

# Ispitivanje kakvoće vode na jezeru Šoderica

---

Košćak, Doroteja

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:890437>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**DOROTEJA KOŠČAK**

**ISPITIVANJE KAKVOĆE VODE NA JEZERU ŠODERICA**

**DIPLOMSKI RAD**

**VARAŽDIN, 2022.**

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 14. 07. 2022 u 9 sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varoždinu  
Varaždin, 30. 06. 2022

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Saufa Kovarić

#### Članovi povjerenstva

- 1) Izv. prof. dr. sc. Anuša Plišek Simčić
- 2) Dr. sc. Dragana Dogačić
- 3) Izv. prof. dr. sc. Nikola Sakarić
- 4) Izv. prof. dr. sc. Saufa Kovarić

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**DIPLOMSKI RAD**

**ISPITIVANJE KAKVOĆE VODE NA JEZERU ŠODERICA**

**KANDIDAT:**

**DOROTEJA KOŠČAK**

*D. Koščak*

**MENTOR:**

izv. prof. dr. sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

**VARAŽDIN, 2022.**

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Ispitivanje katvoće vode na jezeru Šoderica

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Izv.prof.dr.sc. Anite Ptiček Siročić.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 27.06.2022.

DOROTEJA KOŠČAK  
(Ime i prezime)

D. Koščak  
(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ  
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

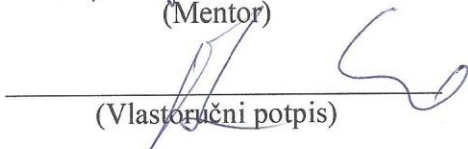
Ispitivanje kvalitete vode na Jezeru Šodenica

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 27.06.2022.

izr. prof. ANITA PRČKA SIKSČIĆ

(Mentor)

  
(Vlastoručni potpis)

## **Zahvala**

*Zahvaljujem mentorici izv.prof.dr.sc. Aniti Ptiček Siročić i neposrednoj voditeljici dr.sc. Dragani Dogančić na iskazanom povjerenju, razumijevanju, strpljenju, odvojenom vremenu i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada. Zahvaljujem i članovima komisije izv.prof.dr.sc. Nikoli Sakaču i izv.prof.dr.sc. Sanji Kovač.*

*Zahvaljujem Zavodu za javno zdravstvo Koprivničko – križevačke županije i načelniku općine Legrad na ustupljenim podacima.*

*Zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima, prijateljicama i dečku na pruženoj podršci tijekom studiranja.*

*Najveća zahvala ide roditeljima i bratu koji su mi omogućili obrazovanje, bili uz mene u tužnim i sretnim trenucima, pružili podršku i vjerovali u mene.*

## **SAŽETAK**

Voda je najzastupljenija tvar u građi svih živih bića i nezamjenjiv sastojak hrane. Čini oko 60 – 70 % tjelesne mase odraslog čovjeka i neophodna je za život i zdravlje. Voda nije samo vitalna potreba već je i resurs koji se koristi u svakodnevnom životu. Dobra kvaliteta vode ključna je za ljudsko zdravlje, društveni i gospodarski razvoj te ekosustav. Rastom populacija degradira se prirodni okoliš pa osiguravanje dovoljnih i sigurnih zaliha voda postaje sve izazovnije te se zbog toga provodi monitoring kakvoće vode. Ispitivanje kakvoće vode za kupanje uključuje terenska opažanja i laboratorijska ispitivanja. Tijekom uzorkovanja bilježe se podaci vezani uz izgled vode, a laboratorijska ispitivanja provode se u ovlaštenim laboratorijima zavoda za javno zdravstvo na području županije u kojoj se nalazi lokacija kupališta. Ispitivanje kakvoće vode provodilo se na jezeru Šoderica koje se nalazi u Koprivničko – križevačkoj županiji. Jezero Šoderica je umjetno jezero koje je nastalo zbog iskopa šljunka, a koristi se i kao kupalište. Rezultati analize su pokazali da su svi analizirani pokazatelji kakvoće vode u skladu s Pravilnikom te da je voda zadovoljavajuće kakvoće za kupanje.

**KLJUČNE RIJEČI:** jezero Šoderica, voda, kakvoća vode



## **ABSTRACT**

Water is the largest part in the biology of all living creatures and an irreplaceable component of their life source – food. It makes up 60 to 70% of a grown man's body weight and it plays a vital role in the quality of people`s life and health. It is not only a vital need, but also a resource that is used on a daily basis. Good quality of water is essential when it comes to our health, social and economic prosperity and the ecosystem itself. As the world's population rises, its negative impact on the environment becomes increasingly negative and as a result it becomes increasingly difficult to secure and maintain proper and safe water supply rates. . It is for this reason that monitoring the quality of water is essential. The testing of water quality (meant for bathing) conducted in this paper included field observations and laboratory research, during which data were collected concerning the appearance of water. This research was done in alaboratory of the Natural Health Department of the region in which the bathing location known as Šoderica is situated. Lake Šoderica is an artificial lake created due to the excavation of gravel, and it is also used as a bathing area, which is why the water quality test was conducted. The results showed that all analysed parameters were in accordance with the Ordinance and that the water was of satisfactory bathing quality.

**Key words:** lake Šoderica, water, water quality

## SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Opći dio .....	2
2.1. Površinske i podzemne vode .....	2
2.2. Pokazatelji kakvoće vode .....	5
2.3. Utjecaj na zdravlje ljudi .....	22
2.4. Zakonska regulativa .....	23
3. Eksperimentalni dio .....	28
3.1. Opis lokacije .....	28
3.2. Uzorkovanje .....	29
4. Rezultati i rasprava .....	36
4.1. Analiza temperature uzorka .....	36
4.2. Analiza pH vrijednosti .....	37
4.3. Analiza električne vodljivosti .....	38
4.4. Analiza koncentracije nitrata .....	39
4.5. Analiza koncentracije nitrita .....	40
4.6. Analiza koncentracije amonija .....	40
4.7. Analiza BPK <sub>5</sub> .....	41
4.8. Analiza KPK .....	42
4.9. Analiza koncentracije kalija, kalcija, magnezija natrija, saliniteta, sulfata, ukupno otopljenih tvari, klorida i fosfata .....	42
4.10. Analiza koncentracije cinka, bakra, kadmija, kroma, molibdena, nikla i selenija .....	47
5. Zaključak .....	48
6. Literatura .....	49
7. Popis slika .....	54
8. Popis tablica .....	55

## 1. Uvod

Voda je prirodna anorganska tekućina bez boje, okusa i mirisa. Molekula vode sastoji se od dva atoma vodika i jednog atoma kisika koji su međusobno povezani kovalentnim vezama. Nalazi se u tri agregatna stanja: kruto, tekuće i plinovito [1]. U hidrosferi je nejednako raspodijeljena, 97 % vode nalazi u oceanima, 2 % se nalazi u snježnim pokrovima i ledenjacima, 0,61 % u podzemnim vodama, a ostatak čine vode u slatkovodnim jezerima, vlaga u tlu i atmosferi te voda u rijekama. Vode se dijele na površinske i podzemne. Zbog svoje pokretljivosti i sposobnosti otapanja različitih spojeva najugroženiji je dio ljudskog okoliša. Danas se sve češće susreću vode koje kakvoćom nisu pogodne za ljudsku upotrebu. Posljedica je to različitih ljudskih aktivnosti koje negativno djeluju na kakvoću vode. Intenzivan razvoj urbanih centara, industrijske i poljoprivredne proizvodnje i prometa prati sve veće stvaranje krutih, tekućih i plinovitih otpadnih tvari. Kakvoća vode određuje se fizikalnim, kemijskim i biološkim pokazateljima. Pokazatelji za klasifikaciju voda svrstavaju se u dvije skupine. Prvu skupinu čine obvezni pokazatelji za ocjenu opće ekološke funkcije voda: pH, alkalitet, električna vodljivost, otopljeni kisik, zasićenje kisikom, kemijska potrošnja kisika (KPK), biokemijska potrošnja kisika (BPK), hranjive tvari (amonijak, nitriti, nitrati, ukupni dušik i ukupni fosfor), mikrobiološki i biološki pokazatelji. Drugu skupinu čine pokazatelji koji se ispituju temeljem posebnih programa sadržanih u planovima za zaštitu voda i ciljanim programima ispitivanja kakvoće voda zajedno s obveznim pokazateljima služe za širu ocjenu opće ekološke funkcije voda. Tu skupinu čine: metali (bakar, cink, kadmij, olovo, krom, živa i nikal), organski spojevi (mineralna ulja, ukupni fenoli, poliklorirani bifenili (PCB), linden, diklordifeniltrikloretan (DDT)) i radioaktivnost. Uredbom o klasifikaciji voda propisane su metode određivanja svakog od pokazatelja [2]. Cilj ovog rada bio je ispitati kakvoću vode jezera Šoderica te utvrditi da li su analizirani fizikalni i kemijski pokazatelji u skladu s propisanom zakonskom regulativom.

## 2. Opći dio

### 2.1. Površinske i podzemne vode

Površinske vode su vode koje teku ili stoje na površini Zemlje. Nastaju iz atmosferskih voda i voda koje otiču s površine [3]. Površinske vode čine slatke i slane vode. Slatke vode su: rijeke, jezera, lokve, bare, močvare, a slane su: mora, oceani i bočate vode (slatke vode izmiješane s morskom vodom) [2]. Dio oborinskih voda koje padnu na tlo, a ne ispari u atmosferu stvara površinske vodotoke. Oceani i mora su početna točka hidrološkog ciklusa. Hidrološki ciklus rezultat je više procesa koji se zbivaju simultano, a rezultira transferom dijela vode iz oceana i mora na kontinente (slika 1.). Jezera su udubine na kopnu koje su ispunjene vodom te nemaju izravnu vezu s morem. Jezera na Zemlji prekrivaju 1,4 % površine i sadrže oko 180 000 km<sup>3</sup> vode. Prema postanku mogu biti tektonska, vulkanska, planinska, ledenjačka, krška, riječna, meteoritska i umjetna. Jezera vodu dobivaju iz izvora koji se nalaze na obali ili unutar jezerskog bazena, utokom rijeka i oborinama [1].



**Slika 1.** Kruženje vode u prirodi [4]

Rijeke su najveći prirodni vodotoci i obuhvaćaju oko 0,0002 % od ukupne vodne mase na Zemlji [5]. Površinske vode smatraju se obnovljivim resursima. Količina

vode u rijekama i jezerima mijenja se zbog dotoka i istjecanja. Dotoci u ta vodna tijela dolaze putem oborina, kopnenog otjecanja, procjeđivanja podzemnih voda i dotoka pritoka. Količina i položaj površinske vode mijenja se tijekom vremena [6]. Postoje tri vrste površinskih voda: višegodišnje, efemerne i umjetne. Višegodišnja ili trajna voda je ona koja opstaje tijekom cijele godine i nadopunjuje se podzemnom vodom kada ima malo oborina. Efemerna ili polutrajna postoji samo dio godine. Pod efemerne površinske vode spadaju mali potoci i lagune. Umjetne površinske vode su one koje je napravio čovjek [7].

Površinske vode se koriste za piće, za navodnjavanje, pročišćavanje otpadnih voda, stočarstvo, industriju, hidroelektrane i za rekreaciju. Onečišćenje površinskih voda događa se kada opasne tvari dođu u dodir i otapaju se ili se fizički pomiješaju s vodom. Zbog visoke cijene pitke vode i činjenice da voda nije uvijek dostupna sve površinska voda se sve češće koristi za potrebe industrije [8].

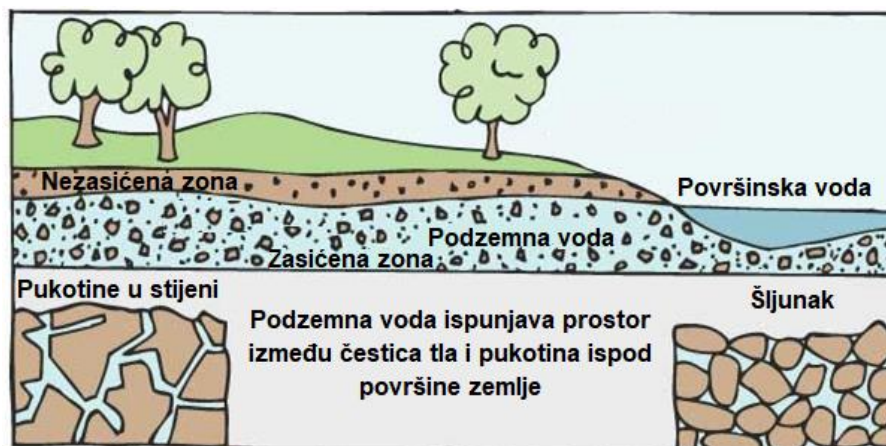
Podzemne vode smještene su u nepropusnim vodonosnim područjima aluvijalnih i kvartarnih naslaga, a najčešće su povezane s riječnim sustavima [2]. U globalnoj hidrološkoj bilanci čine najveći dio slatke vode u tekućem stanju. Prema načinu kretanja dijele se na vode temeljnice i pukotinske krške vode. Vode temeljnice se kreću vrlo sporo ili miruju. Nalaze se u velikim dubinama u slojevima propusnog materijala. Atmosferske ili površinske vode s površine zemlje ulaze kroz propusni materijal odnosno kroz vodonosni sloj te se zaustavljaju na nepropusnom sloju. Ove vode na većim dubinama imaju ujednačenije temperature i manje bakterija. Najpouzdanije su za konzumaciju u zdravstvenom pogledu. Pukotinske krške vode brže su od voda temeljnica, teku kroz šupljine i korita. Zbog brzog protjecanja nemaju mogućnost biološkog pročišćavanja i zbog toga se smatraju neispravnim za piće. Često su mutne i sadrže veći broj organskih tvari [3].

Prema porijeklu dijele se na podzemne vode:

- iz oborinskih voda
- iz površinskih tokova
- nastale kondenzacijom vode iz vodene pare.

Podzemna voda nalazi se u vodonosnicima. Vodonosnici su geološka formacija koja se sastoji od propusnog materijala koji može pohraniti značajne količine vode. Mogu se sastojati od različitih materijala kao što su: nekonsolidirani pijesak i šljunak, propusne sedimentne stijene poput pješčenjaka ili vapnenca, raspucanih vulkanskih stijena itd. Podzemne vode se prirodno napajaju kišnicom i topljenjem snijega te iz vode koja curi kroz dno nekih jezera i rijeka. Mogu se puniti i kada vodoopskrbni sustavi propuštaju i kada se usjevi navodnjavaju s više vode nego što je potrebno. Obilne kiše mogu uzrokovati porast razine podzemne vode, a razdoblje bez oborina može uzrokovati pad razine vode. Kada voda dođe u vodonosnik nastavlja teći, ali sporije. Brzina tečenja podzemne vode ovisi o karakteristikama vodonosnika. Kreće se s višeg prema nižem potencijalu zbog gradijenta. Kreće se sve dok se ne ispusti u drugi vodonosnik ili drugo vodno tijelo (jezero, rijeka, ocean).

Vodonosnik mora imati određene fizičke karakteristike da bi mogao pohraniti podzemnu vodu. Mora imati prazan prostor odnosno pore ili pukotine u kojima se može pohraniti podzemna voda. Ako su propusnost i poroznost vodonosnika veće voda se može pohraniti u većim količinama [9]. Podzemne vode nalaze se u dvije zone, a to su nezasićena i zasićena zona (slika 2.). Nezasićena zona se nalazi odmah ispod površine Zemlje. Zasićena zona je zona u kojoj su sve pore i pukotine stijena ispunjene vodom. Voda se filtrira u tlo, a brzina kojom se infiltrira ovisi o vrsti tla, korištenju zemljišta i intenzitetu i trajanju kiše. Brže se infiltrira kroz tla koja su pjeskovita, a sporije kroz glinovita [10]. Na mjestima gdje tlo ima veću propusnost onečišćujuće tvari mogu lako doći do podzemne vode. Zbog toga podzemne vode mogu biti onečišćene otpadom iz septičkih jama, odlagališta otpada i pesticidima [11].



**Slika 2.** Prikaz nezasićene i zasićene zone [10]

Egzogene podzemne vode potječu od oborinskih voda, otapanja ledenjaka i snijega ili procesom kondenzacije. Endogene podzemne vode nastaju u unutrašnjosti Zemlje spajanjem kisika i vodika pri visokim temperaturama. Na područjima gdje ima dovoljno oborina podzemne vode bogatije su vodom i dobro se obnavljaju, a u predjelima gdje oborine nisu česte ima manje vode te se zbog toga zalihe vode teže obnavljaju [2].

## 2.2. Pokazatelji kakvoće vode

Potpuno čista voda u prirodi gotovo ne postoji. Prolaskom kišnih kapi kroz atmosferu voda otapa plinove i prikuplja čestice prašine i dima. Dolaskom na površinu tla voda počinje teći te sakuplja i nosi čestice minerala i stijena i otapa ih. U površinske vode ulaze različiti mikroorganizmi koji žive u površinskoj zoni tla. Dio vode se infiltrira u tlo gdje se nastavlja process otapanja minerala i stijena. To mijenja svojstva vode i utječe na njezinu kvalitetu [12]. Prirodni sastav i kakvoća vode ovisi o:

- klimatskim i hidrološkim obilježjima (temperature, količina i učestalost oborina)
- kemijskim svojstvima i sastavu oborina (kiselost, anorganske i organske tvari)

- vegetacijskim obilježjima
- kemijskom sastavu tla s kojim voda dolazi u kontakt
- poroznost i propusnost stijena.

Upotrebljivost vode za pojedine namjene ovisi o sastavu, svojstvima i koncentraciji pojedinih tvari u vodi. Kakvoća vode ovisi o biološkim, fizikalnim, kemijskim i radiološkim svojstvima [13].

### ***Fizikalni pokazatelji kakvoće vode***

Fizikalni pokazatelji određuju svojstva vode s obzirom na izgled, boju, okus, miris i temperature, a to su: raspršene tvari, mutnoća, boja, okus, miris, temperatura.

#### **Raspršene tvari**

Raspršene tvari su čestice krupnije od otopljenih tvari koje se u vodi nalaze u obliku iona i molekula. Mogu biti organskog i anorganskog porijekla. Klasificiraju se prema dimenzijama čestica na:

- otopljene tvari (dimenzija čestica do 1 nm)
- koloidi (dimenzija čestica od 1 nm do 1  $\mu$ m)
- raspršene tvari (dimenzije čestica preko  $\mu$ m)

Raspršene tvari djeluju kao onečišćivači, voda je mutna i nije upotrebljiva za vodoopskrbu, razonodu i druge potrebe ljudskih djelatnosti. Raspršene tvari najčešće se određuju na terenu ili u laboratoriju. Dijele se na taložive i netaložive. Taložive tvari se određuju pomoću Imhoffov-og stošca (slika 3.) tako da se utvrdi koliko čestica se istaložilo na dnu stošca u 60 minuta. Netaložive tvari određuju se filtriranjem i žarenjem [13].





**Slika 3.** Imhoffov stožac [14]

### Mutnoća

Mutnoća vode potječe od suspendiranih ili koloidnih anorganskih ili organskih čestica u vodi. Najčešće se radi o česticama pijeska, praha i gline. Mutnoću uzrokuju još i valovi, strujanje voda, velike količine padalina i ispuštanje otpadnih voda iz raznih područja ljudske djelatnosti. Intenzivne oborine izazivaju eroziju tla na površini sliva rijeka i dovode do naglog unosa krutih čestica s površina u podzemlje [15]. Intenzitet mutnoće mjeri se turbidimetrom (slika 4.), a izražava se kao postotak svjetlosti koji se upija ili raspršava u vodi u NTU (“nephelometric turbidity units”) ili FTU (“formazin turbidity units”) jedinicama.



**Slika 4.** Turbidimetar [16]

Pitka voda ne smije imati veću mutnoću od 10 jedinica (slika 5.) [12]. Krute čestice u vodi mogu činiti jezgru oko koje se nakupljaju bakterije, virusi i paraziti te to može dovesti do otežane dezinfekcije vode. Kod povećane mutnoće postoji mogućnost da se u vodi nađu pojedini mikroorganizmi koji mogu izazvati crijevne infekcije kod djece i kod imunoloških bolesnika [15].



**Slika 5.** Mutnoća vode po NTU's [17]

### Boja

Boja potječe od različitih otopljenih ili koloidnih anorganskih i organskih spojeva. Najčešće se radi o otopljenim željeznim ili manganskim solima, bjelančevinama, ugljikohidratima, taninskim i huminskim kiselinama. Mjeri se kolorimetrom (slika 6.), a izražava se stupnjevima platinsko – kobaltne skale.



**Slika 6.** Kolorimetar [18]

Prema normama Svjetske zdravstvene organizacije pitka voda ne smije imati intenzivniju boju od 50 stupnjeva. Po propisima Republike Hrvatske gornja granica je 20 stupnjeva platinsko – kobaltne skale. Svaka primjetna boja vode ukazuje da voda sadrži veću koncentraciju nepoželjnih tvari (slika 7.) [12]. Boja može biti:

- prividna (nastaje od raspršenih tvari)
- prava (nastaje od otopljenih tvari).

Obojenje vode mogu uzrokovati otpadne vode iz industrije, komadi drveća, lišće koje se nalazi u vodi, iglice koje padnu s borova i oksidi mangana i željeza [13].



**Slika 7.** Obojenje vode [19]

### Miris i okus

Miris i okus su kao i boja fizičke manifestacije kemijskih i bioloških značajki. Okus potječe od otopljenih mineralnih soli. Najčešće su vode slankastog okusa zbog sadržaja natrijevog klorida. Dosta česte su i vode koje imaju gorkast okus zbog magnezijevog sulfata. Okus pitke vode ne smije biti intenzivan, ali je pogodno da voda sadrži toliko otopljenih tvari da nije bljutava. Miris najčešće potječe od prisutnih plinova u vodi. Podzemne vode koje imaju miris po pokvarenim jajima sadrže sumporovodik, a ako imaju miris po nafti sadrže metan ili neki drugi ugljikovodik [12]. Mirisi mogu biti prirodni i umjetni. Prirodni mirisi nastaju tijekom razlaganja organskih tvari i uslijed životne aktivnosti vodenih organizama. Umjetni

mirisi javljaju se kada dođe do antropogenog onečišćenja vode. Miris i okus određuju se čovjekovim osjetilima, a izražavaju se “pragom mirisa i/ili okusa” koji odgovara volumenu vode razrijeđenom u 200 ml destilirane vode. Pitka voda ne smije imati miris ni okus [13].

### Temperatura

Temperatura vode ovisi o klimatskim prilikama, geološkoj građi terena i dinamici vode. Dnevne promjene temperature zraka imaju utjecaj na otvorene vodonosne slojeve s razinom vode oko 1-2 metra ispod površine vode. Sezonske promjene temperature u umjerenom klimatskom pojasu osjećaju se u otvorenim vodonosnim slojevima s razinom podzemne vode do dvadesetak metara ispod površine terena. Na dubini od oko 20 metara ispod površine terena nalazi se neutralni temperaturni sloj. Na toj dubini temperature podzemne vode je konstantna i jednaka prosječnoj godišnjoj temperature zraka na površini terena. Ispod neutralnog temperaturnog sloja temperatura podzemne vode raste s dubinom. Porast temperature ovisi o litološkoj građi, toplinskoj vodljivosti stijena i blizini magmatskih tijela. Temperatura vode se mjeri termometrima (slika 8.) i izražava se u °C (stupanj Celzijus) i/ili K (Kelvin) [12].



**Slika 8.** Digitalni i stakleni termometar [20]

## ***Kemijski pokazatelji kakvoće vode***

Kemijski pokazatelji određuju upotrebu vode i stanje pojedinog vodnog sustava. Kemijske tvari koje se nalaze u vodi dijele se na:

- tvari koje se nalaze u prirodnim vodama
- tvari koje po svom sastavu i/ili koncentraciji ne utječu značajno na upotrebu vode
- tvari koje po svom sastavu i/ili koncentraciji onemogućuju upotrebu vode.

O vrsti i količini pojedinih iona, ili grupi iona ovise neke značajke prema kojima se relativno jednostavno može ocijeniti kakvoća vode. Te značajke nazivamo pokazateljima kakvoće vode. Najčešći kemijski pokazatelji koji se određuju su: tvrdoća vode, pH vrijednost, ukupne otopljene tvari, alkalitet, otopljeni plinovi, organske tvari, hranjive tvari, metali, ostali kemijski pokazatelji [13].

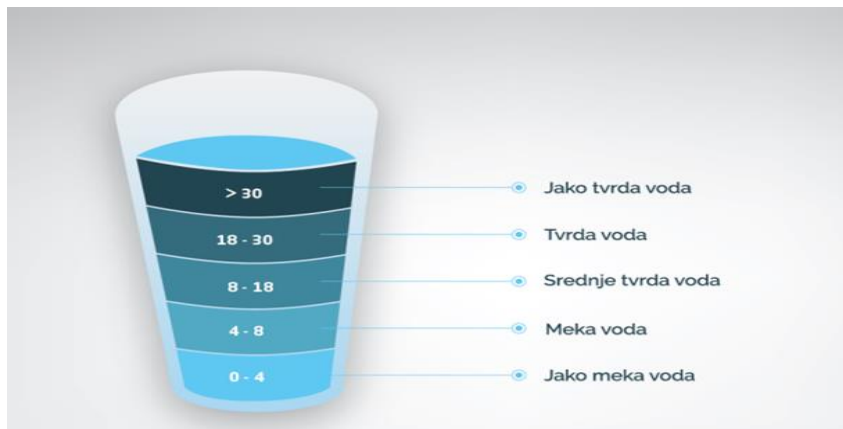
### *Tvrdoća vode*

Tvrdoća voda je jedan od najstarijih pojmova kojim se opisuju kvalitativna svojstva vode. Tvrdoća vode uvjetovana je prisustvom iona kalcija i magnezija u vodenoj otopini. Glavni dio iona kalcija i magnezija u vodama potječe iz bikarbonata, karbonata i u manjoj mjeri sulfata. S obzirom na to razlikujemo karbonatnu, i nekarbonatnu tvrdoću. Karbonatnu tvrdoću čini dio kalcijevih i magnezijevih iona koji tvore bikarbonate i karbonate. Ta tvrdoća poznata je i pod nazivom privremena tvrdoća jer se prokuhavanjem gubi. Zagrijavanjem vodene otopine kalcijevog i magnezijevog bikarbonata izlazi  $\text{CO}_2$  i dolazi do taloženja kalcijevog i magnezijevog karbonata. Nekarbonatna ili stalna tvrdoća predstavlja razliku između ukupne i karbonatne tvrdoće. Uzrokuje je dio iona kalcija i magnezija koji tvore sulfite, kloride, nitrata i u manjoj mjeri borate i jodide.

Tvrdoća vode izražava se u:

- 1 njemački stupanj: 10 mg CaO/L
- 1 francuski stupanj: 10 mg  $\text{CaCO}_3$ /L
- 1 engleski stupanj 10 mg  $\text{CaCO}_3$ /700 mL.

Najzastupljenije je iskazivanje tvrdoće vode u njemačkim stupnjevima (slika 9.)



**Slika 9.** Tvrdoća vode po njemačkom stupnju (°nj ili °dH) [21]

Vode koje imaju tvrdoću manju od 50 mg/l smatraju se mekim vodama i mogu se koristiti bez ograničenja. Zagrijavanjem voda s tvrdoćom većom od 100 mg/l  $\text{CaCO}_3$  dolazi do taloženja kamenca (slika 10.).



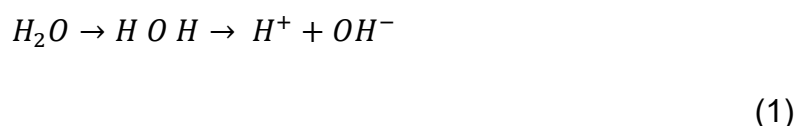
**Slika 10.** Kamenac [22]

Kada se voda zagrijava ili se snizi tlak, dio ugljičnog dioksida izlazi iz iona bikarbonata u formi plina te se gubi u atmosferi. Dio bikarbonatnih iona prelazi u ione karbonata koji reagiraju s ionima kalcija i magnezija stvarajući manje topive kalcijske i magnezijske karbonate. Ti karbonati talože se na stijenkama posuda u kojima se voda zagrijava. Slično se događa na bunarskim filterima gdje se karbonati talože zbog pada vode kod crpljenja vode. Voda koja ima tvrdoću veću od 200 mg/l  $\text{CaCO}_3$  omekšava se različitim tehnološkim procesima. Tim procesima

tvrdća se smanjuje na oko 85 mg/l CaCO<sub>3</sub> [12]. Tvrdoća vode se može ukloniti pomoću ionskih izmjenjivača. Ionski izmjenjivači su spojevi sa strukturom koja omogućuje zamjenu iona. Proces ionske izmjene je reverzibilan i izmjenjivači se nakon vezanja iona iz otopine mogu regenerirati u svoje početno stanje. Danas se najčešće primjenjuju sintetski izmjenjivači na bazi umjetnih smola. Njihova struktura sastoji se od polimernih lanaca ugljikovodika, koji sadrže različite funkcionalne skupine, a povezani su poprečnim vezama u trodimenzionalnu mrežu. Izmjena iona temelji se na kemijskim svojstvima funkcionalnih skupina, razlikuju se kationski i anionski izmjenjivači. Funkcionalne skupine kationskih izmjenjivača mogu biti jako kisele (-SO<sub>3</sub>H) ili slabo kisele (-COOH). Te skupine vežu katione iz otopina, a u otopinu otpuštaju vodikove ione (H<sup>+</sup>). Funkcionalne skupine anionskih izmjenjivača mogu biti jako bazične (-NR<sub>3</sub>)<sup>+</sup> ili slabo bazične (-NRH). Te skupine vežu anione iz otopine i otpuštaju hidroksidne ione (OH<sup>-</sup>) [13].

#### Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)

Molekule vode kemijski su vrlo stabilne, ali u određenoj mjeri je prisutna tendencija njihovog razdvajanja ili disocijacija na sastavne dijelove: vodik (H<sup>+</sup>) i hidroksidnu skupinu (OH<sup>-</sup>). Taj proces prikazuje se sljedećom jednačbom:

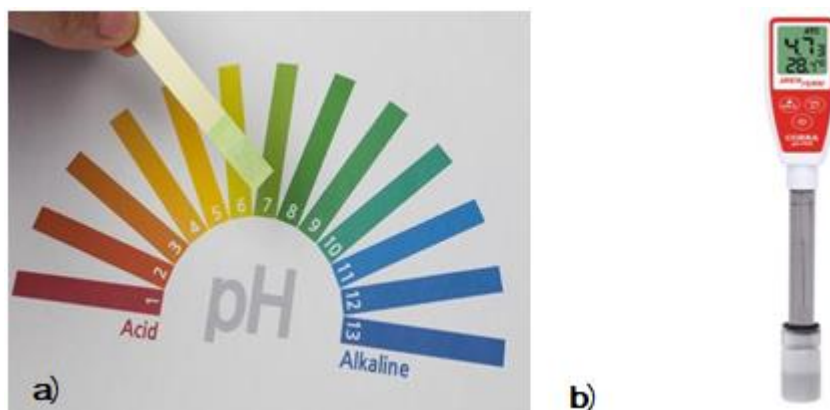


Ovisno o relativnoj koncentraciji “oslobođenih” vodikovih iona, voda ima kiseli ili lužnati karakter. Veća koncentracija “slobodnih” vodikovih iona daje vodi kiseli karakter, a manja lužnati. pH vrijednost jednaka je negativnom logaritmu koncentracije H<sup>+</sup> iona:

$$pH = -\log c(H^+) / (mol/dm^3) \quad (2)$$

pH vrijednost kreće se od 0 – 14 . Ako vrijednost iznosi 7 znači da je otopina neutralna odnosno da se u njoj nalazi podjednak broj disociranih vodikovih iona i disociranih iona OH<sup>-</sup> skupine. Ako je pH otopine manji od 7, otopina je kiselina, a ako

je veći od 7 onda je otopina lužnata. pH prirodnih voda nalazi se u intervalu od 5,5 do 8,6. Kisele vode djeluju korozivno na metale pa su svi elementi vodoopskrbnih sustava (bunarski filteri, cijevi, dijelovi crpki, ventili i cijevi distribucijskog sustava) u slučaju crpljenja kisele vode podložni trošenju [12]. Niska pH vrijednost može biti posljedica ispuštanja različitih vrsta industrijskih otpadnih voda u prirodne vode. pH vrijednost se može odrediti na više načina, a najčešći je mjerenje pomoću univerzalnog indikatorskog papira (slika 11.a) i/ili pH metrom (slika 11.b.) [13].



**Slika 11.** a) Univerzalni indikatorski papir, b) pH metar

### Alkalitet

Alkalitet vode čine hidroksidi, karbonati i bikarbonati alkalnih i zemno alkalijevih metala, uglavnom natrija, kalcija i magnezija. Određuje se titracijom vode, otopinom kloridne ili sumporne kiseline uz indikatore fenolftalein i metiloranž. Ukupan alkalitet čine alkalitet prema fenolftaleinu i alkalitet prema metiloranžu. Alkalitet prema fenolftaleinu dolazi od prisutnog hidroksida ili karbonata ili smjese hidroksida i karbonata [13]. Kada se govori o alkalitetu vode ne misli se nužno da je pH vrijednost veća od 7. U vodenoj otopini s pH vrijednošću ispod 7 može biti otopljenih tvari koje neutraliziraju kiseline pa voda djeluje alkalno. Tvari koje najčešće doprinose alkalitetu vode su otopljeni karbonati i bikarbonati. Alkalitet vode izražava se kao sadržaj  $\text{CaCO}_3$  u mg/L vode [12].



### Ukupno otopljene tvari (TDS)

Ukupno otopljene tvari (TDS) su otopljeni ioni, uključujući soli, minerale i metale koji se mogu naći u svim izvorima nečiste vode. Minerali poput kalcija, kalija i magnezija dolaze u vodu iz prirodnih izvora. Kada voda u rijekama, jezerima i potocima dođe u kontakt sa stijenama koje su bogate mineralima, male količine tih mineral oslobađaju se u vodi. Niske razine soli mogu se pojaviti u podzemnim vodama. Na razinu soli utječu ljudske aktivnosti kao što su: odleđivanje cesta, upotreba gnojiva, omekšivača vode i onečišćenje kanalizacijskim vodama. Industrijski otpad i ljudske aktivnosti poput rudarstva mogu dovesti do ispiranja metala u vodu za piće. Sadržaju otopljenih metala u vodi mogu doprinijeti i neke vrste metalnih cijevi. Otopljena organska tvar u vodu dolazi kao rezultat prirodne razgradnje algi i biljnih materijala [24].

Ukupno otopljene tvari utvrđuju se kao tvari koje zaostaju nakon cijeđenja vode, određuju se isparavanjem na 105 °C kao “suhi ostatak procijeđene vode” u mg/l. Suhi ostatak se žari na 600 °C, prisutne organske tvari će izgorjeti, a anorganske tvari će zaostati. Povišena koncentracija otopljenih tvari može dovesti do pojačanog stvaranje korozije na vodovodnim cijevima, a pri nižim koncentracijama voda ima neukusan, bljutav okus [13]. U tablici 1 prikazane su TDS vrijednosti.

**Tablica 1.** Vrijednosti ukupno otopljenih tvari (TDS)

Okus vode	Ukupno otopljene tvari (mg/l)	Ukupno otopljene tvari (ppm ili mg/dl)
Odlična	< 300	< 30
Dobra	300- 600	30 – 60
Dovoljna	600 - 900	60 – 90
Loša	900 - 1200	90 – 120
Neprihvatljiva	> 1200	> 120

### Otopljeni plinovi

U vodi se nalaze otopljeni plinovi, krute tvari i tekućine. Plinovi se mogu otapati u kišnim kapima u atmosferi, u površinskim vodama i u podzemnoj vodi. Plinovi mogu biti produkti industrijskih i prirodnih procesa. Najčešće se određuje koncentracija kisika, ugljik-dioksida i sumporovodika. Kisik u vodu dopijeva iz zraka i procesom fotosinteze. Ugljik – dioksid u vodi može biti slobodan ili vezan u spojevima karbonata i hidrogenkarbonata. Sumporovodik ( $H_2S$ ) zaostaje u vodi kao posljedica razgradnje organskih tvari ili vulkanskih djelatnosti. Prevelika koncentracija kisika čini vodu korozivnom, sumporovodik daje neugodan miris, a slobodni ugljik-dioksid razara betonske konstrukcije kada je u koncentracijama većim od 15 mg/l [13].

### Organske tvari

Organske tvari u prirodnim vodama nalaze se u raspršenom i/ili otopljenom stanju, posljedica su odvijanja biokemijskih procesa u vodi, ispiranja zemljišta oborinskom vodom, ispuštanjem gradskih i industrijskih voda. Ukupne organske tvari dijele se na biološki razgradljive i nerazgradljive tvari. Mikroorganizmi najčešće koriste razgradivu tvar kao hranu pri čemu se troši kisik, a razgradnjom organske tvari povećava se koncentracija ugljik-dioksida. Posljedica toga je smanjenje pH vrijednosti. Organske tvari koje su najčešće prisutne u vodama su:

- bjelančevine (40-60 %),
- ugljikohidrati (25-50 %),
- masnoće (10 %)
- sintetske organske molekule (hlapljive organske tvari, pesticide).

Petodnevna biokemijska potrošnja kisika ( $BPK_5$ ) pri 20 °C je pokazatelj količine razgradljive organske tvari u vodi. Nerazgradljive organske tvari u koje se nalaze u prirodnim vodama su: tanini, lignin, celuloza, pesticidi i deterdženti. Pokazatelj količine nerazgradljive tvari je kemijska potrošnja kisika [13].

### Hranjive tvari

Za proizvodnju i rast organske tvari potrebne su hranjive tvari, a najvažniji su dušik i fosfor. Dušik u vodu dopijeva iz atmosfere, kao product razgradnje organske tvari i ispiranjem poljoprivrednih zemljišta (upotreba umjetnih gnojiva). Nitrati su u velikim koncentracijama otrovni za ljude i životinje. Fosfor se u vodi nalazi u obliku ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), polifosfata i organski vezanog fosfora, a u vodu dolazi razgradnjom organske tvari, ispiranjem zemljišta, korištenjem deterdženata iz kućanstva i industrije. Spojevi fosfora nisu otrovni, ali povećane koncentracije fosfora ukazuju na mogućnost eutrofikacije vodnih sustava. Eutrofikacija je proces u kojem zbog povećane koncentracije dušika u fosfora može doći do prekomjernog stvaranja algi i drugih biljnih vrsta pri čemu se troši veća količina kisika koji je neophodan za rast živih organizama prisutnih u vodama [13].

### Metali

Metali se prirodno pojavljuju u vodenim ekosustavima zbog trošenja stijena, tla i zbog vulkanske aktivnosti. Ostali izvori metala dopijevaju iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, industrije te kanalizacije [25]. Metali mogu imati različite toksične efekte na žive organizme. Metali se dijele na otrovne i neotrovne. Arsen, barij, kadmij, krom, olovo, živo i srebro su teški metali i spadaju u otrovne metale [12]. Živa, kadmij i olovo su toksični kod vrlo niskih koncentracija ( $<10^{-9}$  mol/l). Do trovanja kadmijem može doći zbog konzumacije biljaka i životinja koje su bile izložene kontaminiranoj vodi ili tlu. Ljudske aktivnosti poput proizvodnje pesticida i rudarstvo dovele su do povećane koncentracije arsena u podzemnim vodama [26]. Povišena koncentracija metala u vodama može uzrokovati različite bolesti kao što su "minamata" – trovanje živom, "itai-itai"-trovanje kadmijem [13]. Natrij, željezo, mangan, aluminij, bakar i cink spadaju u neotrovne metale. Metali u vodi najčešće se određuju spektroskopskim ili spektrofotometrijskim i kromatografskim metodama [25].

## ***Biološki pokazatelji kakvoće vode***

Biološkim pokazateljima ocjenjuju se organizmi na kojima je moguće sa sigurnošću pratiti promjene staništa. Za određivanje djelovanja polutanata na vodene organizme, koriste se akvatični testovi toksičnosti otpadnih voda. Biološki pokazatelji koji se najčešće određuju su: stupanj saprobnosti, stupanj biološke proizvodnje, mikrobiološki pokazatelji, stupanj otrovnosti, indeks razlike. Određivanjem bioloških pokazatelja moguće je dobiti pretpostavke o stanju pojedinih vodnih staništa i stanja promatranog vodnog sustava [13].

### **Stupanj saprobnosti**

Biološka metoda kojom se određuje stupanj saprobnosti koristi se za ocjenjivanje čistoće vode prema vrsti karakterističnih mikroorganizama koji u njoj obitavaju. Bentoski organizmi koriste se kao pokazatelji saprobnosti, oni svoje životne aktivnosti ostvaruju na dnu vodenih ekosustava. Stupnjevi saprobnosti su:

- oligosaprobnii,
- beta-mezosaprobnii,
- alfa-mezasaprobnii
- polisaprobnii.

Oligosaprobnii vode su čiste vode koje se mogu koristiti za piće izravno ili nakon dezinfekcije, mogu se koristiti i za uzgoj riba. Beta – mezasaprobnii su umjereno onečišćene vode koje se nakon pročišćavanja mogu koristiti za piće. Alfa-mezosaprobnii su onečišćene vode koje se ne mogu koristiti za piće. Polisaprobnii vode su vode velikog onečišćenja i mogu se koristiti isključivo uz pročišćavanje, imaju velik broj bakterija i mutne su boje. Druga metoda određivanja saprobnosti temelji se na ispitivanju svih živih organizama životne zajednice gdje se organizmi određuju prema sastavu količini i broju jedinki. Saprobnii indeks određuje se prema jednadžbi:

$$S = \frac{\sum(s * h)}{\sum h}$$

(3)

s je saprobiološka vrijednost svake vrste (od 1-4), h – količina određene vrste u vodi (1-malobrojno do 9 – vrlo brojno) [13].

### Stupanj biološke proizvodnje

Stupanj biološke proizvodnje vodnog sustava ovisi o količini raspoložive hrane, odnosno trofikaciji. Stupanj trofije je intenzitet proizvodnje u kopnenim vodama, a obuhvaća:

- oligotrofiju – vode s malo hranjivih tvari
- mezotrofiju – srednjeproductivne vode
- umjerenu eutrofiju
- eutrofiju
- hipertrofiju – vode bogate hranjivim tvarima.

Hranjive tvari koje uzrokuju trofikaciju dopijevaju u vodne sustave s raznih slivova kruženjem biogenih tvari u sustavu, prirodnim procesima i pod utjecajem ljudskih djelatnosti. Ukupan fosfor (mgP/m<sup>3</sup>), klorofil (mg/m<sup>3</sup>), ukupan broj stanica (broj stanica/L), organska proizvodnja (gC/m<sup>2</sup>xgod) i prozirnost (m) su najčešći pokazatelji stupnja biološke proizvodnje. Ako je biološka proizvodnja povećana nije poželjno da se voda koristi za kupanje i vodoopskrbu [13].

### Mikrobiološki pokazatelji

Biološka svojstva vode ovise o prisutnosti različitih mikroorganizama. Najčešći mikroorganizmi koji se susreću u vodama su bakterije, eumycete, rikecije, virusi i protozoe. Bakterije su sitni jednostanični organizmi koje ne možemo vidjeti golim okom. Obavljaju sve životne funkcije, dišu, hrane se, proizvode i troše energiju, rastu, razmnožavaju se i ugibaju. Mnoge vrste sposobne su za vrlo složene

biokemijske procese. Razlikuju se po veličini, obliku, boji, vanjskom izgledu i drugim osobnostima. Eumycete spadaju u rod gljiva. To su jednostanični ili višestanični organizmi. Od bakterija se razlikuju po morfološkim svojstvima, a po fiziološkim značajkama su vrlo slične bakterijama. Rikecije su mikroorganizmi koji su po nekim svojstvima bliski bakterijama, a po nekim virusima. Veličinom, oblikom i načinom razmnožavanja slične bakterijama, ali egzistiraju samo na živim stanicama, što je svojstveno i virusima. Virusi su vidljivi samo pod elektronskim mikroskopom. Razmnožavaju se samo na živim tkivnim stanicama ljudi, životinja i biljaka. Ima ih mnogo tipova koji se međusobno razlikuju po veličinu, obliku, kemijskoj građi i drugim karakteristikama. Protozoe ili praživotinje su jednostanična živa bića vidljiva pod mikroskopom, ali u pojedinim slučajevima i prostim okom. U pravilu su veće od bakterija i imaju složeniju strukturu.

Nabrojani mikroorganizmi vezani su uglavnom za organsku tvar, a kako svaka voda sadrži i nešto organske tvari susrećemo ih i u vodi. Najveći dio mikroorganizama igra važnu ulogu u procesima raspadanja organskih tvari. Mikroorganizmi koji sudjeluju u procesu gnjiljenja i truljenja nazivaju se saprobni organizmi. Drugu grupu čine autotrofni odnosno kemoautotrofni mikroorganizmi. Za njih je karakteristično da do energije potrebne za život dolaze oksidacijom anorganske tvari. Postoji i treća grupa mikroorganizama koji svojim djelovanjem kod viših živih bića izazivaju najrazličitije bolesti. Te mikroorganizme nazivamo patogenima.

Na kvalitetu vode najčešće utječu bakterije. U vodi se često susreću i patogene bakterije koje uglavnom potječu iz crijevne flore ljudi i životinja. Voda je za njih slučajna sredina i služi im kao pogodno sredstvo za njihovo prenošenje. Zbog toga se širenje najvećih epidemija tifusa, kolere pripisuju vodi. Osim patogenih bakterija vodom se šire i patogeni virusi od kojih je najpoznatiji virus hepatitis (zarazne žutice). Utvrđeno je da većina mikroorganizama ugiba pri boravku u podzemlju nakon 60 dana [12]. Stanje kakvoće vode utvrđuje se "organizmom pokazateljem". Najčešće se određuju koliformni organizmi tj. ukupni koliformi i fekalni koliformi. U koliformne organizme spadaju bakterije koje potječu iz probavnog sustava

(Escherichia coli, Enterococcus) i bakterije koje se mogu razvijati na tlu (Enterobacter). Broj organizama mikrobioloških pokazatelja u vodi definira se kao "najvjerojatniji broj" ili broj organizama utvrđen postupkom membranske filtracije. Tehnika membranske filtracije zahtijeva kraće vrijeme inkubacije za porast bakterijskih kolonija. Voda koja se koristi za piće ne smije sadržavati mikroorganizme [13].

### Stupanj otrovnosti

Stupanj otrovnosti je toksičnost neke tvari koja izaziva nenormalno ponašanje, fiziološke smetnje, fizičke deformacije, i razne bolesti u živom organizmu. Utvrđuje se biotestom na određenoj skupini organizama u ispitivanoj vodi koncentracijom tvari kod koje ugiba 50% ispitivanih organizama [27]. To je tzv. 50 – postotna letalna doza (LD<sub>50</sub>). Prema tom načelu stupanj otrovnosti svrstava otrove u 4 skupine:

1. skupina: do 50 mg/kg tjelesne mase (izraziti toksikanti)
2. skupina: od 50 do 250 mg/kg (jaki toksikanti)
3. skupina: od 250 do 1000 mg/kg (umjereni toksikanti)
4. skupina: od 1000 do 5000 mg/kg (slabi toksikanti) [28]

### Indeks razlike

Indeks razlike predstavlja matematički izraz za strukturu životne zajednice, koristan je za složena biološka ispitivanja. Polazi se od pretpostavke da je u životnoj zajednici zastupljen određen broj vrsta odgovarajuće populacije. Ako se radi o onečišćenim vodama zasigurno će doći do smanjenja pojedinih vrsta koje obitavaju u tom sustavu. Često se primjenjuje izraz koji se temelji na teoriji informacija

$$H' = \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

(4)

gdje je  $N_i$  broj organizama  $i$ -te vrste,  $N$  je ukupan broj organizama,  $s$  – ukupan broj vrsta. Ukoliko je  $H' < 1$  vodni sustav je jako onečišćen,  $H' = 1-3$  vodni sustav je umjereno onečišćen,  $H' > 3$  vodni sustav je čist. Indeks će imati maksimum ako svaki organizam pripada drugoj vrsti, a minimum ako su svi organizmi iste vrste [13].

### **2.3. Utjecaj na zdravlje ljudi**

Sve češće se susreću vode koje nisu pogodne za ljudsku upotrebu. To je posljedica različitih ljudskih aktivnosti koje imaju negativan utjecaj na kvalitetu vode. Razvojem industrijske proizvodnje, tehnologije, poljoprivrednim aktivnostima i ubrzanom urbanizacijom narušava se kakvoća pitke vode i smanjuje se količina prirodnih rezervi vode. Potrebe za vodom rastu, ali isto tako raste i broj onečišćivača. U vodi se često nalaze štetne tvari jer se ispuštaju otpadne vode iz industrije i poljoprivrede. Ispuštanjem takvih vode unose se metali, pesticide, lijekovi, boje, deterdženti, ulja, itd., od kojih većinu čine biološki nerazgradive onečišćujuće tvari. Gotovo da nema područja pa tako ni voda koje ne sadrže teške metale kao što su olovo, živa i kadmij.

Olovo je u obliku iona dvovalentnog metala vrlo rasprostranjeno u prirodnim vodama. Olovo je otrov koji se akumulira u kostur, toksičan je i za centralni i periferni nervni sustav. Ima štetan učinak na reproduktivan, kardiovaskularni, imunološki i gastrointestinalni sustav. Simptomi trovanja olovom su anemija, osjetljivost, postupna paraliza mišića i mrzovoljnost.

Živa je metal koji može izazvati ozbiljne štetne zdravstvene učinke. U nižim koncentracijama živa u ljudskom organizmu može uzrokovati poremećaje rada bubrega i živčanog sustava. Dugotrajna izloženost živi može imati za posljedicu trajno oštećenje mozga, bubrega ili izazvati štetne učinke na razvoj fetusa. Arsen se u podzemnim i površinskim vodama najčešće pojavljuje u obliku anorganskih spojeva koji su kancerogeni te su zbog toga više opasni za organizam od njegovih organskih spojeva.



Arsen je kancerogen, šteti srcu, plućima, jetri, bubrezima i živčanom sustavu. Akutno trovanje arsenom dovodi do promjene u središnjem živčanom sustavu, gastrointestinalnom i respiratornom sustavu, u koncentraciji od 70 – 180 mg/l dovodi do smrti.

Ugljikovodici se također nalaze među onečišćujućim tvarima koje vodama dopijevaju u okoliš. Oni se ispuštaju iz različitih antropogenih izvora ispuštaju u otpadne vode. Gutanje ugljikovodika kod čovjeka može uzrokovati mučninu, povraćanje, grčeve u truhu, jaku dijareju. Dugotrajni kontakt s onečišćenom vodom na koži može izazvati iritaciju ili pojavu dermatitis zbog preosjetljivosti.

Nitrati su onečišćujuće tvari koje mogu izazvati vrlo štetne zdravstvene učinke. Najvećim izvorom nitrata u vodi smatraju se mineralna gnojiva i stajsko gnojivo. Unos nitrata i nitrita u organizam je normalna pojava jer ih sadrži i hrana, ali njihova prekomjerna količina u organizmu može izazvati neželjene posljedice za zdravlje čovjeka.

Pesticidi su postal najtraženiji proizvodi u poljoprivredi jer su uspješno suzbijali različite štetnike pri uzgoju bilja i životinja. Štetnici su postupno razvijali otpornost na pesticide te su poljoprivrednici bili prisiljeni koristiti nove kemijske formulacije koje su uzrokovale onečišćenje i ugrožavanje okoliša. Pesticidi imaju štetan učinak na zdravlje ljudi, a ovisno o vrsti pesticida i količini unesenoj u organizam, simptomi trovanja mogu biti različiti. Vrlo česte popratne pojave trovanja pesticidima su: suženje vida, pojačano lučenje sline, otežano i nepravilno disanje, mučnina, dijareja, vrtoglavica, nervosa i fizička slabost [29].

## **2.4. Zakonska regulativa**

### **Zakon o vodama**

Zakonom o vodama uređuje se pravni status voda, vodnog dobra, vodnih građevina, upravljanje kakvoćom i količinom voda, zaštita od štetnog djelovanja voda, detaljna melioracijska odvodnja, navodnjavanje, posebne djelatnosti za

potrebe upravljanja vodama, institucionalni ustroj obavljanja tih djelatnosti i druga pitanja vezana za vode i vodno dobro.

#### Članak 47.

(1) Vlada Republike Hrvatske uredbom propisuje standard kakvoće vode za površinske, uključujući i priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode.

(2) Propis iz stavka 1. Ovog članka sadržava i:

- kriterije za utvrđivanje ciljeva zaštite vodnoga okoliša sukladno općoj svrsi zaštite voda iz članka 46. Stavka 1. Ovog Zakona
- kriterije za utvrđivanje ekološki prihvatljivog protoka
- kemijske i ekološke pokazatelje za površinske vode, uključujući i priobalne vode, kemijske pokazatelje za vode teritorijalnog mora, kriterije za klasifikaciju stanja površinskih voda, uključujući i priobalne vode, kriterije za klasifikaciju ekološkog stanja bioloških elemenata kakvoće površinskih voda, kemijske i količinske pokazatelje za podzemne vode, uključujući i mjerila za ocjenjivanje stanja i utvrđivanje značajki trajnih promjena stanja podzemnih voda
- kriterije za određivanje osjetljivih i manje osjetljivih područja
- kriterije za određivanje ranjivih područja - standard kakvoće za salmonidne i ciprinidne vode, preporučene i obvezne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja, i njihova odstupanja; način uzorkovanja, učestalost uzimanja uzoraka i način utvrđivanja usklađenosti kakvoće vode s propisanim pokazateljima
- standard kakvoće vode pogodnih za školjkaše, preporučene i obvezne vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja, i njihova odstupanja; način uzorkovanja, učestalost uzimanja uzoraka i način utvrđivanja usklađenosti kakvoće voda s propisanim pokazateljima

- pretpostavke za određivanje umjetnih i znatno promijenjenih vodnih tijela iz članka 61. Stavka 1. Podstavka 1. Ovog Zakona te njihove ekološke, kemijske i količinske pokazatelje
- pretpostavke za utvrđivanje slučajeva pod kojima se privremeno pogoršanje stanja voda neće smatrati povredom ciljeva iz članka 46. Stavka 1. Ovog Zakona, kao i odredbi ovoga Zakona kojim se osigurava ostvarenje tih ciljeva
- potrebna istraživanja i ispitivanja kakvoće voda, isključujući granične vrijednosti emisija, tehničke specifikacije i standardizirane metode za primjenu programa praćenja stanja voda (monitoring) iz članka 50. Ovoga Zakona
- propis prioriternih tvari, prioriternih opasnih tvari i ostalih onečišćujućih tvari i
- ograničenja ili zabrane ispuštanja onečišćujućih tvari u vode te ograničenja i zabrane odlaganja onečišćujućih tvari na mjestima s kojih postoji mogućnost onečišćenja voda.

(3) Kakvoća vode za ljudsku potrošnju, osim kakvoće vode u vodnim tijelima iz članka 100. ovoga zakona, uređuje se posebnim zakonom [30].

### **Uredba o standardu kakvoće voda**

Temeljem članka 47. Stavka 1. Zakona o vodama (»Narodne novine«, broj 66/19) Vlada Republike Hrvatske na sjednici održanoj 3. listopada 2019. godine donijela je Uredbu o standard kakvoće vode. Uredbom o standard kakvoće vode propisuje se standard kakvoće voda za površinske vode uključujući i priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode, posebni ciljevi zaštite voda, kriteriji za utvrđivanje ciljeva zaštite voda, uvjeti za produženje rokova za postizanje ciljeva zaštite voda, elementi za ocjenjivanje stanja voda, monitoring stanja voda i izvještavanje o stanju voda. Ne primjenjuje se na vode za ljudsku potrošnju osim voda u vodnim tijelima iz članka 100. Zakona o vodama te na prirodne mineralne, prirodne izvorske i stolne vode koje se stavljaju na tržište u bocama i drugoj ambalaži [30].

## **Uredba o kakvoći voda za kupanje**

Na temelju članka 51. stavka 7. Zakona o vodama («Narodne novine», br. 153/2009, 63/2011, 130/2011, 56/2013 i 14/2014), Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 24. travnja 2014. godine donijela Uredbu o kakvoći voda za kupanje čija je svrha i predmet uređivanja:

### Članak 1.

(1) Ovom se Uredbom propisuje monitoring, klasifikacija voda za kupanje na površinskim vodama, upravljanje kakvoćom voda za kupanje i informiranje javnosti o kakvoći voda za kupanje u svrhu očuvanja, zaštite i poboljšanja kvalitete okoliša i zaštite zdravlja ljudi.

(2) Odredbe ove Uredbe odnose se na monitoring kakvoće voda za kupanje na površinskim vodama na kojima se očekuje veliki broj kupača, a za koje nije izdana trajna zabrana kupanja ni trajna preporuka da se kupanje izbjegava (u daljnjem tekstu: voda za kupanje).

(3) Odredbe ove Uredbe ne odnose se na:

1. kakvoću priobalnih voda za kupanje što se uređuje posebnim propisima o okolišu,
2. bazene za plivanje, uključivo i bazene u toplicama,
3. vode u zatvorenom koje se pročišćavaju ili koriste u terapijske svrhe i
4. umjetno napravljene vode u zatvorenom odvojene od površinskih i podzemnih voda [31].

Okvirna direktiva o vodama

Svrha ove Direktive je uspostavljanje okvira za zaštitu kopnenih površinskih voda, prijelaznih voda, priobalnih voda i podzemnih voda koja:

- (a) sprječava daljnju degradaciju i štiti stanje vodnih ekosustava kao , s obzirom na potrebe za vodom, kopnenih ekosustava i močvarnih područja direktno ovisnih o vodnim ekosustavima;
- (b) obećava održivo korištenje voda na osnovu dugoročne zaštite raspoloživih vodnih resursa;
- (c) ima za cilj bolju zaštitu i poboljšanje vodnog okoliša, među ostalim i putem specifičnih mjera za postupno smanjenje ispuštanja, emisije i rasipanja opasnih tvari s prioritetne liste, te prekid ili postupno eliminiranje ispuštanja, emisije ili rasipanja opasnih tvari s prioritetne liste;
- (d) osigurava progresivno smanjenje onečišćenja podzemnih voda i sprečava njihovo daljnje onečišćenje

(e) doprinosi ublažavanju posljedica poplavi i suša 16 i na taj način doprinosi: - osiguravanju dostatnih količina površinskih i podzemnih voda dobre kakvoće potrebnih za održivu i uravnoteženu upotrebu voda; - znatnom smanjenju onečišćenja podzemnih voda; - zaštiti kopnenih površinskih voda i morskih voda, i - postizanju ciljeva relevantnih međunarodnih ugovora, uključujući i one koji su usmjereni na eliminaciju onečišćenja morskog okoliša, akcijom Zajednice po članku 16 (3) za prekidanje ili postupno eliminiranje ispuštanja, emisije i rasipanja opasnih tvari s prioritetne liste, a s konačnim ciljem postizanja u morskom okolišu, vrijednosti bliskih temeljnim koncentracijama tvari koje se prirodno javljaju i koncentracija oko nule za sintetske tvari [32].

### **Direktiva o kakvoći voda za kupanje**

Ova Direktiva utvrđuje odredbe za:

- monitoring i klasifikaciju kakvoće voda za kupanje,
- upravljanje kakvoćom voda za kupanje,
- informiranje javnosti o kakvoći voda za kupanje.

Svrha Direktive je obuvati, zaštititi i poboljšati kakvoću okoliša i zaštititi zdravlje ljudi dopunjavanjem Direktive 2000/60/EZ. Ova se Direktiva primjenjuje na svaki sastavni dio površinskih voda za koji nadležno tijelo očekuje da će se ondje kupati

veliki broj ljudi i za koji nije uvelo trajnu zabranu kupanja ili izdalo trajnu preporuku nekupanja [33].

### 3. Eksperimentalni dio

#### 3.1. Opis lokacije

Jezero Šoderica je umjetno jezero koje je nastalo zbog iskopa šljunka. Šoderica je smještena uz desnu dravsku obalu kod Botova, udaljena je od rijeke 400-500 metara. Nadmorska visina kreće se između 127,8 i 129,6 metara. Smještena je na prvoj dravskoj terasi i raspolaže sa šljunčanim slojem debljine oko 15 metara koji pripada II, a vjerojatno i III dravskoj terasi (slika 12.).



**Slika 12.** Satelitski prikaz jezera Šoderica [34]

Drava prihranjuje podzemlje Šoderice, a tok podzemnih voda u tom značajnom šljunčanom kolektoru paralelan je s tokom Drave. Dubina vode u Šoderici varira. Na najstarijem sjevernom dijelu procijenjeno je da je prosječna dubina oko 8 metara dok je veći dio središnjeg dijela jezera plićak s dubinama vode koje se kreću od 0,5 do 2 metra. Plitko područje nalazi se i na krajnjem sjeveroistočnom dijelu gdje u vrijeme vegetacije nema slobodne površine vode. U sjevernom dijelu oblikovano je nekoliko većih ili manjih otoka koji su obrasli autohtonom šikarastom i šumskom vegetacijom (slika 13.).



**Slika 13.** Jezero Šoderica

U južnom dijelu dubina vode je znatno veća, mjestimično se kreće do 20 metara. Na tom dijelu se iskop šljunka odvija plovnim bagerom te se tamo nalaze šljunčani depoi, upravne zgrade, separacija, betonara, trafostanica i industrijska željeznica. Na Šoderici postoje četiri eksploatacijska polja i jedna interesna zona (Šoderica V) sveukupne površine veće od 200 ha i postojećih zaliha šljunka od 31 700 000 m<sup>3</sup>. Iskop šljunka ne utječe na razinu vode u podzemlju niti na razini vode u jezeru te se zbog toga predviđa eksploatacija mineralnih sirovina u narednih 30 godina. Na najstarijem sjevernom dijelu jezera odvija se turistička djelatnost, a na približno 1500 m sjeverne obale jezera nalazi se i uređena plaža. U zaleđu je smješteno vikend naselje, neophodne prometnice, i vazdazeleni šumarak površine 1,1 ha. S procesom eksploatacije mineralnih sirovina, rastom turističkog naselja i povećanjem broja posjetitelja zanemarena je briga o biološkim pojavama i procesima te ekološkim odnosima koji se manifestiraju u vodi jezera [35].

### **3.2. Uzorkovanje**

Za određivanje kakvoće vode potrebno je provesti uzorkovanje vode. Uzorkovanje je provedeno u skladu s Uredbom o kakvoći voda za kupanje (NN 51/14). Uzorci vode ne smiju se uzimati za vrijeme kiše, jakog vjetra ili pojave proliferacije cijanobakterija. Prvi uzorak uzet je prije početka sezone kupanja. Bočice za uzorkovanje potrebno je sterilizirati u autoklavu u trajanju od najmanje 15 minuta

na temperature od 121 °C ili suhom sterilizacijom na temperature između 160 °C i 170 °C u trajanju od najmanje jednog sata, a mogu se koristiti i bočice za jednokratno uzorkovanje koje je proizvođač podvrgnuo sterilizaciji zračenjem. Uzorkovanje se obavlja ručnim uzorkivačem sa sterilnom prozirnom bocom čiji je minimalni volumen 250 ml. Kako bi se spriječila kontaminacija uzorka, osoba koja obavlja uzorkovanje mora koristiti aseptičnu tehniku kako bi se očuvala sterilnost boca za uzorke. Uzorci vode od mjesta uzorkovanja do obrade u laboratoriju moraju se zaštititi od djelovanja svjetla te se moraju čuvati u hladnjaku pri temperature od približno 4 °C ± 3 °C. Vrijeme između uzorkovanja i analize mora biti što kraće [31].

Uzorkovanje se provodilo u periodu od 2017. do 2022. godine. Na lokaciji Š1 uzorkovanje se provodilo najčešće, svake godine u periodu od lipnja do kolovoza, osim 2022. kada se uzorkovanje provodilo u veljači, travnju i lipnju. Na lokaciji Š2 uzorkovanje se provodilo od 2016. do 2021. godine. Š3 je lokacija na kojoj se uzorkovanje provodilo samo nekoliko puta. U tablici 2 prikazani su datumi uzorkovanja.

**Tablica 2.** Datumi uzorkovanja

	Š1	Š2	Š3
<b>2017.</b>	08.06.2017.	08.06.2017.	-
	24.07.2017.	24.07.2017.	-
	16.08.2017.	16.08.2017.	-
<b>2018.</b>	11.06.2018.	11.06.2018.	-
	03.07.2018.	03.07.2018.	-
	06.08.2018.	06.08.2018.	-
<b>2019.</b>	12.06.2019.	-	12.06.2019.
	10.07.2019.	10.07.2019.	10.07.2019.
	08.08.2019.	08.08.2019.	08.08.2019.
<b>2020.</b>	17.06.2020.	17.06.2020.	-
	14.07.2020.	14.07.2020.	-



	10.08.2020.	-	10.08.2020.
<b>2021.</b>	16.06.2021.	16.06.2021.	-
	07.07.2021.	07.07.2021.	07.07.2021.
	10.08.2021.	-	10.08.2021.
<b>2022.</b>	13.02.2022.	-	-
	27.04.2022.	-	-

### Određivanje temperature vode

Temperatura vode mjeri se na mjestu uzorkovanja i izražava se u °C (stupanj Celzijus). Mjeri se digitalnim ili staklenim termometrom. Mjerenje se vrši uranjanjem termometra i zatim se očitava vrijednost[36].

### Mjerenje pH vrijednosti

pH vrijednost određuje se elektrokemijskim mjerenjem, potenciometrijski s ion selektivnom elektrodom kao indikatorskom i Ag/AgCl elektrodom kao referentnom [37]. Za mjerenje pH vrijednosti korišten je uređaj HACH sension 156 (slika 14.).



**Slika 14.** Uređaj HACH sension 156 [37]

Prije mjerenja kalibrira se uređaj nizom certificiranih standarda poznate pH vrijednosti. Nakon uspješne kalibracije elektroda se ispiru destiliranom vodom. Isprana elektroda uranja se uzorak i očitava se vrijednost koja piše na ekranu. Prije uranjanja elektrode u sljedeći uzorak elektrodu se ispiru destiliranom vodom. Kada mjerenje završi uređaj je potrebno isključiti i isprati elektrodu destiliranom vodom te nježno osušiti. Potrebno je vratiti zaštitni poklopac na elektrodu [37].

#### Određivanje električne vodljivosti

Za mjerenje vrijednosti električne korišten je uređaj HACH sension 156. Prije početka mjerenja, potrebno je isprati elektrodu deioniziranom vodom. Nakon toga počinje mjerenje uranjanjem elektrode u uzorak i očitavaju se vrijednosti. Kada je mjerenje završeno, elektrodu je potrebno isprati destiliranom vodom [37].

#### Mjerenje ukupno otopljene tvari (TDS)

Za mjerenje ukupno otopljenih tvari korišten je uređaj HACH sension 156. Prije uranjanja elektrode u uzorak potrebno je elektrodu isprati destiliranom vodom. Nakon toga elektroda se uroni u uzorak i očitava vrijednost. Kada je mjerenje završeno elektrodu je potrebno isprati destiliranom vodom [37].

#### Mjerenje saliniteta

Salinitet je ukupna koncentracija svih otopljenih soli u vodi. Izražava se u promilima (‰). Za mjerenje saliniteta korišten je HACH sension 156 uređaj. Prije početka mjerenja elektroda se treba isprati deioniziranom vodom. Nakon toga elektroda se uranja u uzorak i očitava se vrijednost. Kada je mjerenje završeno elektrodu je potrebno isprati deioniziranom vodom [37].

#### Određivanje koncentracije klorida

Za određivanje koncentracije klorida korištena je metoda živinog tiocijanata. Za ovaj test potrebna su dva tekuća reagensa: otopina živinog tiocijanata i otopina iona željeza. Prije početka mjerenja potrebno je provjeriti stanje i čistoću staklenih kiveta. Kivete moraju biti čiste i neoštećene jer oštećenje i prljavština mogu utjecati

na rezultate. Zbog toga je važno da se kivete prilikom stavljanja u uređaj drže za “vrat” kivete kako ne bi ostavili tragove po staklu. Prvo se vrši mjerenje slijepa probe, a to znači da se prvo mjerenje provodi na uzorku deionizirane vode koja sadrži reagense i služi za usporedbu s realnim uzorcima. Nakon očitavanja slijepa probe, mjeri se koncentracija ostalih uzoraka. U kivetu s uzorkom dodaje se 1 ml otopine živinog tiocijanata i 0,5 ml otopine iona željeza. Kivetu je potrebno obrisati s papirnatim suhim ručnikom ili pamučnom krpom kako bi se uklonile nečistoće. Nakon toga kiveta se stavlja u uređaj i očitava se vrijednost. Za određivanje koncentracije klorida korišten je uređaj Hach Lange DR 5000 [38].

#### Određivanje koncentracije nitrata

Za određivanje koncentracije nitrata korišten je uređaj Hach Lange DR 5000 pomoću metode NitaVer 5. Analizirani uzorak ulijeva se u kivetu do oznake, a zatim se u nju dodaje NitraVer 5. Uzorak se mućka jednu minutu te ga je potrebno ostaviti da odstoji još dodatnih pet minuta. Prije početka mjerenja potrebno je provjeriti u kakvom su stanju kivete tj. jesu li čiste i neoštećene. Svako oštećenje i prljavština mogu ugroziti validnost rezultata. Upravo zato se kivete moraju držati za “vrat”, kako ne bismo ostavili tragove po staklu. Prvi korak je obavljanje slijepa probe, tijekom koje se mjerenje provodi na uzorku vode bez dodanih reagensa. Važno je napomenuti da je obje kivete (onu koja sadrži demineraliziranu vodu i onu koja sadrži realne uzorke) potrebno prebrisati suhim papirnatim ručnikom ili pamučnom krpom prije nego ih se stavi u uređaj i očita njihovu vrijednost [39].

#### Određivanje koncentracije fosfata

U kivetu s uzorkom dodaje se PhosVer3. Nakon dodavanja PhosVer3 potrebno je pričekati 2 minute. Prije početka mjerenja potrebno je provjeriti stanje i čistoću staklenih kiveta. Kivete moraju biti čiste i neoštećene jer oštećenje i prljavština mogu utjecati na rezultate. Prvo se radi slijepa proba, a to znači da se prvo mjerenje provodi na uzorku bez dodanih reagensa. Nakon očitavanja slijepa probe, mjeri se koncentracija ostalih uzoraka. Nakon toga stavlja se kiveta s uzorkom u

uređaj i očitava se vrijednost. Određivanje koncentracije fosfata provedeno je pomoću uređaja Hach Lange DR 5000 [40].

#### Određivanje koncentracije nitrata

U kivetu s uzorkom doda se NitraVer3 praškasti reagens i čeka se 20 minuta. Prije početka mjerenja potrebno je provjeriti stanje i čistoću staklenih kiveta. Prvo se radi slijepa proba, a to znači da se prvo mjerenje provodi na uzorku bez dodanih reagensa. Nakon očitavanja slijepa probe, mjeri se koncentracija ostalih uzoraka. Korišten je uređaj Hach Lange DR 5000 [41].

#### Određivanje koncentracije amonijaka

Prije početka mjerenja potrebno je provjeriti stanje i čistoću staklenih kiveta. Kivete moraju biti čiste i neoštećene jer oštećenje i prljavština mogu utjecati na rezultate. Prvo se radi slijepa proba, a to znači da se prvo mjerenje provodi na uzorku demineralizirane vode koja služi za usporedbu s realnim uzorcima. U kivetu s uzorkom dodaju se reagensi amonijak salicilat i amonijak cijanurat. Potrebno je pričekati 15 minuta. Nakon očitavanja slijepa probe, mjeri se koncentracija ostalih uzoraka. Korišten je uređaj Hach Lange DR 5000 [42].

#### Određivanje koncentracije sulfata

Kod određivanja koncentracije sulfata prvi korak je slijepa proba. To znači da se prvo mjerenje provodi na uzorku bez dodanih reagensa. U kivetu s uzorkom dodaje se reagens SulfaVer 4 te je potrebno pričekati da prođe 5 minuta. Nakon toga kiveta se stavlja u uređaj i očitava se vrijednost. Korišten je uređaj Hach Lange DR 5000 [43].

#### Određivanje BKP<sub>5</sub> vrijednosti

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) u vodi je količina kisika koja se troši tijekom razgradnje organskih tvari kroz biokemijske procese. Uređaj za mjerenje BPK sastoji se od boce i BPK senzora. U bocu se ulije 157 ml uzorka, doda pet kapi

inhibitora i jedan magnetič. Nakon toga se stavlja gumeni čep na koji se stavlja BPK senzor. Boca se ostavi u hladnjaku i nakon 5 dana očitaju se vrijednosti [44].

#### Određivanje KPK vrijednosti

Na analitičkoj vagi izvaži se 0,0686 g  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  i doda u odmjernu tikvicu. Nakon toga u odmjernu tikvicu se do pola doda destilirana voda i 5 - 6 kapi koncentrirane sumporne kiseline. Sadržaj tikvice grije se u vodenoj kupelji sve dok se oksalat ne otopi. Nakon toga je potrebno ohladiti otopinu i nadopuniti destiliranom vodom do oznake. Potrebno je odmjeriti 10 ml uzorka u Erlenmayerovu tikvicu, dodati 15 ml sulfatne kiseline, zagrijati do vrenja i kuhati 5 minuta. U vrući uzorak dodaje se 15 ml standardne otopine kalijevog permanganata. Otopina se kuha 10 minuta te se doda 15 ml standardne otopine natrijevog oksalata. Otopinu je potrebno kuhati do potpunog obezbojenja. Vruća otopina titrira se standardnom otopinom kalijevog permanganata do pojave ružičaste boje koja se zadržava najmanje 30 sekundi [36].

#### Određivanje koncentracije kalcija

Kalcij je kemijski element iz skupine zemnoalkalijskih elemenata. U prirodi se nalazi u spojevima kao karbonat,  $\text{CaCO}_3$  (kreda, mramor, vapnenac) i kalcijev magnezijev karbonat  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  (dolomit) [5]. Za određivanje koncentracije kalcija korišten je atomski apsorpcijski spektrometar Perkin Elmer AAnalyst 800 (slika 15.). Za slijepu probu korištena je deionizirana voda.



**Slika 15.** Atomski apsorpcijski spektrometar AAnalyst 800

### Određivanje koncentracije kalija (K)

Kalij je kemijski element koji je sastojak mnogih stijena i mineral u obliku spojeva kalijeva klorida, KCl (silvin), dvosoli s magnezijem:  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$  (karnalit),  $K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  (šenit),  $KMgCl(SO_4)$  (kanit), dvosoli s kalcijem:  $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$  (polihalit) i dr. Kalijevi spojevi nalaze se i u morskoj vodi i drugim slanim vodama [5]. Koncentracija kalija određuje se pomoću uređaja AAnalyst 800.

### Određivanje koncentracije magnezija

Magnezij je prisutan u prirodnim vodama, osobito u morskoj, u biljkama i životinjama. Sastojak je mnogih mineral i stijena [5]. Koncentracija magnezija određuje se pomoću uređaja AAnalyst 800.

### Određivanje koncentracije natrija

Natrij se uglavnom dobiva elektrolizom taline bezvodnog natrijeva klorida. Natrijevi spojevi su među važnijim sirovinama ili proizvodima kemijske industrije, npr. natrijev peroksid ( $Na_2O_2$ ) se koristi kao jako oksidacijsko sredstvo za bijeljenje svile, vune i slično [5]. Za određivanje koncentracije natrija korišten je uređaj AAnalyst 800.

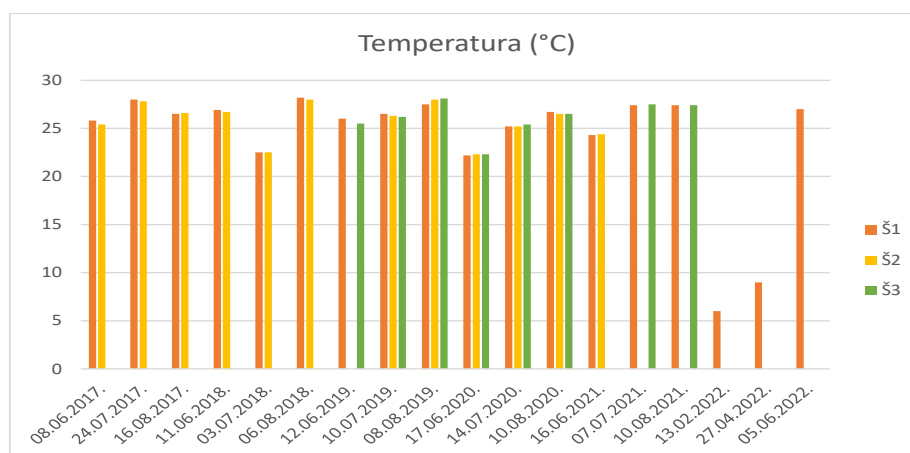
## **4. Rezultati i rasprava**

Ispitivanje kemijskih i fizikalnih pokazatelja provedeno je na tri lokacije na jezeru Šoderica. Lokacije na kojima se provodilo uzorkovanje su dječja plaža ispred bistroa Šoderica (Š1), plaža ispred restorana Tomislav – priobalno (Š2) i plaža ispred ribičkog doma – priobalno (Š3).

### **4.1. Analiza temperature uzorka**

Temperatura vode ukazuje na količinu topline apsorbirane u vodi te ima velik utjecaj na količinu i raznolikost života u njoj. Temperatura vode mjerena je na tri

lokacije. Vrijednosti se kreću u rasponu od 6 °C do 28,2 °C. Najviša temperatura 28,2 °C izmjerena je na lokaciji Š1 06.08.2018., istog dana na lokaciji Š2 je izmjerena temperatura i njezina vrijednost je iznosila 28 °C. Prema podacima koji se nalaze na slici 16. vidljivo je da su vrijednosti za analizirane uzorke istog dana približne. Temperatura vode u jezerima ovisi o geografskoj širini i nadmorskoj visini na kojima se jezero nalazi. U ljetnim mjesecima površinski sloj vode se jače zagrijava te je voda zbog toga manje gustoće i zadržava se na površini. Ako nema vjetrova dolazi do slojevitosti odnosno do stratifikacije jezera u tri sloja: epilimniji (topliji sloj, manje gustoće), metalimniji (srednji sloj, gustoća i temperatura se mijenjaju) i hipolimniji (donji sloj koji je izjednačen sloj hladne vode) [45].

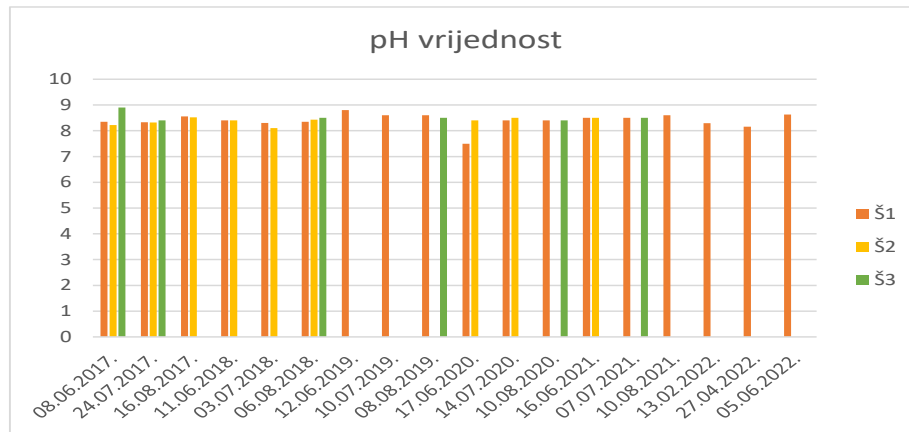


**Slika 12.** Vrijednosti temperature

#### 4.2. Analiza pH vrijednosti

pH vrijednost je mjera kiselosti ili lužnatosti vode. pH je važan parametar jer o njemu ovise kemijske reakcije koje se odvijaju u voda. Raspon pH vrijednosti od 4 do 10 definiran je kao pogodan za život. [46] Analizirane vrijednosti se kreću u rasponu od 7,5 do 8,9. Najviša vrijednost izmjerena je 12.06.2019. na Š3 i iznosila je 8,9. Najniža vrijednost je izmjerena na lokaciji Š1 17.06.2020. te je iznosila 7,5. pH prirodnih voda nalazi se u intervalu od 5,5. do 8,6, a to su optimalni uvjeti za život većine biljnih i životinjskih uvjeta. Prema podacima na slici 17. vidljivo je da su

vrijednosti približne, da nema velikih odstupanja, da je voda blago lužnata i pogodna za život flore i faune. [45]

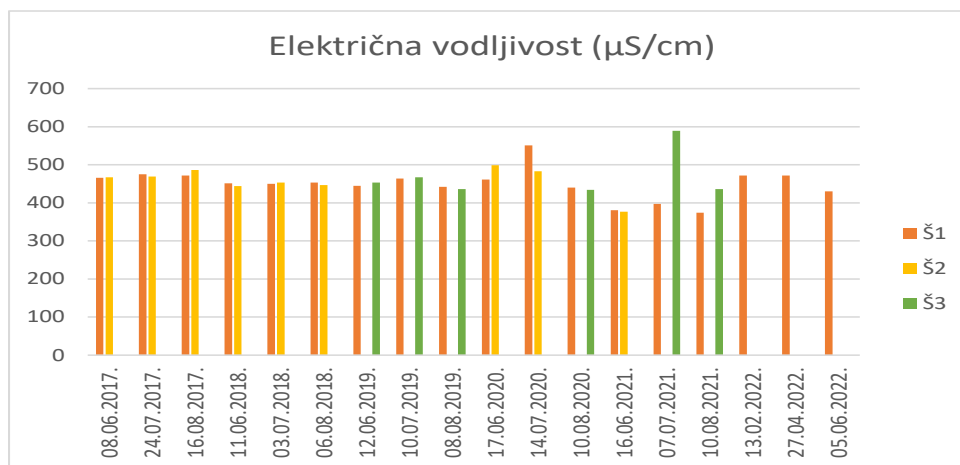


**Slika 17. pH vrijednost**

### 4.3. Analiza električne vodljivosti

Električna vodljivost je indirektna mjera za ukupnu količinu otopljenih tvari u vodi. Mjerenjem električne vodljivosti mjeri se provođenje struje u uzorku. U ovom slučaju analizirali su se uzorci s tri lokacije. Vrijednosti se kreću u rasponu od 377 do 589  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Najviša izmjerena vrijednost iznosi 589  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a izmjerena je 07.07.2021 na lokaciji Š3. Istog dana na lokaciji Š1 izmjerena je električna vodljivost i njezina vrijednost je iznosila 397  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Prema podacima koji se nalaze na slici 18. vidljivo je da se vrijednosti analiziranih uzoraka tog dana razlikuju. Električna vodljivost ovisi o temperaturi, koncentraciji i vrsti iona koji su prisutni u vodi te o njihovoj pokretljivosti [46].

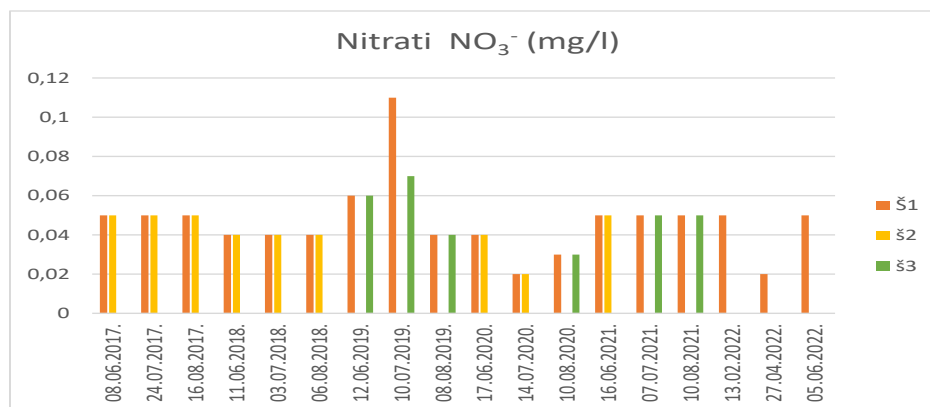




**Slika 18.** Vrijednosti električne vodljivosti

#### 4.4. Analiza koncentracije nitrata

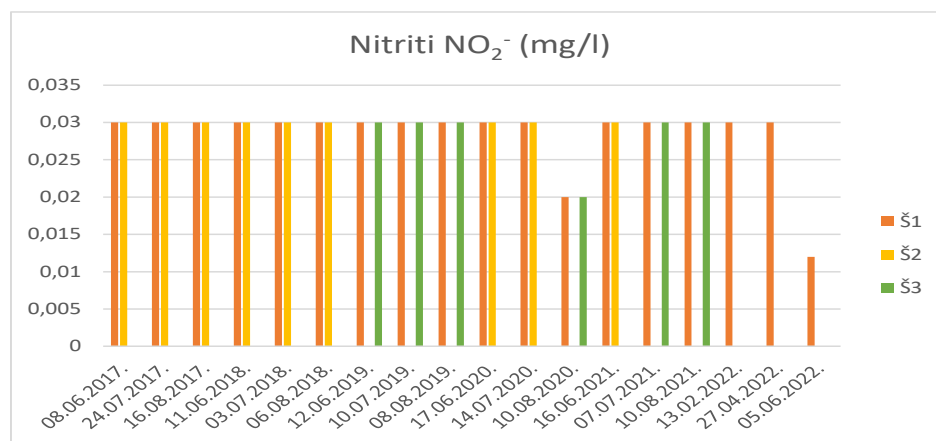
Koncentracija nitrata mjerena je na tri lokacije. Vrijednosti se kreću u rasponu od 0,02 mg/l do 0,1 mg/l. Najviša koncentracija izmjerena je na lokaciji Š1 10.07.2019., istog dana na lokaciji Š3 je izmjerena koncentracija nitrata i njezina vrijednost je iznosila 0,07 mg/l. Podaci koji se nalaze na slici 19. ukazuju da vrijednosti analiziranih uzoraka 10.07.2019. nisu približne i to je jedini slučaj u kojem vrijednosti analiziranih uzoraka nisu približne. Izvori nitrata mogu biti mineralna i prirodna gnojiva, razgradnja organske tvari, komunalne i industrijske otpadne vodi. Površinske vode imaju razinu nitrata unutar 0,005 – 0,5 mg/l te zbog toga koncentracije nitrata u jezeru Šoderica nisu zabrinjavajuće. [45]



**Slika 19.** Koncentracija nitrata NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)

#### 4.5. Analiza koncentracije nitrita

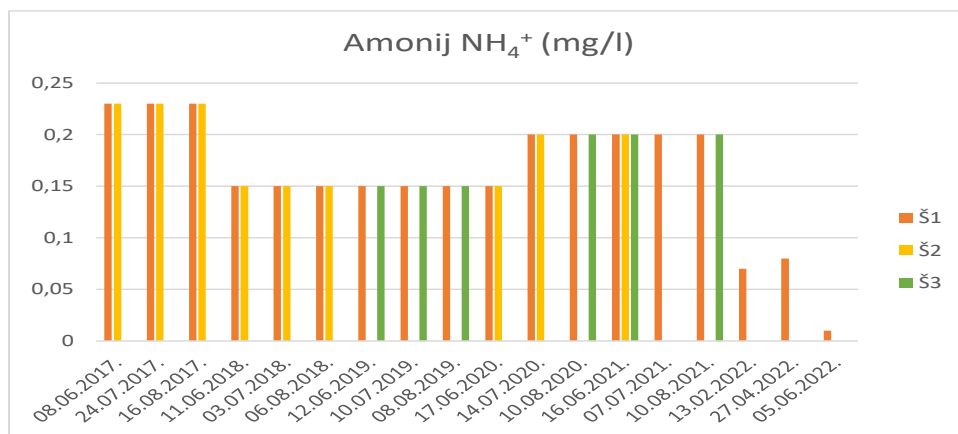
Nitriti su međuprodukti u ciklusu kruženja dušika. U prirodnim vodama nalaze se u malim koncentracijama, do 0,1 mg/l. Poželjno je da koncentracija nitrita bude što niža jer imaju negativan utjecaj na živi svijet u vodi. Koncentracija nitrita mjerena je sve tri lokacije. Vrijednosti se kreću u rasponu od 0,01 mg/l do 0,03 mg/l. Prema podacima koji se nalaze na slici 20. vidljivo je najniža koncentracija nitrita izmjerena je na lokaciji Š1 05.06.2022. i iznosila je 0,012 mg/l [45].



Slika 20. Koncentracija nitrita  $\text{NO}_2^-$  (mg/l)

#### 4.6. Analiza koncentracije amonija

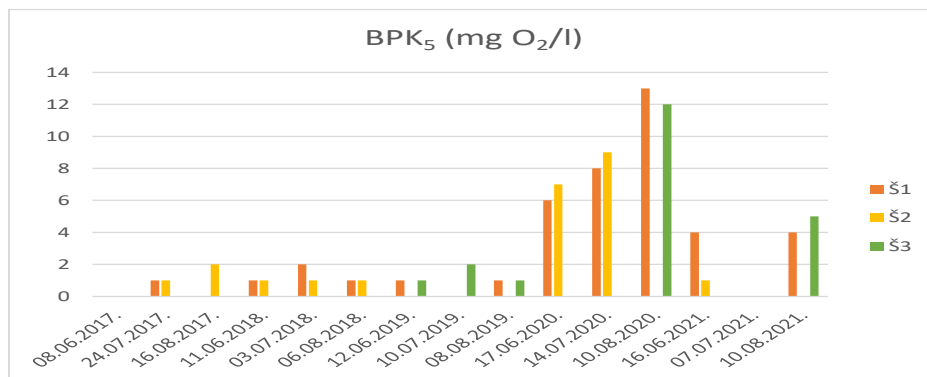
Amonij je pokazatelj prisutnosti mikroorganizama, životinja i izmeta. Prisustvo amonija može izazvati neugodan miris i okus, koroziju, i porast sadržaja nitrita. Analizirana je koncentracija amonija u uzorcima koji su uzeti na tri lokacije. Vrijednosti analiziranih uzoraka vode bile su  $< 0,23$  mg/l. Kao što se vidi iz podataka na slici 21. dobivene vrijednosti variraju od  $< 0$  mg/l do 0,23 mg/l. Najniža koncentracija izmjerena je na lokaciji Š1 05.06.2022. i iznosila je  $< 0,01$  mg/l. Uredbom o standardu kakvoće voda propisano je da vrijednosti amonija moraju biti ispod 1 mg/l, prema tome Šoderica zadovoljava taj uvjet jer nijedna vrijednost nije bila veća od propisane vrijednosti [45].



**Slika 21.** Koncentracija amonija NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)

#### 4.7. Analiza BPK<sub>5</sub>

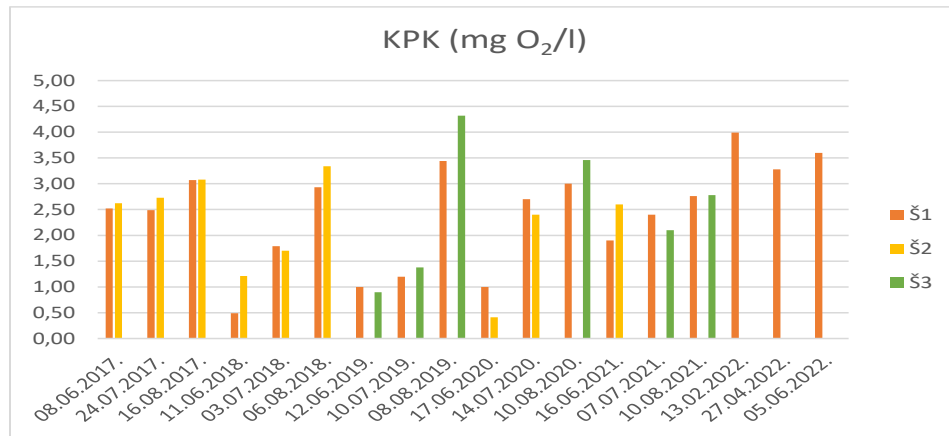
Biološka potrošnja kisika ili BPK<sub>5</sub> predstavlja količinu kisika koja se troši tijekom biološkog degradiranja neke organske tvari. Ovisi o vrsti i broju mikroorganizama, koncentraciji kisika, trajanju ispitivanja, temperature, osvjetljenju i opterećenosti bioloških procesa. Vode koje imaju visoku vrijednost BPK<sub>5</sub> nisu pogodne za žive organizme [47]. Vrijednosti analiziranih uzorka kreću se u rasponu od < 1 mg O<sub>2</sub>/l do 13 mg O<sub>2</sub>/l. Najviša vrijednost 13 mgO<sub>2</sub>/l izmjerena je na lokaciji Š1 10.08.2020. Prema podacima koji se nalaze na slici 22. vidljivo je da su povećane vrijednosti BPK<sub>5</sub> izmjerene su kod svakog uzorka tijekom 2020. godine. Uzrok tome može biti povećani broj kupača zbog nemogućnosti odlaska na more/godišnji odmor zbog epidemije COVID-19. [45]



**Slika 22.** Koncentracija BPK<sub>5</sub> (mg O<sub>2</sub>/l)

#### 4.8. Analiza KPK

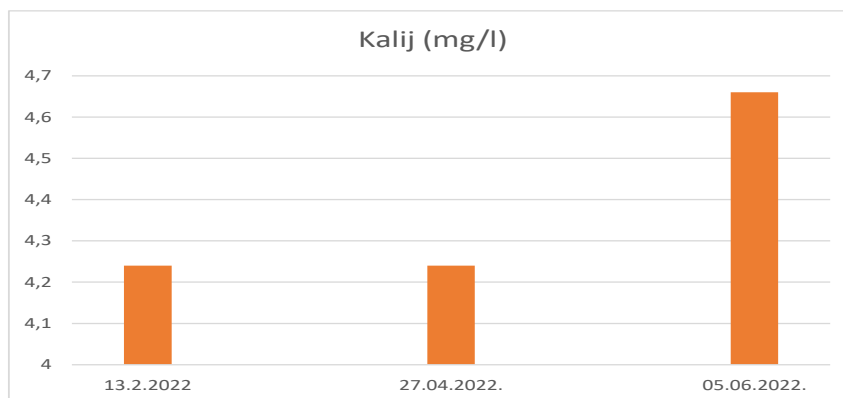
Kemijska potrošnja kisika (KPK) predstavlja ukupnu koncentraciju oksidiranih sastojaka u vodi. Uzorci koji su analizirani uzeti su na tri lokacije. Vrijednosti se kreću u rasponu od 0,41 mg O<sub>2</sub>/l do 4,32 mg O<sub>2</sub>/l. Najviša vrijednost KPK iznosi 4,32 mg O<sub>2</sub>/l izmjerena je na lokaciji Š3 08.08.2019. Prema podacima koji se nalaze na slici 23. vidljivo je da su vrijednosti analiziranih uzoraka vode različite. Prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 137/2008) Šoderica spada u vode I. vrste jer su izmjerene vrijednosti ispod 4 mg O<sub>2</sub>/l. Kod voda koje spadaju u vrstu I., koncentracija kisika je stalno blizu zasićenja [48].



Slika 23. Koncentracija KPK (mg O<sub>2</sub>/l) u uzorcima

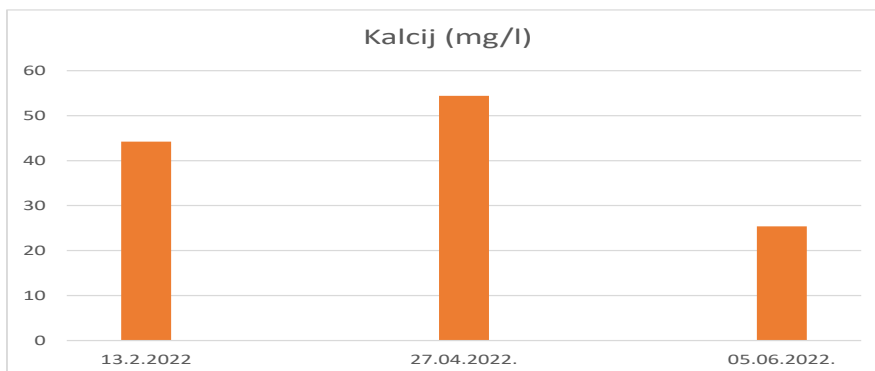
#### 4.9. Analiza koncentracije kalija, kalcija, magnezija natrija, saliniteta, sulfata, ukupno otopljenih tvari, klorida i fosfata

Na lokaciji Š1 tri puta je mjerena koncentracija kalija. Vrijednosti se kreću u rasponu od 4,24 mg/l do 4,66 mg/l. Najviša vrijednost je izmjerena 05.06.2022. Prema podacima koji su prikazani na slici 24. vidljivo je da je vrijednost trećeg uzorka viša od prethodne dvije [49].



**Slika 24.** Koncentracija kalija za lokaciju Š1

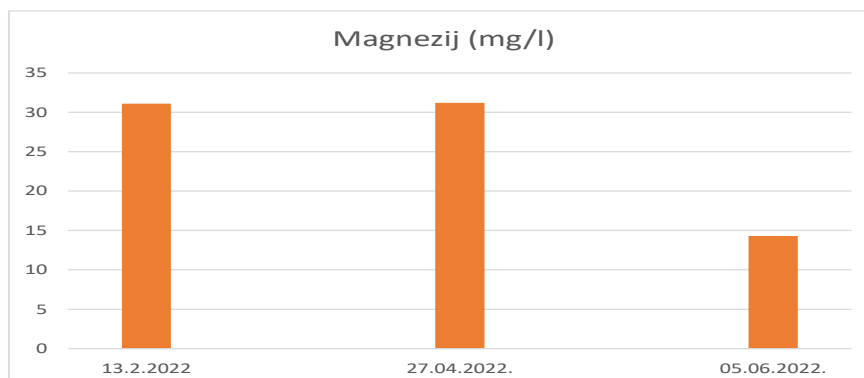
Vrijednosti dobivene analizom uzorka za kalcij kreću se od 25,38 mg do 54,4 mg/l. Najviša koncentracija za lokaciju Š1 iznosi 54,4 mg/l, a najmanja 25,38 mg/l. Prema podacima koji se nalaze na slici 25. može se vidjeti da je zadnja vrijednost dva puta niža od prve dvije vrijednosti. Za tumačenje dobivenih rezultata kalcija koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), a općenito se preporučuje da voda za piće sadrži manje od 70 mg/l. Prema dobivenim rezultatima može se reći da voda na jezeru Šoderica zadovoljava preporučenu vrijednost [49].



**Slika 13.** Koncentracija kalcija za lokaciju Š1

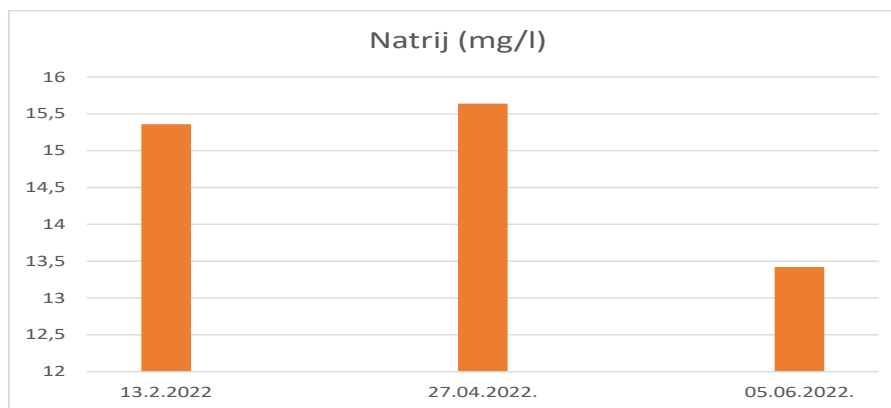
Vrijednosti dobivene analizom uzorka vode Šoderice za magnezij kreću se u rasponu od 14,3 mg/l do 31,2 mg/l. Prema podacima koji su prikazani na slici 26. vidljivo je posljednja vrijednost dva puta je manja od prethodne dvije. Za tumačenje

dobivenih rezultata magnezija koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) [49].



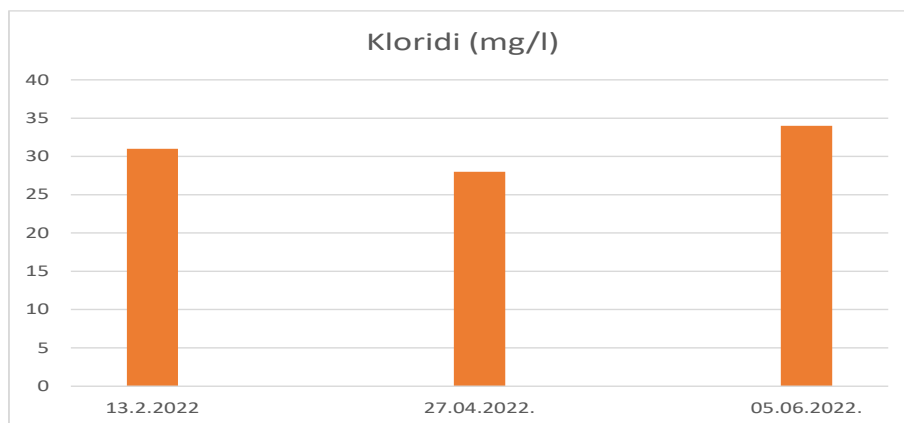
**Slika 26.** Koncentracija magnezija za lokaciju Š1

U površinskim vodama natrij se prirodno nalazi u koncentracijama manjim od 20 mg/l. Opasan je u vrlo visokim koncentracijama. Koncentracija natrija mjerena je tri puta na lokaciji Š1. Vrijednosti se kreću u rasponu od 13,42 mg/l do 15,64 mg/l. Prema podacima koji se nalaze na slici 27. može se reći da koncentracija natrija u analiziranim uzorcima ne prelazi graničnu vrijednost jer nijedna vrijednost nije iznad 20 mg/l [45].



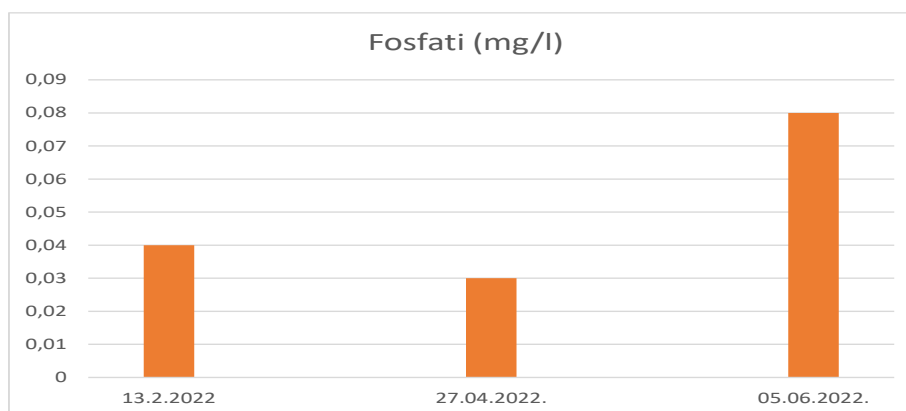
**Slika 27.** Koncentracija natrija za lokaciju Š1

Vode koje sadrže više od 250 mg/l klorida imaju slan okus. Visoke koncentracije klorida u vodi mogu nastati zbog promjene pH vrijednosti. Prema podacima koji se nalaze na slici 27. vidljivo je da se vrijednosti koncentracije klorida kreću u rasponu od 28 mg/l do 34 mg/l. Najniža vrijednost izmjerena je 27.04.2022 [45].



**Slika 28.** Koncentracija klorida za lokaciju Š1

Fosfati se u vodi razgrađuju vrlo sporo, potječu iz komunalnih otpadnih voda i iz oborinskih voda koje isparavaju s poljoprivrednih tla. Nisu otrovni i ne predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje ako njihova koncentracija ne prelazi graničnu vrijednost. Prema vrijednostima koje se nalaze na slici 29. vidljivo je da je najveća koncentracija fosfata izmjerena 05.06.2022. Vrijednosti se kreću u rasponu od 0,03 mg/l do 0,08 mg/l. Na slici 29. se može vidjeti i da je posljednja vrijednost povišena u odnosu na prethodne dvije [45].



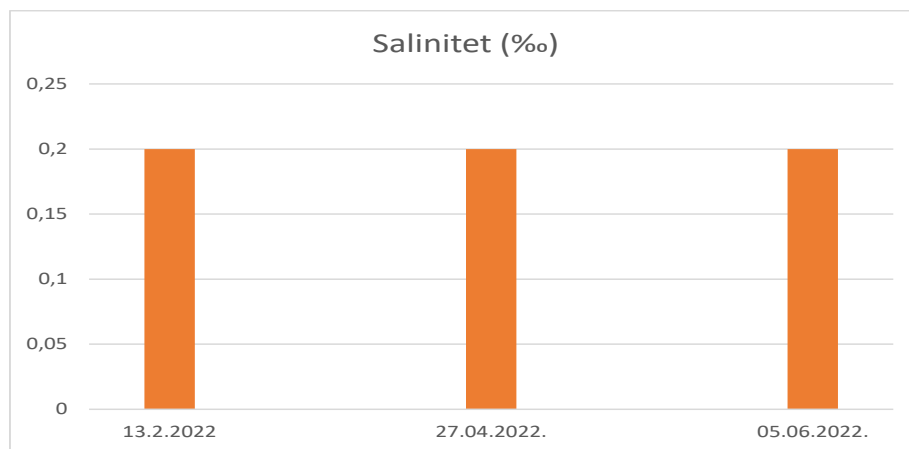
**Slika 29.** Koncentracija fosfata za lokaciju Š1

Ukupno otopljene tvari (total dissolved solids, TDS) u vodi čine anorganske soli koje potječu od prirodnih izvora i onečišćenja. Prema vrijednostima koje se nalaze na slici 30. vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 215 mg/l do 236 mg/l. Najniža vrijednost izmjerena je 05.06.2022 [45].



**Slika 30.** Ukupno otopljene tvari za lokaciju Š1

Sadržaj soli u vodi je važan faktor jer ukazuje na to koje skupine organizama mogu biti nađene u vodi. Slatkovodne biljke i životinje imaju u svojim stanicama veću koncentraciju nego voda u kojoj žive ili je koriste. Salinitet je mjera slanosti vode, izražena kao dio otopljene soli na tisuću dijelova vode. Salinitet rijeka i jezera kreće se od  $< 0,01$  promila do nekoliko promila. Vrijednost analiziranih uzoraka vode iznosi  $0,02 \text{ ‰}$ . Prema podacima koji se nalaze na slici 31. vidljivo da su vrijednosti saliniteta iste u sva tri slučaja [46].



**Slika 14.** Salinitet lokacije Š1



#### 4.10. Analiza koncentracije cinka, bakra, kadmija, kroma, molibdena, nikla i selenija

Većina voda sadrži niske prirodne koncentracije otopljenih metala. Ako su metali prisutni u povišenim koncentracijama mogu imati negativan utjecaj na žive organizme, a time i na ljude. Zbog toga je potrebno poznavati prirodne koncentracije metala te kako bi se mogao procijeniti antropogeni utjecaj na kvalitetu vode. Granične vrijednosti koncentracija teških metala u površinskim vodama regulirane su „Uredbom o standardu kakvoće voda“ (NN 73/13; 151/14; 78/15; 61/16; 80/18). Vrijednosti koncentracije bakra, cinka, kroma, molibdena, olova i selenija bile su ispod detekcijskog limita. Vrijednost kadmija dobivena analizom uzorka vode iz Jezera šoderica iznosila je 0,445 µg/l. Vrijednosti dobivene analizom za arsen i nikal prikazane su u tablici 3. Prema tome je vidljivo da su vrijednosti ispod graničnih vrijednosti za površinske vode [45].

**Tablica 3.** Granične vrijednosti površinskih voda i izmjerene koncentracije

	<b>Granične vrijednosti površinskih voda</b>	<b>Izmjerena koncentracija</b>
<b>Arsen</b>	0,1 mg/l	0,535 µg/l
<b>Nikal</b>	0,5 mg/l	0,97 µg/l

## 5. Zaključak

U svijetu je svakog dana sve manje pitke vode što je posljedica porasta broja stanovništva, razvoja industrije i porasta standarda ljudi. Porastom broja stanovništva i razvojem industrije dolazi i do onečišćenja vode. Kako bi se spriječilo onečišćenje i njegovo širenje prati se kakvoća vode. Kakvoća vode je važan pokazatelj zdravog i kvalitetnog života svih živih organizama. Pokazatelji kakvoće vode određuju se različitim metodama, a osnovni pokazatelji koji se određuju su fizikalni, kemijski, biološki i mikrobiološki pokazatelji. Procjena kakvoće vode važna je zbog nadzora i upravljanja vodom kao resursom.

Na jezeru Šoderica analizirani su fizikalni i kemijski pokazatelji kakvoće vode. Rezultati su uspoređeni s graničnim vrijednostima koje je propisala Svjetska zdravstvena organizacija za površinske vode i s Uredbom o standardu kakvoće vode (NN 73/13; 151/14; 78/15; 61/16; 80/18) koja propisuje dozvoljene koncentracije hranjivih i onečišćujućih tvari koje smiju biti prisutne u vodama predviđenima za uzgoj slatkovodnih riba. Prema Uredbi o standardu kakvoće vode i preporučenim graničnim vrijednostima Svjetske zdravstvene organizacije Šoderica rezultati dobiveni analizom zadovoljavaju jer ne prelaze granične vrijednosti. U Republici Hrvatskoj se zakonima i podzakonskim aktima regulira kakvoća vode te se na taj način osigurava zdravstvena ispravnost vode.

Onečišćenje voda je sve češće te je zbog toga potrebno educirati i osvijestiti ljude da nekontroliranim odlaganjem otpadom, ispuštanjem otpadnih voda, korištenjem pesticida u poljoprivredi i neracionalnom potrošnjom vode negativno utječu na kakvoću vode i kvalitetu života.

## 6. Literatura

- [1] Mayer, D. (2004). *Voda – od nastanka do upotrebe*, Prosvjeta, Zagreb
- [2] Đikić, D., Glavač, H., Glavač, V., Hršak, V., Jelavić, V., Njegač, D., Simončić, V., Springer, P.O., Tomašković, I., Vojvodić, V., (2001)., *Ekološki leksikon*, Barbat, Zagreb
- [3] Štrkalj, A., (2004). *Onečišćenje i zaštita voda*, Metalurški fakultet, Sisak
- [4] Agencija za vodno područje rijeke Save, dostupno na: <https://www.voda.ba/kruzni> datum pristupa: 22.04.2022.
- [5] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. dostupno na: <https://enciklopedija.hr/> datum pristupa: 01. 04. 2022.
- [6] Water Science School, (2018). *Freshwater (Lakes and Rivers) and the Water Cycle*, dostupno na: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/freshwater-lakes-and-rivers-and-water-cycle> datum pristupa: 01. 04. 2022.
- [7] National Geographic Society, (2019)., *Surface Water* Dostupno na: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/surface-water/>. datum pristupa: 01. 04. 2022.
- [8] Corrosionpedia, (2018)., *Surface Water* Dostupno na: <https://www.corrosionpedia.com/definition/1059/surface-water> datum pristupa: 01. 04. 2022.
- [9] Igrac - International Groundwater Resources Assessment Centre, *What is Groundwater* dostupno na: <https://www.un-igrac.org/what-groundwater> datum pristupa: 01. 04. 2022.
- [10] Fish Smart, *Groundwater*, dostupno na: <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/groundwater.pdf> datum pristupa: 05. 04. 2022.

- [11] Groundwater foundation, *What is groundwater* dostupno na: <https://www.groundwater.org/get-informed/basics/whatis.html> datum pristupa: 05. 04. 2022.
- [12] D. Mayer, (1993). *Kvaliteta i zaštita podzemnih voda*
- [13] Ptiček Siročić, A. (2019) *Upravljanje kakvoćom voda*. Interna skripta. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
- [14] Superlab, Ponuda laboratorijske opreme za kontrolu kvaliteta voda, dostupno na: [http://www.super-lab.com/cms/mestoZaUploadFajlove/Top\\_vode\\_2011\\_.pdf](http://www.super-lab.com/cms/mestoZaUploadFajlove/Top_vode_2011_.pdf) datum pristupa: 22.04.2022.
- [15] Nastavni zavod za javno zdravstvo splitsko-dalmatinske županije, *Mutnoća vode i zdravstveni rizik*, dostupno na: <https://nzjz-split.hr/mutnoca-vode-i-zdravstveni-rizik/> datum pristupa: 10. 04. 2022.
- [16] Hach, 2100P *Portable turbidimeter, USEPA 180.1, EU*, dostupno na: <https://si.hach.com/2100p-portable-turbidimeter-usepa-180-1-eu/product?id=26728271720> datum pristupa: 22.04.2022.
- [17] Sigurnost hrane (2018.), *Mutnoća vode dostupno na:* [https://www.google.com/search?q=mutno%C4%87a+vode+po+NTU&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiiyoPQ3rT4AhUC3qQKHbKTAOsQ\\_AUoAnoEC\\_AEQBA&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgsrc=gdhI4b5kDg14UM](https://www.google.com/search?q=mutno%C4%87a+vode+po+NTU&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiiyoPQ3rT4AhUC3qQKHbKTAOsQ_AUoAnoEC_AEQBA&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgsrc=gdhI4b5kDg14UM) datum pristupa: 22.04.2022.
- [18] Hach, *DR900 prijenosni kolorimetar* dostupno na: <https://hr.hach.com/dr900-cvrsti-prijenosni-kolorimetar-s-funkcijom-biljezenja-podataka/product?id=26374624639> datum pristupa: 22.04.2022. [19] Aqua interma inženjering, *Uklanjanje mutnoće i boje vode* dostupno na: <http://www.aquainterma.rs/sr/filtracija-vode/preciscavanje-vode/uklanjanje-mutnoce-vode-boje/> datum pristupa: 26.04.2022.

- [20] Geo – maslesa, *Digitalni termometar sa sondom* dostupno na: <https://geomaslesa.com/proizvod/digitalni-termometar-sa-sondom-ubodni-tfa/> datum pristupa: 22.04.2022.
- [21] Komunalno društvo vodovod i kanalizacija, *Tvrdoća vode* dostupno na: [https://www.kdrik-rijeka.hr/voda/kvaliteta\\_nase\\_vode/tvrdoca\\_vode](https://www.kdrik-rijeka.hr/voda/kvaliteta_nase_vode/tvrdoca_vode) datum pristupa: 26.04.2022.
- [22] Oryx asistencija, *Čišćenje perilice rublja* dostupno na: <https://www.oryx-asistencija.hr/savjeti-za-dom/ciscenje-perilice-rublja-10580> datum pristupa: 26.04.2022.
- [23] Brewshop, *pH metar Brewferm Cobra* dostupno na: <https://brewshop.hr/proizvod/ph-metar-brewferm-cobra-ph-olovka/> datum pristupa: 26.04.2022.
- [24] Campbell, B. (2021)., *What is total dissolved solids (TDS)?* dostupno na: <https://www.wwdmag.com/what-articles/what-total-dissolved-solids-tds> datum pristupa: 10. 04. 2022.
- [25] Lenntech, *Metals in aquatic freshwater*, dostupno na: <https://www.lenntech.com/aquatic/metals.htm> datum pristupa: 10. 04. 2022.
- [26] Optimum Water Solutions, (2020). *Top 5 Heavy Metals Found in Tap Water* dostupno na: <https://www.drinkoptimum.com/top-5-heavy-metals-found-in-tap-water/> datum pristupa: 10. 04. 2022.
- [27] Šimunić I., (2013). *Uređenje voda*, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb
- [28] Springer, O. P., (2001)., *Ljudsko zdravlje i okoliš*, Ekološki leksikon, Zagreb
- [29] Omerdić N., (2020). *Utjecaj vode na organizam i zdravlje čovjeka* dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/369860> datum pristupa: 12. 04. 2022.

[30] Narodne novine, (2022). *Zakon o vodama* (NN 66/19, 84/21) Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama> datum pristupa: 13. 04. 2022.

[31] Narodne novine, (2022)., *Uredba o kakvoći vode za kupanje* (NN 51/2014), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_04\\_51\\_978.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_04_51_978.html) datum pristupa: 13. 04. 2022.

[32] Hrvatske vode, Okvirna *direktiva o vodama (DIREKTIVA 2000/60/EC)* dostupno na: <https://www.voda.hr/hr/okvirna-direktiva-o-vodama> datum pristupa: 13. 04. 2022.

[33] Hrvatske vode, *Direktiva o kakvoći vode za kupanje (DIREKTIVA 2006/7/EZ)* dostupno na: <https://www.voda.hr/hr/direktiva-o-kakvoci-vode-za-kupanje> datum pristupa: 13. 04. 2022.

[34] Google map, dostupno na: <https://www.google.com/maps/place/%C5%A0oderica/@46.2364292,16.9073233,2917m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47689cebb75ef023:0x6a94a6bd75694f65!8m2!3d46.2411236!4d16.9149732!5m1!1e4>

[35] Kranjčev, R. (2002). *Jezero Šoderica – današnje stanje i prijedlozi sanacije i revitalizacije*

[36] Horvat, A., Babić, S., Mutavdžić Pavlović, D., (2013)., *Uvod u kemiju okoliša*, interna skripta, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

[37] Hach, (2001)., *Sension156 Portable Multiparameter Meter Manual*, dostupno na: <https://hr.hach.com/quick.search-quick.search.jsa?keywords=sension+156+>, datum pristupa: 28. 04. 2022.

[38] Hach, *Chloride for water and wastewater*, dostupno na: <https://ca.hach.com/dr-5000-uv-vis-spectrophotometer/product-downloads?id=14534087101>, datum pristupa: 28. 04. 2022.

- [39] Hach, *Nitrogen, Nitrate for water and wastewater*, dostupno na: <https://ca.hach.com/dr-5000-uv-vis-spectrophotometer/product-downloads?id=14534087101>, datum pristupa: 28. 04. 2022.
- [40] Hach, *Phosphorus – Spectrophotometric Measurement of Phosphorus in Water and Wastewater*, dostupno na: <https://ca.hach.com/dr-5000-uv-vis-spectrophotometer/product-downloads?id=14534087101>, datum pristupa: 28. 04. 2022.
- [41] Hach, *Nitrogen, Nitrite for water and wastewater*, dostupno na: <https://ca.hach.com/dr-5000-uv-vis-spectrophotometer/product-downloads?id=14534087101>, datum pristupa: 28. 04. 2022.
- [42] Hach, *Nitrogen, Ammonia for water, wastewater and seawater*, dostupno na: <https://ca.hach.com/dr-5000-uv-vis-spectrophotometer/product-downloads?id=14534087101>, datum pristupa: 28. 04. 2022.
- [43] Hach, *Sulfate USEPA SulfaVer 4 Method*, dostupno na: <https://ca.hach.com/dr-5000-uv-vis-spectrophotometer/product-downloads?id=14534087101>, datum pristupa: 28. 04. 2022.
- [44] Velp Scientifica, *Instruction manual respirometric sensor*, dostupno na: <https://www.velp.com/en-us/respirometric-sensor-system-6-bod.aspx>, datum pristupa: 28. 04. 2022.
- [45] Narodne novine (2022), *Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019)*, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_10\\_96\\_1879.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html), datum pristupa: 23.06.2022.
- [46] Kepčija M., R., *Istraživanje vode*, priručnik za mjerenja
- [47] Rack, A., (2020)., *Praćenje odabranih parametara kakvoće površinske vode rijeke Drave*, diplomski rad, Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, dostupno na:

<https://repozitorij.kemija.unios.hr/en/islandora/object/kemos%3A373>, datum pristupa: 23.06.2022.

[48] Narodne novine, *Uredbi o klasifikaciji voda (NN 137/2008)*, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_11\\_137\\_3843.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_11_137_3843.html), datum pristupa: 23.06.2022.

[49] World Health Organization (WHO) (2004a): *Guidelines for Drinking Water Quality*, third ed. Geneva, dostupno na: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42852> datum pristupa: 23.06.2022.

## 7. Popis slika

Slika 15. Kruženje vode u prirodi .....	2
Slika 16. Prikaz nezasićene i zasićene zone .....	5
Slika 17. Imhoffov stožac .....	7
Slika 18. Turbidimetar .....	7
Slika 19. Mutnoća vode po NTU's .....	8
Slika 20. Kolorimetar .....	8
Slika 21. Obojenje vode .....	9
Slika 22. Digitalni i stakleni termometar .....	10
Slika 23. Tvrdnoća vode po njemačkom stupnju (°nj ili °dH) .....	12
Slika 24. Kamenac .....	12
Slika 25. a) Univerzalni indikatorski papir, b) pH metar .....	14
Slika 12. Satelitski prikaz jezera Šoderica .....	28
Slika 13. Jezero Šoderica .....	29



Slika 14. uređaj HACH sension 156 .....	31
Slika 15. Atomski apsorpcijski spektrometar AAnalyst 800 .....	35
Slika 26. Vrijednosti temperature .....	37
Slika 17. pH vrijednost .....	38
Slika 18. Vrijednosti električne vodljivosti .....	39
Slika 19. Koncentracija nitrata $\text{NO}_3^-$ (mg/l) .....	39
Slika 20. Koncentracija nitrita $\text{NO}_2^-$ (mg/l) .....	40
Slika 21. Koncentracija amonija $\text{NH}_4^+$ (mg/l) .....	41
Slika 22. Koncentracija BPK <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) .....	41
Slika 23. Koncentracija KPK (mg O <sub>2</sub> /l) u uzorcima .....	42
Slika 24. Koncentracija kalija za lokaciju Š1.....	43
Slika 27. Koncentracija kalcija za lokaciju Š1.....	43
Slika 26. Koncentracija magnezija za lokaciju Š1.....	44
Slika 27. Koncentracija natrija za lokaciju Š1.....	44
Slika 28. Koncentracija klorida za lokaciju Š1.....	45
Slika 29. Koncentracija fosfata za lokaciju Š1.....	45
Slika 30. Ukupno otopljene tvari za lokaciju Š1.....	46
Slika 28. Salinitet lokacije Š1.....	46

## 8. Popis tablica

Tablica 1. Vrijednosti ukupno otopljenih tvari (TDS).....	15
Tablica 2. Datumi uzorkovanja .....	30
Tablica 3. Granične vrijednosti površinskih voda i izmjerene koncentracije .....	47

