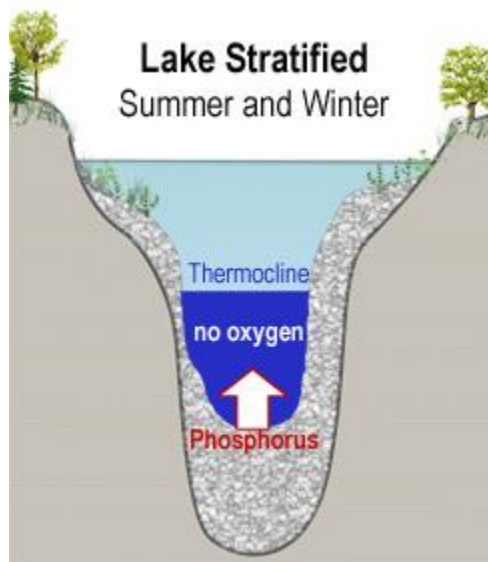
Fosfor glasi kao glavni nutrijent koji potiče primarnu produkciju u vodenim sustavima. Velike koncentracije fosfora dovode do povećanja rasta biljaka u vodama, što rezultira smanjenjem sunčevih zraka u vodi, i kao rezultat toga organizmi poput plaktona počnu ubrzano ugibati. Biljke kao takve razgrađuju aerobne bakterije koje za taj proces troše kisik, što rezultira smanjenjem kisika u vodi, a to predstavlja smrt za stanovnike u vodi. Fosfora najviše ima u detergentima i umjetnim gnojivima, te upravo iz toga razloga treba smanjiti njihovu upotrebu kako nebi došlo do gušenja živog svijeta u vodi. U vodi se fosfor nalazi u obliku ortofosfata, polifosfata i organski vezanog fosfora. Prirodne vode imaju povećanu koncentraciju fosfata zbog razgradnje organske tvari, zbog ispiranja poljoprivrednih zemljišta bogatih umjetnim gnojivima. Dok otpadne vode predstavljaju veliki izvor fosfata zbog povećane upotrebe deterdženata u kućanstvima i industriji. Razgrađuju se jako sporo, nisu otrovni i ne predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje, ali se povećava proizvodnja organske tvari dovodi do eutrofnog i distrofnog stanja ekosustava. Povećana količina fosfora u prirodnim vodama pokazatelj je opasnosti od eutrofikacije vodenih



sustava, pogotovo voda stajaćica. Koncentracija dušikovih i fosfornih spojeva izražava se u mg/l N odnosno mg/l P. (4)

#### 1.7.6. UKUPNI FOSFOR

Fosfor se obično mjeri na dva načina u jezerima, orto-fosfat (topivi reaktivni fosfor) i ukupni fosfor. Orto-fosfat je kemijski aktivni otopljeni oblik fosfora koji se uzima izravno od biljaka. Razine ortofosfata svakodnevno variraju, a u jezerima obično nije mnogo orto-fosfata jer se brzo ugrađuju u biljke. Ukupni fosfor (TP) je bolji način za mjerenje fosfora u jezerima jer uključuje i orto-fosfat i fosfor u biljnim i životinjskim fragmentima suspendiranim u jezerskoj vodi. Razine TP su stabilnije, a godišnji prosjek može vam mnogo reći o kvaliteti vode jezera i trofičkom stanju. Ukupni fosfor je također važan pokazatelj zagađenja vode fekalnom otpadnom tvari, deterdžentima i fertilizatorima. Drugi način na koji fosfor može ući u jezera je iz sedimenta na dnu jezera. Kada je dno jezera anoksično (obično u kasno ljeto i kasnu zimu), kemijski procesi na granici sedimenta vode uzrokuju oslobađanje fosfora iz sedimenata. Ovaj fenomen naziva se unutarnjim opterećenjem jer fosfor dolazi iz jezera (iz sedimenta). Kada se jezero ponovno miješa, taj povećani fosfor potiče rast algi. (8)



Slika 7. Oslobađanje fosfora iz sedimenta

Za određivanje ukupnog fosfora potrebna je prethodna digestija sa kalij-persulfatom, da bi se organski vezani fosfor oksidirao u ortofosfate i na taj način mogao kolorimetrijski odrediti.

Jezera su vodom ispunjene udubine na kopnu bez izravne veze s morem. Jezera gledajući sveukupno na Zemlji prekrivaju ukupno 2,1 milijuna km<sup>2</sup>, što čini nekakvih 1,4% površine kontinenta. Čini ih jezerski bazeni i vodena masa. Prema postanku udubine u Zemljinoj kori, jezera kao takva možemo podijeliti na tektonska, vulkanska, plazinska, ledenjačka, krška, riječna, meteoritska i umjetna. Tektonskim lomovima i spuštanjem dijelova terena nastaju velika jezera. Vodu jezera dobivaj oborinama, iz izvora koja se nalaze na obali ili unutar jezerskog bazena ili iz rijeka, a gube je procesima evaporacijom, površinskim i podzemnim otjecanjem. Pojam barakična ili slana jezera možemo objasniti tako što je isparavanje veće od dotoka svježeg vode, čime dolazi do porasta koncentracije otopljenih minerala u vodi. Brakičnim se smatra jezero koje u 1 litri vode sadrži oko 1 i 10 grama otopljenih minerala, a ako je ta koncentracija otopljenih tvari veća, jezero se smatra slano. O salinitetu jezerske vode ovisi razvitak i opstanak različitih biljnih i životinjskih organizama. Tako se jezero bogato životom naziva eutrofno, siromašno organizmima oligotrofno, a jezero u kojem nema života distrofno. (1)

## 1.8. LOKVARSKO JEZERO

U Gorskom kotaru, nalazi se mjesto Lokve, u kojemu je smješteno Lokvarsko jezero i to na visini od 723 metara nad morem. Lokvarsko jezero također možemo prepoznati i pod nazivom Omladinsko jezero. Umjetno je jezero, koje je nastalo zaustavljanjem rijeke Lokvare. To područje je nekada bila zelena dolina s naseljima, ali danas je to zeleno-plavo umjetno jezero duboko 40 metara. Jezero je izgrađeno 1954. godine, ali do danas se savršeno uklopilo u okoliš Gorskog kotara te kao takvo postalo jednom od glavnih atrakcija pogotovo za rekreativce, sportaše, ribiče te omiljeno mjesto za provođenje obiteljskih trenutaka. Zahvaljujući svojoj veličini i dubini jezero pruža mogućnosti za razne rekreativne i sportske sadržaje na vodi kao što su ribolov, vožnja čamcem, kupanje, orijentaciono ronjenje. Svake godine tradicionalno se u kolovozu održava susret ljudi željnih rekreacije, druženja, zabave bilo pješice ili na biciklu pod nazivom „POJ“ (Pješice oko jezera), ali i nova aktivnost nazvana „BOJ“ (biciklom oko jezera). Zadatak svakog sudionika je da pješice ili biciklom, bez vremenskog ograničenja, prijeđe stazu dugu 16 kilometara. Ta staza koristi se i kao šetalište, ali i kao staza za biciklističku vožnju. Lokvarsko je jezero bogato riječnim ribama i upravo zbog toga je omiljeno boravište ribiča, jer u njemu mogu uloviti klenu, šarana, karasa, pastrve i druge vrste riba. Zanimljiva je činjenica da je baš u Lokvarskom jezeru 1973. ulovljena najveća riječna pastrva u svijetu, teška nevjerojatnih 25,40 kilograma.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Zbog kemijske kontaminacije voda u Republici Hrvatskoj provedeno je ovo istraživanje na području općine Lokve, tj. na Lokvarskom jezeru, cilj rada je bio odrediti udio dušikovih spojeva kao što su nitrati, nitriti, fosfor, ukupni fosfor, ukupni dušik te amonijak. Podaci dobiveni iz Hrvatskih voda u tabličnom prikazu, iz razdoblja od 2013. do 2018. godine. Dobivene vrijednosti uspoređene su s važećim zahtjevima propisa o vodama.

### 3. MATERIJALI I METODE

Program ispitivanja obuhvaća ispitivanje površinskog i pridnenog dijela Lokvarskog jezera. Svi podaci su uzeti sa iste postaje, 30110 jezero Lokvara te su analizirani po danima, mjesecima i godinama. Podaci su se razlikovali po mikrolokacijama uzetih uzoraka, pa tako rad obuhvaća mikrolokaciju površina, 15 m, 1 m od dna, 10 m. Ovaj rad se obazirao samo na analizu hranjivih tvari, kao što su dušik, nitrati i nitriti, fosfor, amonijak i drugi spojevi. Svi podatci su dobiveni od Hrvatskih voda u računalnom programu Excel, te kao takvi su interpretirani u daljnjem radu.

#### 3.1. ODREĐIVANJE AMONIJAKA U UZORCIMA VODE

Ovaj postupak primjenjuje se za određivanje koncentracije amonijaka u vodama za ljudsku potrošnju, površinsku, podzemnu i otpadnu vodu, prema međunarodnoj normi HRN ISO 7150-1, prvo izdanje, svibanj 1998., Kakvoća vode – Određivanje amonija – 1.dio: Spektrometrijska metoda (ISO 7150-1:1984).

Metoda se temelji na spektrofotometrijskom određivanju pri valnoj duljini od 655 nm formiranog zelenog obojenog kompleksa koje se stvara pri reakciji amonija sa salicilatnim i hipokloritnim ionima u prisustvu natrijpentacijanoferata(III) (natrij-nitroprusida).

### 3.2. ODREĐIVANJE NITRITA U UZORCIMA VODE

Ovaj postupak primjenjuje se za određivanje nitrita u vodama za piće, vodama u prirodi i otpadnim vodama (u daljnjem tekstu "vodama"), te eluatu otpada prema međunarodnoj normi HRN EN 26777, prvo izdanje, svibanj 1998., Kakvoća vode – Određivanje nitrita – Molekularna apsorpcijska spektrofotometrijska metoda (ISO 6777:1984; EN 26777:1993).

Nitriti iz otopine reagiraju sa 4-aminobenzen sulfonaminom u prisutnosti fosforne kiseline (pH 1,9), te nastaje diazonijeva sol koja stvara ružičasto obojenje sa N-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidrokloridom. Spektrofotometrijsko mjerenje apsorpcije provodi se na  $\lambda=540$  nm.

### 3.3. ODREĐIVANJE FOSFATA U UZORCIMA VODE

Ovaj postupak primjenjuje se za određivanje ortofosfata u svim vrstama voda uključujući morsku vodu, te otpadne vode prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 6878, prvo izdanje, listopad 2008., Kakvoća vode – Određivanje fosfora – Spektrometrijska metoda s amonijevim molibdatom (ISO 6878:2004; EN ISO 6878:2004) točka 4.

Ortofosfati iz otopine reagiraju s kiselom otopinom koja sadrži molibdat i antimon ione pri čemu se stvara antimon fosfomolibdat kompleks. Redukcija ovog kompleksa s askorbinskom kiselinom stvara intenzivno plavo obojenje molibdenog kompleksa. Spektrometrijsko mjerenje apsorpcije provodi se na valnoj duljini  $\lambda=880$  nm.

### 3.4. ODREĐIVANJE UKUPNOG FOSFORA U VODAMA

Ovaj postupak primjenjuje se za određivanje ukupnog fosfora u vodi za ljudsku potrošnju, prirodnoj izvorskoj, stolnoj, površinskoj i podzemnoj vodi prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 6878, prvo izdanje, listopad 2008., Kakvoća vode – Određivanje fosfora – Spektrometrijska metoda s amonijevim molibdatom ( ISO 6878:2004; EN ISO 6878:2004).

Ortofosfati iz otopine reagiraju s kiselom otopinom koja sadrži molibdat i antimon ione pri čemu se stvara antimon fosfomolibdat kompleks. Redukcija ovog kompleksa s askorbinskom kiselinom stvara intenzivno plavo obojenje molibdenog kompleksa. Spektrometrijsko mjerenje apsorbancije provodi se pri valnoj duljini od 880nm.

### 3.5. ODREĐIVANJE NITRATA U VODAMA

Ovaj postupak se primjenjuje za određivanje otopljenih nitrata metodom ionske kromatografije u vodi za ljudsku potrošnju, prirodnu izvorsku, prirodnu mineralnu, stolnu, površinsku, podzemnu vodu, otpadnu vodu, te eluat otpada prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 10304-1:2009 (ISO 10304-1:2007;/EN ISO10304-1:2009).

Ionska kromatografija proces je kromatografije koji razdvaja ione i polarne molekule na temelju njihovog afiniteta prema ionskom izmjenjivaču. Radi na gotovo bilo kojoj vrsti nabijenih molekula - uključujući velike proteine, male nukleotide i aminokiseline.



## 4. REZULTATI

Tablica 1. Mikrolokacija: Površina

|                                      |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Amonij (mgN/l)</b>                | <b>0,009</b> | <b>0,006</b> | <b>0,007</b> | <b>0,012</b> | <b>0,008</b> | <b>0,015</b> | <b>0,009</b> | <b>0,009</b> | <b>0,017</b> | <b>0,002</b> | <b>0,028</b> | <b>0,024</b> | <b>0,009</b> | <b>0,021</b> | <b>0,007</b> | <b>0,009</b> | <b>0,013</b> |
| <b>Nitrati (mgN/l)</b>               | 0,28         | 0,29         | 0,21         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | 0,26         | 0,26         |
| <b>Nitriti (mgN/l)</b>               | 0,005        | <0,005       | <0,005       | 0,005        | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       |
| <b>Ortofosfati otopljeni (mgP/l)</b> | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       | <0,005       |
| <b>Ukupni fosfor (mgP/l)</b>         | 0,057        | 0,053        | 0,019        | 0,016        | 0,015        | 0,019        | 0,035        | 0,012        | 0,017        | 0,002        | 0,029        | 0,038        | 0,012        | 0,031        | 0,008        | 0,016        | 0,025        |

Tablica 2. Mikrolokacija: 15 m

|                        |              |              |              |              |              |              |              |                  |              |              |              |              |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Amonij (mgN/l)</b>  | <b>0,005</b> | <b>0,005</b> | <b>0,008</b> | <b>0,009</b> | <b>0,003</b> | <b>0,002</b> | <b>0,008</b> | <b>&lt;0,005</b> | <b>0,007</b> | <b>0,006</b> | <b>0,008</b> | <b>0,002</b> |
| <b>Nitrati (mgN/l)</b> | 0,37         | 0,34         | 0,22         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2         | <0,2             | <0,2         | <0,2         | 0,26         | 0,30         |

|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |      |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| <b>Nitriti (mgN/l)</b>                   | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 |      |
| <b>Ortofosfati<br/>otopljeni (mgP/l)</b> | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 | <0,0<br>05 |      |
| <b>Ukupni fosfor<br/>(mgP/l)</b>         | 0,04       | 0,07       | 0,01<br>4  | 0,01<br>3  | 0,01<br>6  | 0,01<br>9  | 0,02<br>7  | 0,02<br>7  | 0,02<br>7  | 0,02<br>5  | 0,00       | 0,02       | 0,03 |

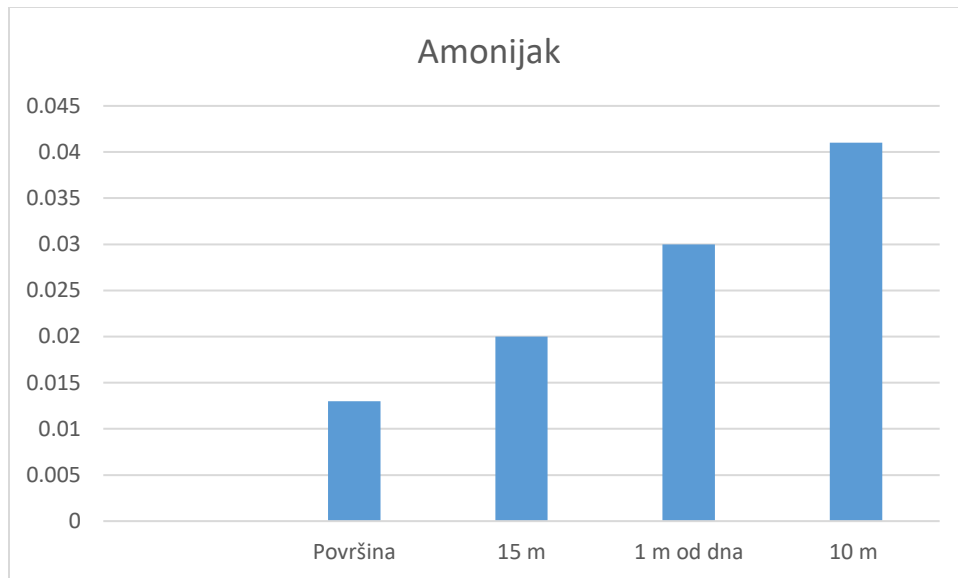
Tablica 3. Mikrolokacija: 1 m od dna

|  |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |          |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| <b>Amonij<br/>(mgN/l)</b>                    | 0,<br>00<br>5  | <0<br>,0<br>05 | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>01       | 0,<br>05       | 0,<br>02       | 0,<br>02       | <0<br>,0<br>05 | 0,<br>02       | 0,<br>15       | 0,<br>03       | 0,<br>03 |
| <b>Nitrati<br/>(mgN/l)</b>                   | 0,<br>3        | 0,<br>28       | 0,<br>27       | 0,<br>23       | 0,<br>2        | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | <0<br>,2       | 0,<br>26       | 0,<br>26       |          |
| <b>Nitriti<br/>(mgN/l)</b>                   | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 |          |
| <b>Ortofosfati<br/>otopljeni<br/>(mgP/l)</b> | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | 0,<br>00<br>5  | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 | <0<br>,0<br>05 |          |

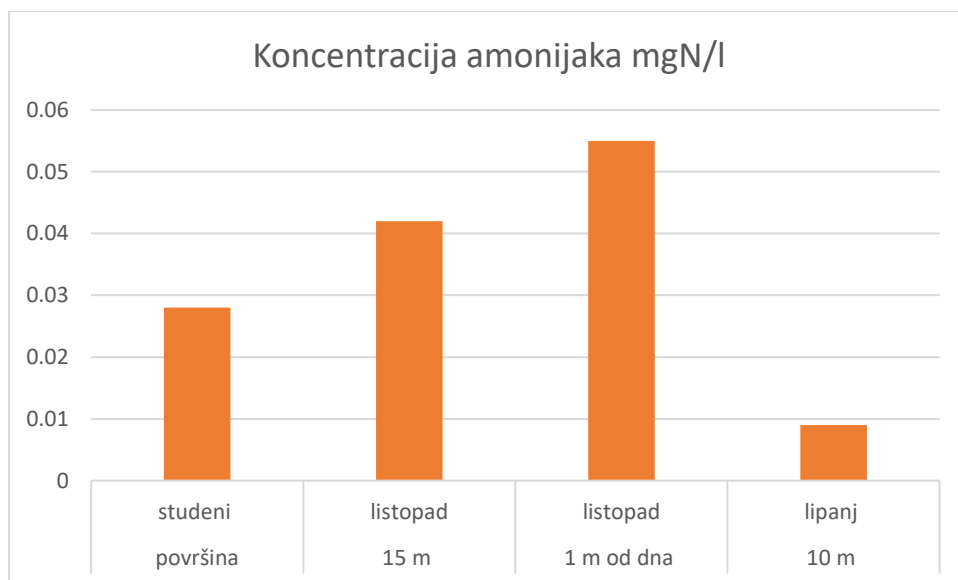
|                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Ukupni fosfor (mgP/l)</b> | 0,039 | 0,066 | 0,011 | 0,015 | 0,018 | 0,015 | 0,022 | 0,016 | 0,026 | 0,028 | 0,041 | 0,011 | 0,011 | <0,05 | 0,021 | 0,025 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Tablica 4. Mikrolokacija: 10 m

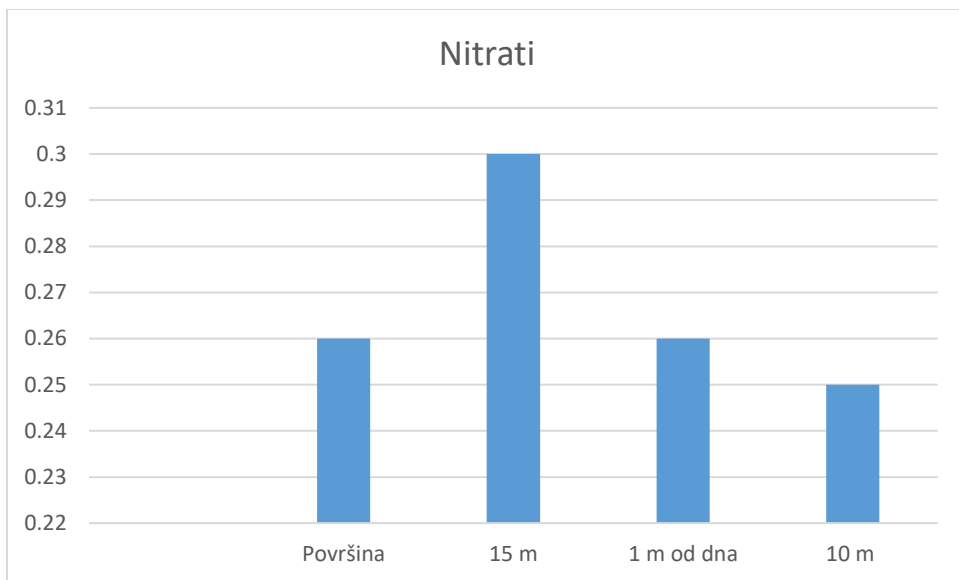
|                                      |              |              |                  |             |             |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|------------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Amonij (mgN/l)</b>                | <b>0,006</b> | <b>0,009</b> | <b>&lt;0,005</b> | <b>0,13</b> | <b>0,02</b> | <b>0,041</b> |
| <b>Nitrati (mgN/l)</b>               | 0,25         | <0,2         | <0,2             | <0,2        | <0,2        | 0,25         |
| <b>Nitriti (mgN/l)</b>               | <0,005       | <0,005       | <0,005           | <0,005      | <0,005      | <0,005       |
| <b>Ortofosfati otopljeni (mgP/l)</b> | <0,005       | <0,005       | <0,005           | <0,005      | <0,005      | <0,005       |
| <b>Ukupni fosfor (mgP/l)</b>         | 0,015        | 0,017        | 0,012            | 0,012       | 0,034       | 0,018        |



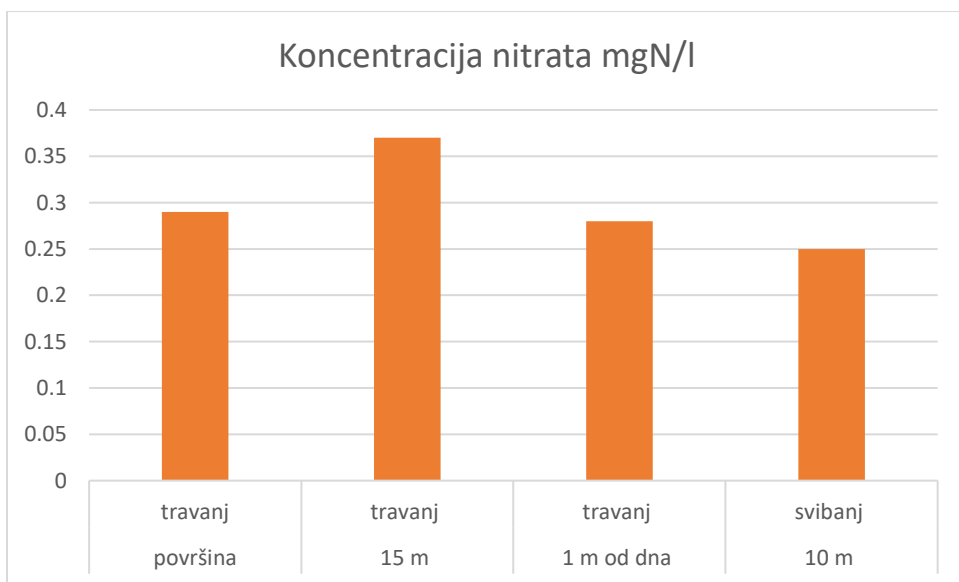
Slika 8. Prosječna vrijednost amonijaka na mikrolokacijama



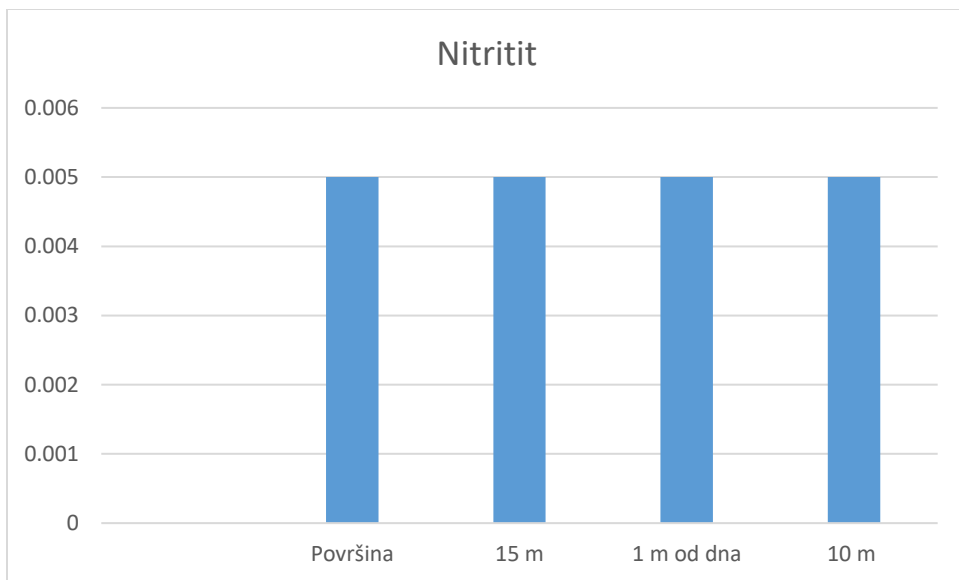
Slika 9. Koncentracija amonijaka po mikrolokacijama i mjesecima



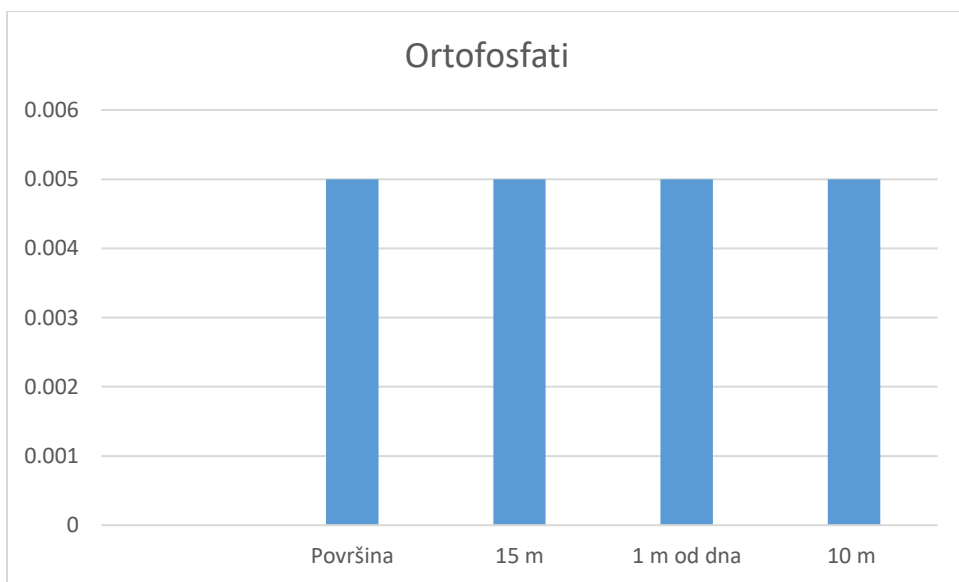
Slika 10. Prosječna vrijednost nitrata na mikrolokacijama



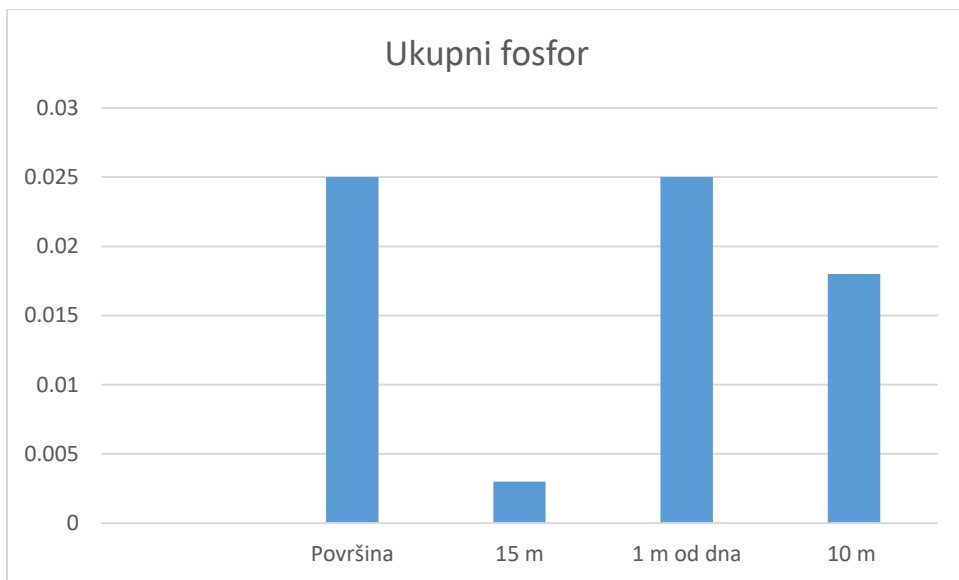
Slika 11. Koncentracija nitrata po mikrolokacijama i mjesecima



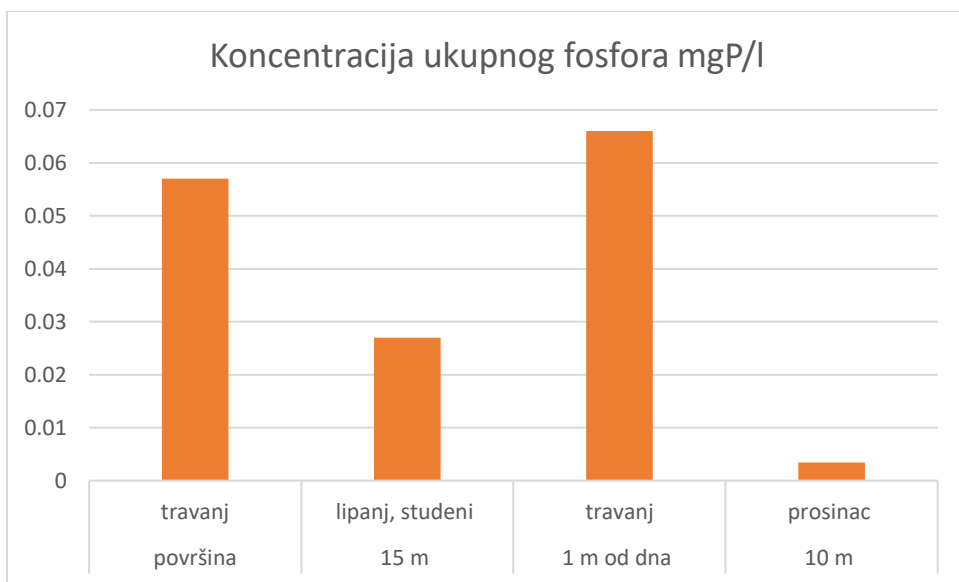
Slika 12. Prosječna vrijednost nitrita na mikrolokacijama



Slika 13. Prosječna vrijednost ortofosfata na mikrolokacijama



Slika 14. Prosječna vrijednost ukupnog fosfora na mikrolokacijama



Slika 15. Ukupni fosfor po mikrolokacijama i mjesecima

## 5. RASPRAVA

Sadržaj dušikovih i fosfornih spojeva važan je za biološku produktivnost u vodi. Relativno niske koncentracije fosfora i dušika u vodama ograničavaju rast živih organizama posebice fitoplanktona i drugih biljaka. Stupanj produktivnosti vode utječe na kakvoću vode prvenstveno kroz povećanje sadržaja organskih tvari i odvijanja procesa razgradnje te tvari pri čemu se troši kisik.

U Republici Hrvatskoj na snazi je nekoliko Uredbi koje se odnose na vode i njihovu kakvoću. Prema Uredbi o klasifikaciji voda (narodne novine 77/98) sve površinske i podzemne vode u Republici Hrvatskoj raspoređene su prema njihovoj namjeni i stupnju čistoće u pet vrsta:

Vrsta I. Predstavlja podzemne i površinske vode koje u svom prirodnom stanju ili nakon dezinfekcije mogu koristiti za piće ili u prehrambenoj industriji, te površinske vode koje se mogu koristiti za uzgoj plemenitih vrsta riba

Vrsta II. Predstavlja vode koje se u prirodnom stanju mogu koristiti za kupanje i rekreaciju, za sportove na vodi, za uzgoj drugih vrsta riba ili koje se nakon odgovarajućeg pročišćavanja mogu koristiti za piće i druge namjene u industriji

Vrsta III. Predstavlja vode koje se mogu koristiti u industrijama koje nemaju posebne zahtjeve za kakvoćom vode, te u poljoprivredi. Te vode su one koje se koriste za određene namjene nakon pročišćavanja.

Vrste IV. Predstavlja vode koje se mogu koristiti isključivo uz pročišćavanje na područjima gdje je veliko pomanjanje vode.



Vrste V. Predstvalja vode koje se gotovo ne mogu koristiti ni za kakve namjene, jer ne zadovoljavaju kriterije za namjene po ovoj Uredbi. (11)

Uspoređujući dobivene rezultate za dobivene koncentracije amonijaka sa Uredbom o klasifikaciji vode u površinskom sloju se uglavnom kretala u granicama vode I. vrste, tj. vode koje se nakon dezinfekcije mogu koristiti kao voda za piće.

Podaci o nitratima dobivenim od Hrvatskih voda, uspoređujući sa Uredbom spadaju u I. Vrstu vode jer se kreću u tim omjerima.

Koncentracije nitrita i ortofosfata su u cijelom razdoblju su bile identične te nisu prelazile vrijednost  $<0,005$  te kao takve također spadaju u I. vrstu voda.

Koncentracija ukupnog fosfora cijelim razdobljem spada u II. vrstu voda, samo sa povremenim oscilacijama unutar brojki koje nekad iznose manje.

Prema Uredbi o klasifikaciji voda, ocijenila sam da Lokvrasko jezero prema svim parametrima spada u I. vrstu vode osim prema koncentraciji ukupnog fosfora ali kao takav mogu ga ocijeniti da prema stupnju trofije spada u oligotrofno jezero. To znači da jezero kao takvo nije bogato živućim organizmima jer ima male koncentracije fosfora i dušika koji ograničavaju život u jezeru.

Uspoređujući prosječne vrijednosti nitrata i ukupnog fosfora, na mikrolokacijama, skladno Uredbi o standardu kakvoće vode NN 73/13 , prema graničnim vrijednostima ekološkog stanja za osnovne fizikalno- kemijske pokazatelje, prema prosječnim godišnjim vrijednostima utvrđeno je da: (9)

Tablica 5. Granične vrijednosti ekološkog stanja s obzirom na hranjive tvari

| Oznaka tipa | Mikrolokacija | God. vrijed. nitrata mgN/l | God. vrijed. uk. fosfor mgP/l | Kategorija ekološkog stanja s obzirom na nitrate/uk. fosfor |
|-------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|---|
| HR-J_2      | Površina      | 0,26                       | 0,25                          | dobra/dobro   |
| HR-J_3      | 15 m          | 0,3                        | 0,003                         | vrlo dobro/vrlo dobro                                       |
| HR-J_4      | 1 m od dna    | 0,26                       | 0,025                         | vrlo dobro/vrlo dobro                                       |
| HR-J_5      | 10 m          | 0,25                       | 0,018                         | vrlo dobro/vrlo dobro                                       |

Koncentracija amonijaka varirala je po mikrolokacijama, međutim najveća koncentracija amonijaka je iznosila na dubini od 10 m te je iznosila 0,041 mgN/l , a najviše zabilježene vrijednosti mjerene su u zimskim mjesecima, što je vidljivo na slici 9. Koncentracija je iznosila 0,041 mgN/l.

Promatrajući sliku 11. koncentracija nitrata po mikolokacijama, najveća koncentracija nitrata je bila u središnjem dijelu jezera, tj. na 15 m dubine, te je iznosila 0,30 mg N/l. Što se tiče godišnjeg doba, najveća koncentracija se pokazala u proljeće, tj. cijelim periodom istraživanja je to bilo u mjesecu travnju.

Prema podacima dobivenim od Hrvatskih voda, koncentracije nitrita i ortofosfata nisu uopće varirale niti tokom godišnjeg doba, ali ni po mikrolokacija se nisu razlikovale. Pa tako kažem da je njihova koncentracija bila stalna tijekom cijelog razdoblja promatranja. Prema Uredbi o standardu kakvoće vode, određene su granične vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari te njihove maksimalne dozvoljene koncentracije. U tu grupu spadaju nitriti i ortofosfati čije propisane granične vrijednosti iznose 0,5 mg/L za nitrite i 0,2 mg/L za ortofosfate. Dobivene koncentracije ni za nitrite, a ni za ortofosfate nisu prelazile tu granicu.

Ispitivanja stanja ukupnog fosfora prema rezultatima dobivenim od Hrvatskih voda, za radoblje 2013. i 2014. godine po mjesecima pokazala su kako su koncentracije ukupnog fosfora varirale u različitim dubinama, ali i različitim godišnjim dobima. Slika 15. prikazuje najveću vrijednost ukupnog fosfora izmjerenu na površini i pridnenom dijelu jezera te je prosječna vrijednost iznosila 0,025 mgP/l. Također najveća koncentracija u tim dijelovima je bila u proljeće. Na središnjem dijelu jezera koncentracija ukupnog fosfora se povećala u zimskom periodu.

Slika 14. nam prikazuje prosječne vrijednosti ukupnog fosfora prema mikrolokacijama, izračunavanjem srednje vrijednosti ukupnog fosfora prema svim mikrolokacijama u računalnom programu Excel dobila sam ukupnu srednju vrijednost ukupnog fosfora koja iznosi 0,071 mgP/l. Prema Uredbi o standardu kakvoće vode 73/13 jezero Lokve po graničnoj vrijednosti pokazatelja eutrofikacije u jezerima prema ukupnom fosforu spada u dobro stanje.

## 6. ZAKLJUČAK

Prema provedenom istraživanju i usporedbe podataka sa Uredbama, Pravilnicima i Zakonima promatrano Lokvarsko jezero spada u duboko jezero, koje ima 40 m dubine te se upravo zbog te dubine koristi kao mjesto za rekreaciju, ribolov te razna natjecanja. Dobivene podatke od Hrvatskih voda interpretirala sam uz pomoć Uredbi vezanih za jezera u Hrvatskoj. Prema njima Lokvarko jezero spada u I.vrstu vode, tj. u podzemne i površinske vode koje se u svom prirodnom stanju ili nakon dezinfekcije mogu koristiti za piće ili u prehrambenoj industriji, te površinske vode koje se mogu koristiti za uzgoj plemenitih vrsta riba.

Relativno niske koncentracije fosfora i dušika u vodama ograničavaju rast živih organizama posebice fitoplanktona i drugih biljaka. Upravo zbog niskih koncentracija fosforovih i dušikovih soli, jezero spada prema stupnju trofije u oligotrofno jezero, tj. jezero koje je siromašno organizmima.

Promatrajući prosječne vrijednosti nitrata i ukupnog fosfora, prema Uredbi o standardu kakvoće vode NN 73/13, uspoređivala sam granične vrijednosti ekološkog stanja s obzirom na hranjive soli vode u jezeru. Prema tim kriterijima jezero je prema promatranim četirima kategorijama u tri kategorije spalo u vrlo dobro ekološko stanje, dok je smo u jednoj od promatranih kategorija spalo u dobro ekološko stanje.

Lokvasko jezero je prema godišnjim dobima i promatranim parametrima najviše koncentracije nitrata, nitrita, ortofosfata i ukupnog fosfora bila upravo u proljeće. Dok je koncentracija amonijaka uglavnom bila izražena u zimskim mjesecima.

Vrlo je bitno da se kontrole vode općenito provode često, te da se parametri kontroliraju i provjeravaju. Kao što znamo jezera kao takva nastaju neposredno od oborina i padalina i zbog toga neznamo iz kakvog izvora voda dolazi te koliki je stupanj njezinog onečišćenja, niti stupanj trofije ni čak vrsta vode. Te kao takva mislim da bi trebala biti često podložna analizama i provjerama zbog očuvanja života u jezeru i izvan njega.

## 7. LITERATURA

1. Mayer D.; Voda od nastanka do upotrebe; Zagreb; Prosvjeta; 2004.
2. Puntarić D., Miškulin M., Bošnjir J. i suradnici; Zdravstvena ekologija; Zagreb; Medicinska naklada; 2012.
3. Duraković S. ; Primjenjena mikrobiologija; Zagreb; Prehrambeno tehnološki inženjering; 1996.
4. Tedeschi S.; Zaštita voda; Zagreb : Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 1997.
5. Peternal R.; Kemija onečišćujućih tvari, Velika Gorica; Veleučilište Velika Gorica, 2012
6. Nitrati NO<sub>3</sub> – i Nitriti NO<sub>2</sub>; <https://www.hydrolux.info/english/06%20problemi/nitrati-u-vodi.html>; posjećeno dana 20.05.2019.godine
7. Tušar, B.; Pročišćavanje otpadnih voda; Zagreb; Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2009.
8. Environmental Laboratories, Inc.; Lakes Monitoring program; <https://www.rmbel.info/primer/total-phosphorus/>; posjećeno dana 21,05.2019.
9. Vlada Republike Hrvatske; Zakon o vodama; Uredba o standardu kakvoće vode NN 73/13
10. Vlada Republike Hrvatske; Zakon o vodama; Uredba o klasifikaciji voda NN 77/1998
11. Hrvatske vode; Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće; Zagreb ; 2015.