

Analiza mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode za kupanje

Šaško, Ida

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:130:967347>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**



Repository / Repozitorij:

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



Analiza mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode za kupanje

Šaško, Ida

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:130:967347>

Rights / Prava: [In copyright](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

IDA ŠAŠKO

ANALIZA MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA
KAKVOĆE VODE ZA KUPANJE

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA
KAKVOĆE VODE ZA KUPANJE

KANDIDAT:

IDA ŠAŠKO

MENTOR:

Doc.dr.sc. ANITA PTIČEK
SIROČIĆ

VARAŽDIN, 2017.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

ANALIZA MIKROBIOLOŠKIH POKAZATELJA KAKVOĆE VODE
ZA KUPANJE
(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.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, 28.06.2017.

IDA ŠAŠKO

(Ime i prezime)

Ida Šaško

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

U ovom radu opisana je teorijska osnova važnosti upravljanja kakvoćom površinskih voda te su analizirani mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode za kupanje. Ispitivanje kakvoće voda za kupanje obuhvaća ispitivanje fizikalno-kemijskih i mikrobioloških osobina površinskih voda koje upućuju na potencijalni rizik od zaraznih bolesti prilikom korištenja površinskih voda za rekreaciju. Mikrobiološki pokazatelji smatraju se najznačajnijim indikatorima onečišćenja površinskih voda sanitarno-fekalnim otpadnim vodama. Jezera Jarun i Budek najpoznatija su kupališta na području Zagreba i okolice. Koriste se za kupanje, rekreaciju, ribolov i odmor. Obale jezera proglašena su plažom te se kakvoća vode sustavno motri. U radu je analizirana kakvoća vode za kupanje koja se odredila uzorkovanjem vode tijekom 2014., 2015. i 2016. g. u sezoni kupanja na tri lokacije na području jezera Budeka i šesnaest lokacija na području jezera Jarun. Provedena su ispitivanja kojima su određene vrijednosti mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode: *Escherichia coli* i crijevnih enterokoka. Navedene bakterije obitavaju u ljudskom probavnom traktu međutim ukoliko se nađu izvan probavnog sustava djeluju patogeno odnosno izazivaju brojne bolesti. Mikrobiološki pokazatelji određeni su metodom membranske filtracije koja je najpogodnija za vode sa nižim brojem bakterijskih kolonija odnosno za površinske vode. Rezultati su prikazani kao broj izraslih kolonija u 100 mL uzorka (bik/100 mL). Broj i vrsta indikatorskih bakterija variraju ovisno o vremenskim uvjetima, opterećenju vode za kupanje otpadnim vodama te kontaminaciji okolnog tla.

Ključne riječi: kakvoća vode, voda za kupanje, *Escherichia coli*, crijevni enterokoki

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POVRŠINSKE VODE.....	2
2.1. Osnovni pokazatelji kakvoće vode	3
2.1.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode.....	3
2.1.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode	7
2.1.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode	17
2.1.4. Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode	22
2.2. Ocjene stanja površinskih voda	25
2.2.1. Monitoring stanja površinskih voda	28
2.2.2. Monitoring kakvoće vode za kupanje.....	30
3. OPIS PROMATRANIH LOKACIJA	40
3.1. Jezero Bundek.....	40
3.2. Jezero Jarun.....	41
3.3. Provedba monitoringa površinskih voda jezera Jarun i Bundek.....	42
3.4. Mjerne točke	43
3.5. Kalendar uzorkovanja	45
3.6. Oprema za uzorkovanje	46
3.7. Uzorkovanje.....	47
3.8. Određivanje mikrobioloških pokazatelja	47
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	51
5. ZAKLJUČAK.....	61
6. LITERATURA	62

1. UVOD

Voda je najrasprostranjenija kapljevina na Zemlji koja zauzima gotovo 3/4 Zemljine površine od čega je 2,5 % slatka voda. Od ukupne slatke vode, 78 % je u obliku leda, a ostatak su rijeke, potoci, jezera, ribnjaci, podzemne vode, špiljske vode, izvori, poplavne nizine i močvare [1].

Slatka voda omogućuje vodu za piće, poljoprivredu, transport, stvaranje električne energije, rekreaciju te stvara staništa mnogim životinjskim i biljnim vrstama. Samim time mora biti dobre kakvoće odnosno bez mirisa, boje, okusa i bez prisustva fekalija i štetnih kemikalija.

Zbog eksponencijalnog rasta broja stanovnika te posljedično povećane proizvodnje hrane kao i industrijskih proizvoda, znatno su se povećale količine otpadnih tvari i energije koji se izravno ili neizravno ispuštaju u prirodne vodne sustave. Ubrzanim razvojem kemijske industrije pojavile su se umjetne tvari i spojevi kojih nikada nije bilo u prirodi pa nisu niti postojali organizmi koji bi takve spojeve razgradili [2]. Sve više postojanih i otrovnih tvari, od kojih se neke i nagomilavaju u prehrambenom lancu te upotrebom vode onečišćene fekalijama, u organizam ljudi ulaze različiti mikroorganizmi koji mogu biti uzročnici brojnih bolesti: kolera, tifus, paratifus, bakterijska dizenterija, hepatitis A i dr. Stoga je kakvoća vode regulirana zakonima i propisima.

Kako bi se pratila i ocijenila kakvoća vode provodi se monitoring, koji se sastoji od uzorkovanja, mjerenja i određivanja fizičkih, kemijskih, bioloških i mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode, a provodi se najčešće za površinske i podzemne vode. Za površinske vode, čije su obale proglašene plažom, provodi se monitoring kakvoće vode za kupanje. Glavna svrha navedenog monitoringa je pravovremeno obavještanje javnosti o onečišćenju potencijalno opasnom za zdravlje.

Jezera Jarun i Bundeck najpoznatija su kupališta na području Zagreba i okolice. Smješteni su u južnom dijelu Zagreba uz rijeku Savu. Koriste se za kupanje, rekreaciju, ribolov i odmor. Dio jezera ostavljeni su kao prirodna staništa brojnih biljnih i životinjskih vrsta. Obale jezera proglašena su plažom te se kakvoća vode sustavno motri. Redovito su ispitivani fizikalno-kemijski i mikrobiološki pokazatelji u skladu s Uredbom o kakvoći vode za kupanje [3].

2. POVRŠINSKE VODE

Površinske vode obuhvaćaju tekuće i stajaće vode na Zemljinoj površini odnosno vodotoke (potoci i rijeke) te jezera i močvare u kojima jedan dio vode potječe od oborinske vode koja padne direktno na njenu površinu, a drugi dio potječe od oborinske vode koja se ulije u nju kroz podzemne vode. Karakterizira ih veća tvrdoća od oborinske vode, veći sadržaj suspendirane tvari te razvijen biljni i životinjski svijet [4].

Površinske vode dijele se na:

- gorske potoke (teku u nenastanjenim krajevima, imaju vrlo malu mogućnost onečišćenja jer nema antropogenog utjecaja)
- brdske rijeke (prolaze kroz nastanjena područja, kada gorski potok prijeđe u brdsku rijeku, krupnije kamenje se zadržava, a sitnije se usitnjava)
- nizinske rijeke (nastaju kad brdska rijeka prijeđe u nizinu, dolazi do taloženja usitnjenog materijala (šljunak, pijesak, mulj) te se mogu koristiti za piće)
- jezera (vodena tijela u kojima voda dosta dugo miruje, ali se može izbistriti te omogućava razvoj planktonskih zajednica, mogu biti prirodna i umjetna)
- močvare (plitke vode stajačice odnosno tla natopljena najčešće slatkom vodom) [5].

Kakvoća površinskih voda procjenjuje se na temelju fizikalnih, kemijskih, bioloških te mikrobioloških pokazatelja kao što su količina suspendiranih tvari, suhi ostatak, potrošnja kisika, boja, miris, pH i dr. čije su granične vrijednosti definirane Uredbom o kakvoći vode za kupanje [3] i Uredbom o standardu kakvoće voda [6].

Uredbom o kakvoći vode za kupanje propisuje se praćenje i ocjenjivanje stanja kakvoće vode, klasifikacija voda za kupanje na površinskim vodama, upravljanje kakvoćom voda za kupanje te informiranje javnosti o kakvoći voda za kupanje u svrhu očuvanja, zaštite i poboljšanja kvalitete okoliša i zaštite zdravlja ljudi.

Uredbom o standardu kakvoće voda propisuju se standardi kakvoće voda za površinske vode, uključujući priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode. Nadalje propisuju se 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 te izvještavanje o stanju voda.

2.1. Osnovni pokazatelji kakvoće vode

Kakvoća vode određuje se veličinom pojedinih pokazatelja sadržanih u vodi. Ocjenjuje se prema fizikalnim, kemijskim i biološkim skupinama pokazatelja. Poznavanje pojedinih pokazatelja kakvoće vode bitno je za nadzor i upravljanje vodnim bogatstvima.

2.1.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode

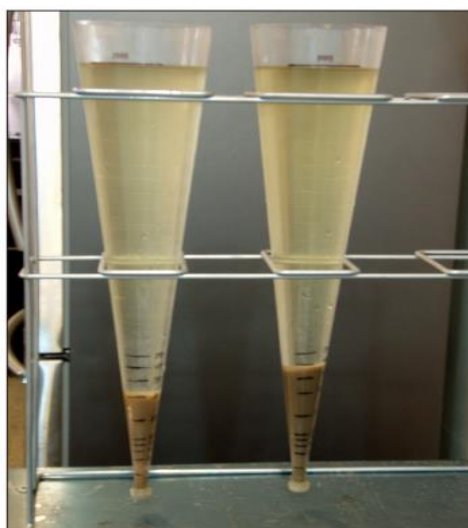
Fizikalni pokazatelji ne određuju u potpunosti kakvoću i mogućnost upotrebe vode, ali određuju njena svojstva s obzirom na izgled, boju, miris, okus, temperaturu. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode su:

- raspršene tvari
- mutnoća
- boja
- okus
- miris
- temperatura [2].

Raspršene tvari

Raspršene ili suspendirane tvari u vodi mogu biti organskog i anorganskog porijekla. Prirodne vode sadrže anorganske raspršene tvari (pijesak, gline, ilovače), a isto tako i organske tvari i to kao živu organsku tvar (mikroorganizmi), proizvod metabolizma žive organske tvari te kao mrtvu organsku tvar (čestice uginulih organizama). Raspršene tvari karakteristične su za površinske vode, a sastav i koncentracija ovise o vučnoj sili vode, geološkim i morfološkim prilikama sliva te o biološkim prilikama u vodnom sustavu. Povećane koncentracije raspršene tvari u odnosu na prirodne značajke vodnog sustava ukazuju na utjecaj ispuštenih otpadnih voda naselja, industrije, poljoprivrede i drugih antropogenih utjecaja. Raspršene tvari djeluju kao onečišćivač vode u estetskom, ekološkom te u zdravstvenom smislu. Takve tvari čine vodu mutnom te neupotreblijvom za vodoopskrbu, razonodu i druge namjene. Raspršene čestice talože se u dijelovima vodnih sustava sa smanjenom brzinom tečenja. Istaložene čestice mijenjaju stanje staništa te mogu izazvati nepoželjne promjene bentonskih zajednica. Pri

taloženju biološki razgradivih tvari može doći do anaerobnih uvjeta na dnu prijamnika što dovodi do pojave plinova. Raspršene čestice predstavljaju jezgru na koju se adsorbiraju ioni i molekule drugih tvari koje mogu biti štetne, a isto tako su nosioci kolonija mikroorganizama, među kojima može biti i patogenih. Pokazatelj raspršene tvari izražava se u količini raspršenih tvari u jedinici obujma vode (mg/L, g/m³). Ukupne raspršene tvari utvrđuju se u laboratoriju, a dijele se na taložive i netaložive [2]. Taložive raspršene čestice su one koje se u vremenu od 60 minuta istalože na dnu posude u obliku stošca zvanog Imhoffov stožac (konus) prikazanog na slici 1.



Slika 1. Imhoffov stožac [7]

Mutnoća

Mutnoća vode nastaje od raspršenih tvari (koloida), mikroorganizama te mjehurića plinova. Mutnoća utječe na mogućnost prodiranja svjetlosti u stupcu vode odnosno djeluje na upijanje ili raspršivanje svjetla na česticama raspršene tvari u vodi. Mutnoća može biti izazvana valovima, strujanjem ili usred vanjskih utjecaja, a posebno ispuštanjem otpadne vode. Mutne vode su neugledne, ali su ujedno i dvojbene u zdravstvenom smislu. Sa ekološkog stajališta mutnoća predstavlja značajan činitelj stanja vodnog sustava. Smanjuje dubinu prodiranja svjetlosti i time se ograničava pojas proizvodnje odnosno fotosinteze. Pokazatelj mutnoće vode služi pri određivanju povoljnosti vode za piće kao i vode kojom se koristi za kupanje i razonodu. Mutnoća se mjeri turbidimetrima. Izražava se u mg/L SiO₂ ili jedinicama NTU. U načelu, mjeri se postotak svjetlosti određene jakosti koji se upija ili raspršava u uzorku vode [2].

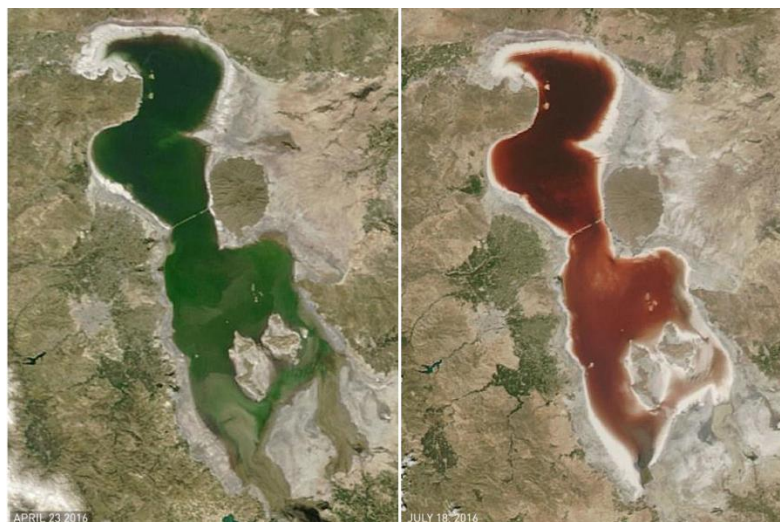


Slika 2. Mutnoća vode vrijednosti 5, 50 i 500 NTU [8]

Boja

Boja u vodi nastaje od otopljenih i raspršenih tvari. Boja koja se pojavljuje u vodi od otopljenih tvari naziva se prava boja. Voda može biti obojena i raspršenom tvari te se kao takva naziva prividna boja. Boja može nastati u dodiru vode s lišćem, iglicama četinara, drvetom, pri čemu voda otapa tanin, humusne kiseline te dobiva žuto-smeđu boju. Oksidi željeza i mangana također mogu obojiti vodu od crvenkaste do smeđe boje. Industrijski otpad, naročito iz tvornica tekstila, celuloze i papira, prehrambenih i kemijskih proizvoda vrlo često je uzročnik obojenih voda. Obojene vode nisu povoljne za vodoopskrbu, ali ni za mnoge industrijske potrebe kao što je proizvodnja tekstila, namirnica, boja te papira. Organske tvari koje uzrokuju pravu boju kad se dezinficira voda klornim spojevima stvaraju klor-organske spojeve. Osim neugodna mirisa i okusa koje dobiju takve vode, postoji sumnja da spojevi organskih kiselina i klora mogu izazivati kancerogene bolesti. Boja se mjeri fotometrijskim načinom. Izražava se u mg/L Pt-Co ljestvice [2].

Na slici 3. prikazano je Iransko jezero Urmija koje je promijenilo boju uslijed djelovanja mikro alge *Dunaliella salina*, koje u uvjetima povišenog saliniteta i intenziteta svjetlosti pocrvene zbog proizvodnje zaštitnih karotenoida u stanicama [9].



Slika 3. Promjena boje Jezera Urmija uslijed djelovanja mikroorganizama [10]

Miris i okus

Miris i okus vode često su međusobno povezani. U načelu, vode u kojih se osjeća miris imaju i okus. Obrnuto ne vrijedi jer postoje vode s izraženim okusom, ali bez mirisa, na primjer slana morska voda. Miris odnosno okus u vodi može biti posljedica kao što su raspadanje organske tvari, proizvod živih organizama (naročito alge), industrijske otpadne tvari (fenoli, naftni proizvodi), otopljeni plinovi (sumporovodik), otopljene soli (kloridi, sulfati). Čista voda je bez mirisa i okusa. Miris odnosno okus vode čine je neprikladnom za piće. Vode s izrazitim mirisom odnosno okusom ujedno su i dvojbene u zdravstvenom smislu. Miris i boja određuju se čovjekovim osjetilima (senzorki način). Brojčano se može izraziti pragom mirisa ili okusa koji odgovara obujmu uzorka vode (mL) razrijeđenom u 200 mL čiste (destilirane) vode [2].

Temperatura

Temperatura prirodnih voda povezana je s temperaturom okoliša (atmosfera) te se mijenja tijekom godine. Temperatura je važan ekološki činitelj kod životnih postupaka, a naročito hladnokrvnih organizama koji nemaju vlastiti mehanizam termoregulacije. O temperaturi ovise fizikalna i kemijska svojstva vode. Povećanje temperature prirodnih voda nastaje ispuštanjem rashladnih voda industrije i objekata za proizvodnju energije. Isto tako je opaženo da povratne vode pri navodnjavanju mogu povišiti temperaturu prirodnih voda. Temperatura se mjeri termometrima, a izražava se u °C ili kao termodinamička, Kelvinova temperatura (K) [2].

2.1.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode

Kemijski pokazatelji u velikoj mjeri određuju upotrebljivost vode, odnosno stanje pojedinog vodnog sustava. U vodi se mogu nalaziti otopljene tvari od kojih neke bitno utječu na povećanje biološke proizvodnje u ekosustavu, a neke su štetne ili opasne za žive organizme. Sva otopljena i raspršena tvar u vodi može biti organskog ili anorganskog porijekla. Otopljena tvar nalazi se u vodi u obliku iona ili molekula koje su po dimenzijama istog reda veličine ili manje od molekula vode (manje od 10^{-6} mm). Koloidi su sitne čestice u vodi koje po svojim svojstvima čine prijelaz između otopljenih i raspršenih tvari. Veličine čestica su u granicama od 10^{-6} do 10^{-3} mm. Određene su kao čestice koje se zadrže na cjediljci veličine otvora 10^{-3} mm.

Kemijske primjese u vodi mogu se podijeliti na tri skupine:

- tvari koje se nalaze u prirodnim vodama
- tvari koje po sastavu ili koncentraciji bitno ne pogoršavaju mogućnost uporabe vode, ali su nepoželjne u većim količinama
- tvari koje po svom sastavu i/ili koncentraciji čine vodu neupotrebljivom za određene namjene, a mogu biti i otrovne.

S obzirom na stalne promjene kemijskih spojeva koji se mogu nalaziti u vodi kao proizvod čovjekovih djelatnosti, a posebno kemijske industrije, nije moguće navesti sve pokazatelje koji bi se trebali ispitivati kako bi se utvrdila kakvoća vode. Stoga se utvrđuju sljedeći pokazatelji kojima se procjenjuje stanje kakvoće vode:

- ukupno otopljene tvari
- koncentracija vodikovih iona
- alkalitet
- tvrdoća
- otopljeni plinovi
- organske tvari
- hranjive tvari
- metali [2].

Ukupno otopljene tvari

Ukupno otopljene tvari u vodi su one koje ostaju nakon cijedenja, a utvrđuju se isparavanjem na temperaturi 105 °C pa se ovaj pokazatelj često naziva i suhi ostatak procijeđene vode. Izračunava se u mg/L suhe tvari. U vodi se nalaze otopljene tvari jer

je voda pogodno otapalo čvrstih tvari, tekućina i plinova. Kao i raspršene tvari, u vodi se nalaze otopljene organske i anorganske tvari. Ako se suhi ostatak procijeđene vode žari na 600 °C, izgorjet će organske tvari, a žareni ostatak čine anorganske tvari. Otopljene tvari nalaze se u vodi u obliku iona ili molekula i spojeva koji nisu ionizirani. Najčešći ioni u prirodnim vodama prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Uobičajeni ioni u prirodnim vodama [2]

GLAVNI SASTOJCI 1,0-1000 mg/L	OSTALI SASTOJCI 0,01-10,0 mg/L
Natrij	Željezo
Kalcij	Stroncij
Magnezij	Kalij
Hidrogenkarbonati	Karbonati
Sulfati	Fluoridi
Kloridi	Nitrati
	Bor
	Silicij

Otopljene tvari u vodi nalaze se kao posljedica otapanja prolazom vode kroz atmosferu, otjecanjem po površini tla ili u podzemlju. U vodi se nalaze i mnogi proizvodi razgradnje mrtve organske tvari. Također, voda pronosi i otpadne tvari iz kućanstava kao i proizvodnih postupaka. Električna provodljivost pokazatelj je provođenja električne struje u tekućini. Vrijednost ovisi o koncentraciji iona u vodi, pa se pokazatelj električna provodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) može primjenjivati i za utvrđivanje ukupno otopljenih soli u vodi.

Koncentracija vodikovih iona

Koncentracija vodikovih iona pokazuje kiselost ili lužnatost voda. Bitan je pokazatelj kakvoće voda jer mnogi postupci čišćenja voda ovise o pH vrijednosti. U prirodnim neonečišćenim vodama pH vrijednost je u međuovisnosti o slobodnom ugljikovom dioksidu te karbonatima i hidrogenkarbonatima. Kiselost u neonečišćenim vodama posljedica je otopljenih tvari nastalih razgradnjom biljaka, kao na primjer humusne, fulvijske i drugih organskih kiselina. Vode onečišćene industrijskim otpadom mogu imati nisku vrijednost pH tj. korozivne su. pH vrijednost prirodnih voda nalazi se u granicama od 5,5 do 8,6. Visoke vrijednosti pH smanjuju učinak kloriranja pri

dezinfekciji vode. Koncentracija vodikovih iona mjeri se elektrometrijskom metodom [2].



Slika 4. pH metar [11]

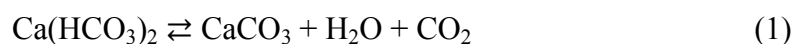
Alkalitet

Alkalitet određuje količina iona u vodi koja neutralizira vodikove ione. U prirodnim vodama alkalitet tvore sljedeći ioni: karbonati (CO_3^{2-}), hidrogenkarbonati, (HCO_3^-) hidroksidi (OH^-), silikati (HSiO_3^-), borati (H_2BO_3^-), fosfati (HPO_4^{2-}) i hidrogensulfidi (HS^-). Navedeni ioni nastaju otapanjem mineralnih tvari u tlu i atmosferi. Neki od njih, kao na primjer fosfati, potječu iz komunalnih otpadnih voda (deterdženti) ili oborinskih voda koje ispiraju poljoprivredna tla (umjetna gnojiva). Najčešći ioni koji tvore alkalitet su karbonati, hidrogenkarbonati i hidroksidi, čija se tvorba povezuje s ugljikovim dioksidom. Ugljikov dioksid je, ne samo proizvod organske razgradnje, već je i sastavni dio atmosfere. Alkalitet se izražava u mg/L CaCO_3 , ali nije ograničen normama za prirodne vode kao ni za vodu za piće. Upotrebljava se kao pokazatelj koji označava sposobnost voda za neutralizaciju kiselina.

Tvrdoća vode

Tvrdoća vode određena je koncentracijom polivalentnih metalnih kationa u otopini. U uvjetima zasićenosti metalni kationi reagiraju s anionima u vodi te tvore tvrdoću vode. U prirodnim vodama najčešće se od polivalentnih metalnih kationa nalaze kalcij i magnezij. Utjecaj ostalih metalnih kationa kao što su željezo i mangan (Fe^{3+} , Mn^{2+}), stroncij (Sr^{2+}) i aluminij (Al^{3+}) znatno je manji s obzirom na njihovu količinu u vodi. Ukupna tvrdoća vode može biti karbonatna (prolazna) koju čine hidrogenkarbonati i karbonati te nekarbonatna (stalna), ako se u vodi nalaze sulfati i kloridi. Kod karbonatne

tvrdooe (karbonati i hidrogenkarbonati kalcija i magnezija) alkalitet vode jednak je tvrdooi. Ako je tvrdoaa veaa od alkaliteta tada se u vodi, osim karbonata i hidrogenkarbonata, nalaze kloridi i sulfati kalcija i magnezija. Kad je alkalitet veoi od tvrdooe, tada se u vodi osim kalcijevih i magnezijevih nalaze pretežno karbonati i hidrogenkarbonati, natrija i kalija. Karbonatna tvrdoaa osjetljiva je na temperaturu vode. Prema jednadzbi (1) grijanjem se hidrogenkarbonati raspadaju, a karbonati talooe uz izdvajanje ugljikovog dioksida:



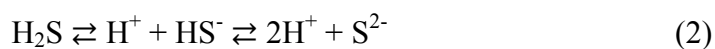
Tvrde vode troše više sapuna pri pranju. Metalni kationi u tvrdoj vodi zamjenjuju se s natrijem iz sapuna te tvore netopive spojeve čime se gubi učinak sniženja površinske aktivnosti vode. Pokazatelj tvrdooe vode važan je za industrijsku upotrebu vode, posebno kad se treba grijati. Grijanjem iz vode se izdvaja ugljikov dioksid te se talooi kamenac na zidovima kotlova i cijevi. Posljedica su veaa potrošnja goriva, a mogu nastati i drugi problemi poput začepljenosti cijevi i sl. Tvrdoaa se izražava u stupnjevima ili u mg/L CaCO_3 .

Otopljeni plinovi

Od otopljenih plinova u vodi, obično se ispituje količina kisika, ugljikovog dioksida, vodik sulfida te dr., ovisno o porijeklu vode. Kisik dospijeva u vodu otapanjem iz zraka te procesom fotosinteze, a potreban je za život brojnih organizama u vodi.

Ukupan ugljikov dioksid nalazi se u vodi kao slobodan ili vezan u spojevima hidrogenkarbonata i karbonata. Slobodan CO_2 u vodi je u otopljenom stanju. Da bi se hidrogenkarbonati održavali u vodi u otopljenom stanju, potrebno je da u vodi postoji dio slobodnog CO_2 koji se naziva pripadni CO_2 . Ostatak slobodnog CO_2 u vodi je agresivni CO_2 . U kišnici nema hidrogenkarbonata i cijeli CO_2 je agresivan pa je kišnica vrlo korozivna. Ako je ukupan slobodni CO_2 manji od pripadnog tada u vodi hidrogenkarbonati prelaze u netopive karbonate. U prirodi u krškim vodama tako nastaju barijere i slapovi, npr. Plitvice i slapovi rijeke Krke.

Vodikov sulfid nalazi se u vodi kao posljedica razgradnje organskih tvari ili vulkanskih djelatnosti. Prema jednadzbi (2) vodikov sulfid u vodi disocira pa nastaju neutralne molekule (H_2S), hidrogen sulfid (HS^-) i sulfid ion (S^{2-}):



Zbog oslobađanja hidrogen iona (H^+) snižava se pH vode i povećava se agresivnost.

Topljivost kisika u vodi vezana je uz temperaturu. Više kisika otapa se u hladnoj nego u toploj vodi. (npr. kod 25 °C topljivost kisika u vodi je 8,3 mg/L, a kod 4 °C topljivost je 13,1 mg/L). Zasićenost kisikom je relativna mjera koja nam pokazuje postotak kisika otopljenog u vodi u odnosu na normalnu topljivost pri određenoj temperaturi. Zasićenost ispod 80 % ukazuje nam na povećanu potrošnju kisika što se naročito javlja ljeti u vodama stajaćicama zbog kumulativnog efekta visokih temperatura (manje O_2), pojačanje razgradnje organske tvari (troši se O_2) i bržeg metabolizma čitave zajednice. Kada su postupci fotosinteze intenzivni, moguća je zasićenost vode veća od 100 % pri određenoj temperaturi. Otopljeni kisik u vodi čini vodu korozivnom za metale.

Slobodan agresivan CO_2 razara betonske konstrukcije kada su otopljene količine veće od 15 mg/L te pri toj vrijednosti djeluje korozivno i na metalne konstrukcije.

Vodikov sulfid daje vodi neugodan miris. U zatvorenim kanalima, malih protoka i brzina, organske tvari se talože na dnu i razgrađuju. Vodikov sulfid, odnosno sulfid ion (S^{2-}) pod utjecajem nekih bakterija može oksidirati u sulfat ion (SO_4^{2-}) koji uzrokuje koroziju betona.

Organske tvari

Organske tvari nalaze se u prirodnim vodama u raspršenom i otopljenom obliku. Mogu biti proizvod biokemijskih procesa u vodi, posljedica ispiranja zemljišta oborinskom vodom, sastojci ispušnih gradskih i industrijskih otpadnih voda. Ukupna organska tvar može se dijeliti na biološki razgradive i nerazgradive tvari. Najznačajnije skupine organskih tvari u otpadnim vodama su: bjelančevine (40-60 %), ugljikohidrati (25-50 %) te masnoće (oko 10 %). Osim navedenih, u otpadnim se vodama nalaze i manje količine brojnih sintetičkih organskih molekula primjerice: površinski aktivne tvari, hlapljive organske tvari i pesticidi. Biološki razgradivu tvar u vodi koriste mikroorganizmi kao hranu pri čemu se troši kisik. U vodi u kojoj ima dovoljno otopljenog kisika zbivaju se aerobni postupci razgradnje, a u dijelu vodnog sustava gdje nema otopljenog kisika u vodi organske se tvari razgrađuju anaerobno. Razgradnjom organske tvari povećava se količina ugljikovog dioksida u vodi što može prouzročiti smanjenje vrijednosti pH. Kao posljedica smanjenja vrijednosti pH može doći do povećanja koncentracije iona željeza i mangana. Neke organske tvari (humusne tvari)

povećavaju proces kompleksiranja teških metala u vodi. Povećanje koncentracije kompleksirajućih te promjenom vrijednosti pH mogu dovesti do pokretanja adsorbiranih metala te tako pogoršati kakvoću vode.

Pokazatelj količine razgradive organske tvari u vodi je biokemijska potrošnja kisika (BPK) koja označava količinu kisika potrebnu da se biološki razgradi organska tvar pomoću mikroorganizama. Potpuna razgradnja organskih tvari traje vrlo dugo. Količina kisika potrebna za potpunu razgradnju naziva se ukupna BKP. Radi kvantificiranja opterećenja otpadnih voda organskom tvari za praktične potrebe uveden je pokazatelj petodnevnne biokemijske potrošnje kisika (BPK_5) koji se odvija pri temperaturi $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ te se izražava u mg/L O_2 . Biokemijskom oksidacijom razgrađuju se ugljikovi i dušikovi spojevi. Nakon 20 dana razgradi se oko 95-98 % ugljikovih spojeva, a tijekom petodnevnog razdoblja oko 60-70 %. Pokazatelj BPK nije uvijek pouzdan pokazatelj količine organske tvari u vodi posebno kad voda sadrži nerazgradive organske tvari ili tvari koje ometaju rast mikroorganizama. Međutim pokazatelj BPK još se uvijek primjenjuje jer približno određuje organsku tvar u vodi i služi za dimenzioniranje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Organske tvari koje se vrlo sporo razgrađuju ili su potpuno nerazgradive nazivaju se nerazgradivim organskim tvarima. U prirodnim vodama nalaze se tanini, ligninske tvari, celuloza dok pesticidi i deterdženti ukazuju na posljedice čovjekovih djelatnosti.

Među najopasnije pesticide ubrajaju se organoklorini (aldrin, dieldrin, diklordifeniltrikloretan (DDT), endrin, lindan). Organoklorini spojevi nakupljaju se u masnim tkivima uključujući i više organizme prehrambenog lanca. Poliklorirani bifenili (PCB) opasne su tvari i ne nalaze se samo u pesticidima već i u otpadnim industrijskim vodama (plastične mase, boje, lakovi, elektroizolacijski materijali). Vrlo su otrovni organofosforni pesticidi (paraton, malation) koji su podložni hidrolizi. Deterdženti, koji se primjenjuju u kućanstvu i industriji, stvaranjem pjene smetaju biološkim uređajima za pročišćavanje otpadne vode, a isto tako i u vodnim sustavima. Sprečavaju razvoj jednostaničnih algi u vodnim sustavima.

Kao posljedica istjecanja industrijskih otpadnih voda dolazi do pojave fenola u vodi. Male količine fenola daju vodi neugodan okus, a posebno onda kad se dezinficira klornim spojevima.

Od ugljikovodika u vodi najčešće se nalaze derivati nafte. Vrlo sporo se razgrađuju. Znatne količine ugljikovodika nalaze se u otpadnim vodama industrija kao i u oborinskim vodama koje ispiru industrijska područja. Na površini vode ugljikovodici

stvaraju tanak film te smetaju otapanju kisika iz zraka. Male količine ugljikovodika daju vodi neugodan okus i miris, opasni su za ljudsko zdravlje, a neki su i kancerogeni.

Pokazatelj količine organske nerazgrađive tvari u vodi je kemijska potrošnja kisika (KPK). Izračunava se iz potrošnje oksidacijskog sredstva, kalijevog permanganata (KMnO_4) ili kalijevog bikromata ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Izražava se u mg/L O_2 . Nerazgrađive organske tvari mogu se procijeniti prema količini ukupnog organskog ugljika (TOC) u vodi [2].

Hranjive tvari

Pod hranjivim tvarima (biostimulanti) podrazumijevaju se tvari potrebne za proizvodnju organske tvari (alge, zelene biljke). Dušik i fosfor obično čine ograničavajuće činitelje rasta algi i zelenih biljaka. Dušik kao plin (N_2) nalazi se u atmosferi, a pri posebnim uvjetima (električno pražnjenje, sijevanje) oksidira u dušikov oksid te ispiranjem atmosfere oborinskom vodom dopijeva u vodne sustave.

Određene vrste algi, bakterija i biljaka fiksiraju dušik iz atmosfere, ali najveći dio dušikovitih spojeva nalazi se kao proizvod razgradnje organskih tvari. Ispiranjem poljoprivrednih zemljišta u vodne sustave unose se dodatne količine dušikovitih spojeva. U vodnim sustavima gdje postoje dovoljne količine otopljenog kisika, dolazi do procesa nitrifikacije prilikom čega dolazi do razgradnje organske tvari od amonijaka preko nitrita do nitrata. Prema jednadžbi (3) amonijak (NH_3) se nalazi kao plin otopljen u vodi te je u ravnoteži s amonijevim ionom (NH_4^+), što ovisi o vrijednosti pH i temperature vode:



Bakterije koje obavljaju nitrifikaciju su autotrofni aerobni organizmi. Uslijed potrošnje kisika, u postupku nitrifikacije, moguće je smanjenje količine otopljenog kisika u vodi pri čemu nastanu anaerobni uvjeti. Tada u vodnom sustavu započinju postupci denitrifikacije, a obavljaju ih heterotrofni anaerobni organizmi.

Moguća su dva postupka denitrifikacije:

- disimilativna redukcija, kad heterotrofne bakterije reduciraju nitrate i nitrite u dušik (plin), uz uvjet da se u vodi nalaze ugljikove organske tvari i amonijak u tragovima
- asimilativna redukcija, kad potpuno nedostaje amonijak pri čemu se nitrati i nitriti reduciraju u amonijak, koji heterotrofima služi za izgradnju novih stanica.

Organski dušik i amonijak u vodi nisu poželjni jer troše kisik za daljnju razgradnju. Amonijak može biti otrovan za neke ribe i druge vodne organizme te djeluje korozivno. Količina amonijaka u vodi nepovoljna je pri dezinfekciji klorom zbog stvaranja spojeva klor amina, koji su za neke organizme opasniji od klora. Nitrati su otrovni u vodi za mlade životinje, ali i za djecu. Ako voda za piće sadrži veće količine nitrata, može izazvati bolesti methemoglobinemiju, poznatu još pod nazivom plavo dijete [2]. U prirodnim vodama dušikovi spojevi ukazuju na organsko onečišćenje te vrijeme kad je nastalo onečišćenje vode. Amonijak je pokazatelj svježeg onečišćenja, nitriti razmjerno blagog, a nitrati davnog onečišćenja organskom tvari. U dubokim zaštićenim podzemnim vodama nitrati i nitriti mogu biti posljedica geološko-kemijske aktivnosti. Fosfor se nalazi u obliku ortofosfata, polifosfata i organski vezanog fosfora. Prirodne vode obogaćuju se fosfatima razgradnjom organske tvari, ispiranjem zemljišta, naročito poljoprivrednih gdje se primjenjuju umjetna gnojiva. Zbog upotrebe deterdženata u kućanstvima i industriji, otpadne vode predstavljaju značajan izvor fosfata. Fosfati se u vodnim sustavima razgrađuju, ali vrlo sporo. Za postupak fotosinteze alge i biljke koriste ortofosfate (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4). Fosfati nisu otrovni te ne predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje. Fosfatima se povećava proizvodnja organske tvari što u posebnim uvjetima može dovesti do eutrofnog pa i distrofnog stanja ekosustava. Koncentracija dušikovih i fosfornih spojeva izražavaju se u mg/L N odnosno mg/L P.

Metali

U prirodnim vodama nalaze se određene količine metala uslijed ispiranja zemljišta i otapanja minerala. Povećanje količine metala u vodi može biti posljedica ispuštanja otpadnih voda industrije, kućanstava te poljoprivrede. Iako su veće koncentracije metala u prirodnim vodama nepoželjne, metali se mogu podijeliti na neotrovne i otrovne. Teški metali čija je gustoća barem pet puta veća od gustoće vode zapravo su otrovni. Neotrovni metali kao natrij, željezo, mangan, bakar i cink u malim količinama nužni su za život organizama. Uz kalcij i magnezij, navedeni metali nalaze se u prirodnim vodama.

Soli željeza i mangana nalaze se u podzemnim vodama te u pridnenim slojevima stratificiranih jezera. Kada nema dovoljno otopljenog kisika, željezo se nalazi u otopljenom obliku željezo(II) iona (Fe^{2+}), a mangan u obliku mangana(II) iona (Mn^{2+}).

U površinskim vodama, uz dovoljne količine otopljenog kisika, željezo oksidira u željezo(III) ion (Fe^{3+}) te prelazi u netopljive spojeve željezo(III) hidroksida, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, odnosno manganovi ioni oksidiraju u mangan(IV) ione te prelaze u netopljive spojeve.

Povećane koncentracije željeza i mangana izazivaju neugodan okus te boju vode. Uporabom vode za pranje rublja s većom količinom željeza pojavljuju se žuto-smeđe mrlje na rublju, a ako je posrijedi mangan, mrlje su tamno-smeđe ili crne.

U prirodnim vodama ima razmjerno malo aluminija, bakra i cinka. Povećane količine bakra i cinka, osim što izazivaju neugodan okus vode, mogu biti i otrovni. Kad u vodi postoje čak i manje količine bakra i cinka, zbog zajedničkog djelovanja (sinergijskog) mogu biti otrovne za mnoge organizme. Štetan učinak metala na žive organizme proizlazi iz mogućnosti nakupljanja metala u tkivu organizama. Ovisno o fizikalno-kemijskim svojstvima vode, metali se u vodi nalaze otopljeni kao slobodni ioni ili kao kompleksni spojevi i to vezani s anorganskim (OH^- , CO_3^{2-} , Cl^-) i organskim ligandima (amini, proteini, humusne tvari). U kojem će se obliku metali pojavljivati u vodi naročito utječu temperatura, pH vrijednost, količina otopljenog kisika, alkalitet, tvrdoća vode, organske tvari te biološka aktivnost. U mnogih su metala (kadmij, bakar, cink) slobodni ioni za organizme mnogo opasniji od drugih oblika. Neki metali znatno su opasniji u spojevima s organskom tvari kao npr. živa, koja je opasnija u obliku metil žive nego kao anorganska živa ili npr. tetraetil olovo koje je opasnije od anorganskog olova.

Otrovni metali koji mogu biti otopljeni u vodi su: arsen, barij, kadmij, krom, olovo, živa, srebro, a posebno su opasni arsen, kadmij, olovo i živa. I drugi teški metali mogu biti opasni za biotu u vodnim sustavima kao što su: nikal, bakar, cink, molibden jer djeluju na žive organizme otrovno, antigeno i kancerogeno. Pojava većih koncentracija otrovnih metala u vodi ukazuje na opasnost onečišćenja prirodnih voda otpadnom tvari, najčešće iz industrije. Metali se najčešće određuju postupcima atomske apsorpcije i spektrofotometrijom te se izražavaju u mg/L određenog elementa [2].

Ostali kemijski pokazatelji

Najčešći ostali kemijski pokazatelji koji se nalaze u prirodnim vodama su fluoridi, kloridi, sulfati, cijanidi te radioaktivne tvari.

Povećane koncentracije fluorida mogu biti prisutne u površinskim vodama te predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje.

Kloridi se nalaze u prirodnim vodama, a za pojedine vodonosnike svojstvena je određena prirodna koncentracija klorida. Veće koncentracije klorida daju vodi slani okus. Kloridi su uzročnici korozije metala. Povećane koncentracije klorida u prirodnih voda ukazuje na mogućnost onečišćenja kemijskim tvarima, a u blizini mora na vjerojatnost miješanja s morskom vodom.

Kloridi i sulfati pokazatelji su slanosti vode. Sulfati se u prirodnim vodama nalaze kao posljedica otapanja mineralnih naslaga, ali i uslijed oksidacije sulfida. Veće koncentracije sulfata u vodi mijenjaju okus vode, a kod povremenih korisnika vode, koji nisu navikli na veće koncentracije sulfata, izaziva proljev. Sulfati u vodi razaraju cement (odnosno betonske objekte), tako da aluminati iz cementa pod utjecajem kalcij-sulfata prelaze u Candoltove soli koje jako povećavaju obujam [2].

Tablica 2. Razorno djelovanje vode prema količini sulfat iona [2]

Ioni sulfata	Slabo razorno	Razorno	Vrlo razorno
mg SO ₄ ²⁻ /kg	200-600	600-2500	>2500

Cijanidi su vrlo opasni otrovi. Povećana koncentracija cijanida u vodi upozorava na onečišćenost otpadnom tvari. Zbog vrlo brzog otrovnog djelovanja, za vode koje sadrže cijanide obično su propisane male dopuštene koncentracije u prirodnim vodama.

Radioaktivne tvari u vodi uslijed kemijskih i biokemijskih procesa koncentriraju se od nižih prema višim organizmima prehrambenog lanca te mogu predstavljati opasnost za ljudsko zdravlje. Mogu biti prirodnog ili umjetnog porijekla. Živi organizmi pod uobičajenim su uvjetima prilagođeni na zračenje prirodnih izvora (radioaktivni elementi Zemljine kore i kozmička zračenja).

Radioaktivni otpaci koji u vode dolaze kao posljedica čovjekovih djelatnosti mogu znatno povećati koncentracije radionuklida u vodi. Povećana aktivnost radionuklida na živim organizmima može izazvati mutagene promjene, sterilnost, kancerogena oboljenja te smrt. Povećana radioaktivnost u vodi ukazuje na mogućnost ispuštanja otpadnih tvari nuklearnih elektrana te industrijskih pogona koji se koriste radioaktivnim tvarima.

2.1.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode

Biološko stanje voda temelji se na međusobnim utjecajima životnih zajednica i staništa odnosno promjenama koje nastaju kao posljedica izmijenjenih abiotičkih čimbenika. Često se ispituju životne zajednice na dnu vodnog sustava (bentos), koje su manje pokretne pa su više izložene promijenjenim uvjetima staništa. Određene vrste organizama vezane su za sastav i koncentraciju tvari u vodi odnosno veličinu otpadnih tvari u vodnom sustavu. Primjenom indikatorskog organizma pretpostavlja se o stanju pojedinih staništa i ocjenjuje se stanje promatranog vodnog sustava.

Kao biološki pokazatelji kakvoće vode primjenjuju se:

- stupanj saprobnosti
- stupanj biološke proizvodnje
- stupanj otrovnosti
- indeks razlike
- mikrobiološki pokazatelji [2].

Stupani saprobnosti

Biološki razgradive organske tvari u vodi razgrađuju organizmi saprofagi, najčešće bakterije i plijesni. Razlažu složene organske spojeve, koriste ih za hranu, a ispuštaju anorganske tvari. Pri razgradnji organske tvari troši se otopljeni kisik u vodi čime se mijenjaju procesi od aerobnog do anaerobnog što dovodi do promjena kemijskog sastava vode. Promijenjeni uvjeti staništa utječu na životne zajednice tako da pojedine vrste organizama odumiru ili se razvijaju ovisno o stanju kakvoće vode.

Liebman je 1942.g. predložio kao pokazatelje saprobnosti bentonske organizme. Tako su nastali stupnjevi saprobnosti:

- oligosaprobni
- beta-mezasaprobni
- alfa-mezasaprobni
- polisaprobni [2].

Oligosaprobna zona ili prvi stupanj vrijednosti vode je ona u kojoj ima dovoljno otopljenog kisika. Voda ima veliku prozirnost. Ukupni broj bakterija je manji od 10^2 u 1

cm³. Oligosaprobni organizmi koji žive u toj zoni osjetljivi su na promjene pH, količinu otopljenog kisika te na sadržaj organskih tvari. Takve su vode po kakvoći I. vrste, a svojstvene su za planinske potoke i jezera.

Beta-mezosaprobna zona ili drugi stupanj vrijednosti vode obilježava malo onečišćene vode u kojima vladaju aerobne prilike. Prozirnost vode je još izražena te je ukupni broj bakterija manji od 10⁵ u 1 cm³. Beta mezosaprobi su osjetljivi na promjene pH i kisika, a isto tako ne podnose kroz dulje vrijeme proizvode truljenja u vodi. Prema kakvoći, vode pripadaju II. vrsti pa se tu mogu svrstati veća jezera te donji tokovi većih rijeka.

U alfa-mezosaprobne zone ili vode III. stupnja vrijednosti mogu se svrstati vode više onečišćene organskom tvari. Zbog jake razgradnje organske tvari te istodobnih postupaka fotosinteze, postoje značajne razlike otopljenog kisika. U dnevnim satima, stupanj zasićenosti kisikom prelazi 130 %, a u noćnim satima se jako smanjuje i pada do 80 %. Ukupan broj bakterija je veći od 10⁵ u 1 cm³. Uslijed velike količine hrane nalazi se i velik broj organizama. Osim bakterija, brojne su i modrozeleni i zelene alge te protozoe. Alfa-mezosaprobi prilagođeni su promjenama vrijednosti pH i kisika, nisu osjetljivi na količinu amonijaka, ali su osjetljivi na vodikov sulfid. Vode pripadaju III. vrsti kakvoće kao npr. riječni rukavci sa slabijom izmjenom vode, onečišćeni vodotoci, bare, melioracijski kanali.

Polisaprobna zona ili vode IV. stupnja vrijednosti jako su onečišćene vode. Zbog izražene razgradnje organske tvari, prevladavaju anaerobni uvjeti. Otopljenog kisika u vodi nema. Kao proizvod truljenja pojavljuje se vodikov sulfid koji se osjeća po mirisu. Voda je mutna i obojana. Plitke vode stajačice često su crvene boje od sumpornih bakterija. Polisaprobi koji žive u tim vodama prilagođeni su promjenama pH vrijednosti, maloj koncentraciji otopljenog kisika, a otporni su na vodikov sulfid i amonijak. Ukupni broj bakterija veći je od 1,5×10⁵ u 1 cm³. Postoje malobrojne vrste organizama, ali s brojnim jedinkama, najčešće su to bakterije te mali broj modrozelenih algi. Vode pripadaju IV. vrsti kakvoće, a to su jako onečišćeni vodotoci, dijelovi potoka i rijeka nizvodno od izljeva kanala otpadnih voda [2].

Postoje i druge metode za određivanje stupnja saprobnosti. Metoda Pantle Bucka temelji se na ispitivanju svih živih organizama životne zajednice. Organizmi se određuju prema sastavu i prema broju jedinki [2].

Saprobni indeks se određuje prema:

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

gdje je:

s - saprobiološka vrijednost svake vrste (1-4)

h - količinsko postojanje vrste u vodi (1-9), od malobrojnih do vrlo brojnih.

Međuodnos saprobnog indeksa i stupnja saprobnosti prikazan je u tablici 3.

Tablica 3. Međuodnos saprobnog indeksa i stupnja saprobnosti [2]

Stupanj saprobnosti	Saprobni indeks
Ksenosaprobnost	0,0-0,5
Oligosaprobnost	0,5-1,5
Beta mezosaprobnost	1,5-2,5
Alfa saprobnost	2,5-3,5
Polisaprobnost	3,5-4,0

Stupani biološke proizvodnje

Stupanj biološke proizvodnje nekog vodnog sustava ovisi o trofikaciji odnosno raspoloživoj hrani. Na slici 6b. prikazana je eutrofikacija koja se u prirodnim vodnim sustavima zbiva donošenjem hranjivih tvari sa sliva te kruženjem biogenih tvari u sustavu. Prirodni postupci donosa hranjivih tvari mogu biti ubrzani uslijed posljedica izazvanih potresima, šumskim požarima i dr. Značajne količine hranjivih tvari mogu biti unesene u vodni sustav uslijed čovjekovih djelatnosti. Procesi povećanja trofikacije koji na takav način nastaju nazivaju se kulturna eutrofikacija (umjetna eutrofikacija). Za razliku od prirodne eutrofikacije, koja se razvija vrlo sporo, kulturna eutrofikacija može nastati u kratkom razdoblju s vrlo neugodnim posljedicama [2].



Slika 6. Jezero prije a) i poslije b) eutrofikacije [12]

Prema stupnju trofije, vodni sustavi dijele se na:

- oligotrofne i ultraoligotrofne (siromašne hranjivima)
- mezotrofne (srednje bogate hranjivima)
- eutrofne i hipereutrofne (bogate hranjivima).

Kao pokazatelji stupnja biološke proizvodnje odnosno stanja trofije, najčešće se primjenjuju pokazatelji: ukupan fosfor (mg P/m^3), klorofil (mg/m^3), ukupan broj stanica (broj/L), organska proizvodnja ($\text{g C/m}^2 \times \text{god}$), prozirnost (m).

U tablici 4. prikazane su granične vrijednosti pojedinih pokazatelja što olakšava procjenu trofičnog stanja. Granične vrijednosti su propisane od OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) [2].

Tablica 4. Pokazatelj trofikacije voda stajačica [2]

Stupanj trofije	Ukupan fosfor (mg P/m^3)	Klorofil a mg/m^3		Prozirnost (m)	
		srednje	max	srednje	max
Ultraoligotrofan	$\leq 4,0$	$\leq 1,0$	$\leq 2,5$	$\geq 12,0$	$\geq 6,0$
Oligotrofan	$\leq 10,0$	$\leq 2,5$	$\leq 8,0$	$\geq 6,0$	$\geq 3,0$
Mezotrofan	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Eutrofan	35-100	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7
Hipertrofan	≥ 100	≥ 25	≥ 75	$\leq 1,5$	$\leq 0,7$

Stupanj otrovnosti

Otrovna je svaka tvar koja u živom organizmu izaziva bolest, kancerogene i genetičke promjene, fiziološke smetnje, fizičke deformacije i smrt. Razvojem kemijske industrije povećava se broj kemijskih spojeva koji su po svojoj naravi i koncentraciji opasni za živi svijet. Uslijed fizikalnih, kemijskih i biokemijskih postupaka nastaju u vodnim

sustavima novi spojevi koji mogu biti i opasniji od onih koji su ispušteni iz vode. Štetne i opasne tvari mogu se ugrađivati u stanična tkiva nižih organizama. Ulaskom u prehrambene lance postoji opasnost povećanja koncentracije opasnih tvari u organizmima višeg reda uključujući i čovjeka. Neželjene posljedice mogu se opaziti tek nakon višegodišnjeg nakupljanja u okolišu.

Stupanj otrovnosti određuje se biotestom s određenom skupinom organizama u ispitivanoj vodi. Biotestovima utvrđuje se:

- koncentracija određene tvari kad ugiba 50 % ispitivanih organizama u određenom vremenu (srednja smrtonosna koncentracij-LC₅₀)
- najveća koncentracija kad se ne opaža učinak na ispitivane organizme tijekom 96 h (srednja granica podnošljivosti-TL_m).

Budući da se pojedine vrste organizama zbog svojih fizioloških svojstava različito ponašaju prema odgovarajućim štetnim i opasnim tvarima, posebnu pozornost treba obratiti na odabir organizama kao i na fizikalno-kemijske uvjete pod kojima se biotest obavlja (temperatura, pH, zasićenost kisikom, salinitet i dr.).

Indeks razlike

Indeks razlike je matematički izraz za strukturu životne zajednice. Analizom pojedinih vrsta i njihovih populacija mogu se odrediti pravci promjene strukture životne zajednice kao utjecaj okoliša na ekosustav. U slučaju da se unesu otpadne tvari u ekosustav, poremećuje se prirodna ravnoteža te osjetljivije vrste organizama ugibaju, a razvijaju one koje se prilagođavaju novim uvjetima staništa. U onečišćenom sustavu smanjuje se broj vrsta.

Maksimum indeksa razlike bit će ako svaki organizam pripada drugoj vrsti, a minimum indeksa razlike bio bi u slučaju da su svi organizmi iste vrste. Matematički izraz koji se najčešće primjenjuje za izračunavanje indeksa razlike:

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

gdje je:

N_i - broj organizama i-te vrste,

N - ukupan broj organizama,

s - ukupan broj vrsta [2].

Okvirne veličine u kojima se kreće indeks razlike u ovisnosti o onečišćenju vodnog sustava prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Vrijednosti indeksa razlike u ovisnosti o onečišćenju vodnog sustava [2]

Razina onečišćenja	Indeks razlike H'
veliko onečišćenje	<1,0
umjereno onečišćenje	1,0-3,0
čista voda	>3,0

2.1.4. Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode

Voda je vrlo povoljna okolina za život mikroorganizama. Osim mikroorganizama koji stalno postoje u vodi, poput razlagača te proizvođača nove organske tvari, u vode dopijevaju i mikroorganizmi iz probavnog sustava životinja i ljudi, ispiranjem zemljišta te s otpadnim vodama. Neki su od fekalnih mikroorganizama patogeni, tj. izazivaju bolesti kod ljudi i životinja. Mikroorganizmi fekalnog porijekla, dođu li u okoliš s drugačijim uvjetima za razmnožavanje (temperatura, koncentracija vodikovih iona, osmotski tlak, predatori i dr.), smanjuju svoj broj. Mnogi patogeni mikroorganizmi preživljavaju dovoljno dugo u vodnim sustavima tako da mogu izazvati bolesti.

Bolesti koje se prenose vodom najčešće prouzrokuju patogeni mikroorganizmi kao što su neke vrste bakterija, virusi, plijesni, protozoe. Bolesti izazivaju i mnogi jetreni crijevni paraziti (helminti). Najčešće bolesti koje se prenose vodom prikazane su u tablici 6.

Tablica 6. Bolesti prenosive vodom [2]

Patogeni organizam	Bolest
Bakterije: <i>Salmonella paratyphi</i> (A, B, C) <i>Salmonella typhi</i> <i>Shigellae</i> vrste <i>Vibrio cholerae</i> <i>Leptospirae</i> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	paratifus tifus dizenterija kolera leptospiroza tuberkuloza infekcije rana, infekcije oka, meningitis, nekrotizirajuće pneumonije
Virusi: Poliovirus Echovirus Coxsackievirus (A, B) Hepatitis A Rotavirus Adenovirus	paraliza, meningitis meningitis, dišne bolesti meningitis, dišne bolesti, groznice miokarditis infektivna žutica povraćanje, proljev, dišne bolesti, naročito kod djece, očne infekcije
Protozoe: <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	amebijaza lambliaza
Helmiti: <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Ankylostoma duodenale</i> <i>Echinococcus</i> <i>Schistosoma</i>	askaridoza ankistolomoza ehinokokoza shistosomoza

Kao organizam pokazatelj primjenjuju se koliformni organizmi i to kao ukupni koliformi i fekalni koliformi. Koliformne bakterije čine veliku skupinu gram-negativnih štapića, a sastavni su dio crijevne flore i u crijevima ne izazivaju bolesti, već pridonose normalnijoj probavi. Ukoliko dospiju u tkiva izvan probavnog sustava postaju patogeni. Pod ukupnim koliformnim organizmima podrazumijevaju se fekalne bakterije primjerice *Escherichia coli* koja potječe iz probavnog sustava, ali i druge koliformne bakterije koje se mogu razvijati i na tlu poput *Enterobacter (Aerobacter)*, *Serratia marcescens*, *Providencia* i dr. Osim navedenih pokazatelja, fekalno onečišćenje dokazuju i bakterije enterokoki ili fekalni streptokoki (*Streptococcus faecalis*). Streptokoki su kuglasti mikroorganizmi (gram-pozitivni), od kojih su enterokoki sastavni dio crijevne flore ljudi i životinja. Postaju patogeni ako dospiju u druge dijelove organizama. Broj organizama pokazatelja u vodi označava se kao "najvjerojatniji broj" ili kao broj organizama utvrđen membranskom filtracijom [2].

Crijevni enterokoki

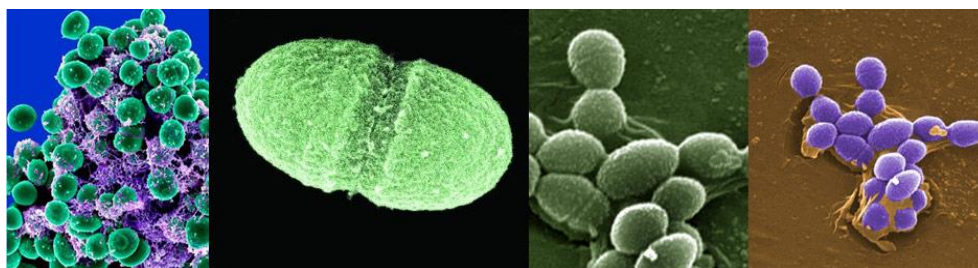
Crijevni enterokoki su grupa crijevnih bakterija indikatora fekalnih onečišćenja vode, tla i živežnih namirnica. To su gram pozitivne bakterije, kuglastog oblika te s raspoređeni u parove i kratke lance. Ovu grupu čine bakterije roda *Enterococcus* sa ukupno 16 vrsta među kojima su s higijenskog stajališta najvažniji: *Enterococcus faecalis* prikazan na slici 7., *E. faecium*, *E. durans* i *E. hirae*, izlučuju se fekalijama ljudi i toplokrvnih životinja.

Prednosti crijevnih enterokoka u odnosu na ukupne ili fekalne koliforme kao indikatore su:

- ne umnožavaju se u vodi
- duže preživljavaju u okolišu
- rezistentniji su na okolišne stresove (temperatura, pH, salinitet, kloriranje)

Ako koliformne bakterije nisu dokazane u uzorku i sam nalaz enterokoka pouzdan je znak fekalnog zagađenja sredine [13].

Enterokoki najčešće uzrokuju upalu mokraćnih putova, ali uzrokuju i teže infekcije poput endokarditisa, sepse, kolecistitisa i apscesa jetre. Enterokoki su važni i kao uzročnici bolničkih infekcija. Za uspješno liječenje potrebno je primijeniti kombinaciju antibiotika [14].



Slika 7. *Enterococcus faecalis* [15]

Escherichia coli

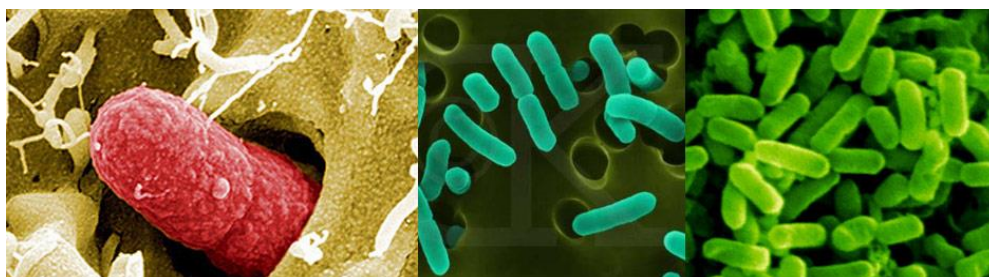
Escherichia coli je gram negativna bakterija koja pripada porodici *Enterobacteriaceae*. Živi u donjem dijelu probavnog trakta sisavaca (i ptica) gdje sudjeluje u probavi hrane, fermentira laktozu, a kao produkt razgradnje nastaje plin koji se ispušta kao flatulus (vjetar). Njezina prisutnost u prirodnim vodama pokazatelj je fekalnog onečišćenja (indikatorski organizam).

Bakterija se često koristi u laboratorijima za razne eksperimente i u biološkom inženjerstvu (npr. za proizvodnju inzulina). Ima svojstvo termotolerancije te se u laboratorijskim uvjetima uzgajaju na temperaturi od 44,5 °C kroz 24 h. U povoljnim uvjetima dijeli se svakih 20 minuta. Postoji puno sojeva (iz različitih životinja), a neki su patogeni (npr. soj: *Escherichia coli* O157:H7). Često se zbog mutacija javljaju i novi sojevi [16].

Uzročnik je brojnih bolesti:

- gastroenteritis;
- trovanje hranom
- proljevi;
- infekcije mokraćnog mjehura, najčešće u žena
- meningitis kod novorođene djece;
- infekcije rana.

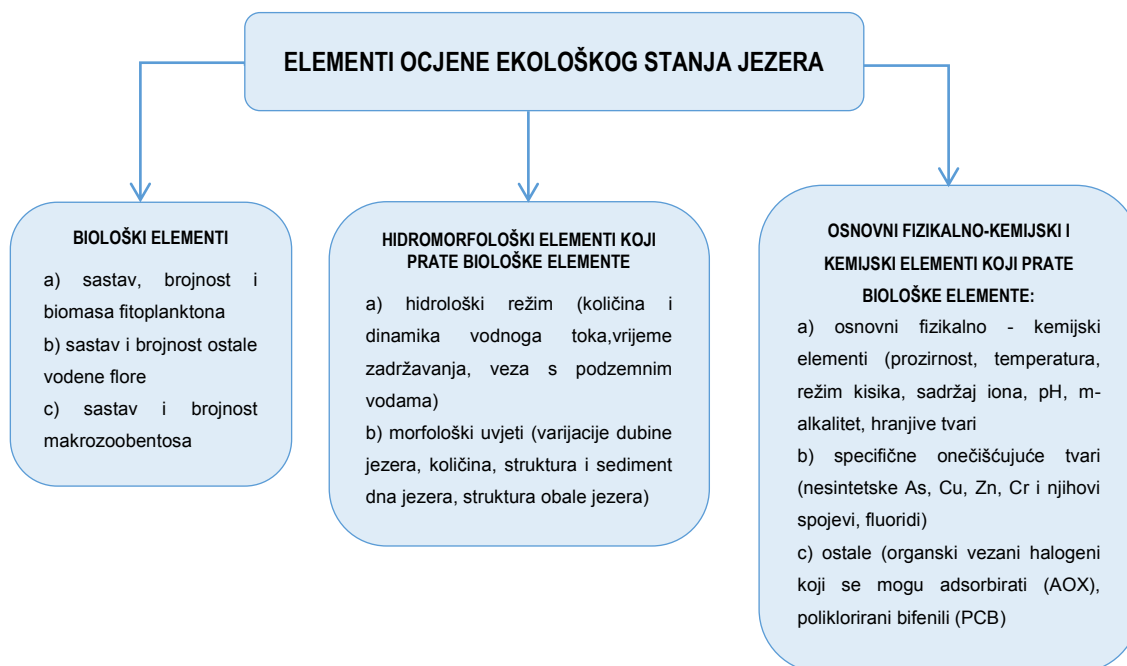
Prenosi se najčešće fekalijama putem zaražene vode i hrane. Bakterije su sposobne preživjeti neko vrijeme izvan domaćina i predstavljaju potencijalni izvor zaraze [17].



Slika 8. *Escherichia coli* [15]

2.2. Ocjene stanja površinskih voda

Stanje površinskih voda određuje se na temelju ekološkog i kemijskog stanja tijela ili skupine tijela površinskih voda. Ekološko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na biološke, hidromorfološke i osnovne fizikalno-kemijske i kemijske elemente koji prate biološke elemente navedene u Uredbi o standardu kakvoće voda [6]. Elementi ocjene ekološkog stanja jezera prikazani su na slici 9.



Slika 9. Elementi ocjene ekološkog stanja jezera [6]

Prema Uredbi o standardu kakvoće voda [6] tijelo površinske vode razvrstava se na temelju rezultata ocjene elemenata kakvoće u 5 kategorija ekološkog stanja:

- vrlo dobro ekološko stanje (vrlo male ili nikakve antropogene promjene vrijednosti fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće određenog tipa površinske vode u odnosu na vrijednosti uobičajene za taj tip voda u nenarušenom stanju. Vrijednosti bioloških elemenata kakvoće određenog tipa površinske vode odražavaju uobičajene vrijednosti za taj tip voda u nenarušenom stanju i pokazuju vrlo mala ili nikakva odstupanja)
- dobro ekološko stanje (vrijednosti bioloških elemenata kakvoće za određeni tip površinskih voda pokazuju nisku razinu promjena uzrokovanih ljudskom djelatnošću, no samo malo odstupaju od vrijednosti uobičajenih za taj tip površinskih voda u nenarušenom stanju)
- umjereno ekološko stanje (vrijednosti bioloških elemenata kakvoće za određeni tip površinskih voda umjereno odstupaju od vrijednosti uobičajenih za taj tip voda u nenarušenom stanju, vrijednosti pokazuju umjerena odstupanja uslijed ljudske djelatnosti, a poremećaji su znatno veći nego u uvjetima dobrog stanja)
- loše ekološko stanje (vode koje pokazuju znakove većih promjena vrijednosti bioloških elemenata kakvoće za određeni tip površinskih voda i u kojima

odgovarajuće biološke zajednice značajno odstupaju od uobičajenih za taj tip voda u nenarušenom stanju)

- vrlo loše ekološko stanje (vode koje pokazuju znakove jakih promjena vrijednosti bioloških elemenata kakvoće za određeni tip površinskih voda i u kojima su veliki dijelovi odgovarajućih bioloških zajednica uobičajenih za taj tip voda odsutni).

Ocjena ekološkog stanja tijela površinske vode određuje se na temelju lošije vrijednosti, uzimajući u obzir vrijednosti rezultata ocjene prema biološkim elementima te osnovnim fizikalno-kemijskim i kemijskim elementima, koji prate biološke elemente. Kada se za određeno tijelo površinske vode ocijeni da je u vrlo dobrom ekološkom stanju, stanje se dodatno provjerava u odnosu na hidromorfološke elemente koji prate biološke elemente.

Kemijsko stanje tijela površinske vode određuje se na temelju rezultata monitoringa pokazatelja kemijskog stanja prema popisu pokazatelja iz tablice 7.

Tablica 7. Standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja površinskih voda – popis prioriternih tvari [6]

NAZIV PROIRITETNE TVARI	UTVRDENA KAO PRIORITETNA TVAR	NAZIV PRIORITETNE TVARI	UTVRDENA KAO PRIORITETNA TVAR
Alaklor		Olovo i njegovi spojevi	
Antracen	x	Živa i njezini spojevi	x
Atrazin		Naftalen	
Benzen		Nikal i njegovi spojevi	
Bromirani difenileter *	x	Nonifenol	x
Pentabromodifenileter *		Oktilfenol	
Kadmij i njegovi spojevi	x	Tetrametilbutil-fenol *	
Kloroalkani	x	Pentaklorobenzen	x
Klorofeninfos		Pentaklorofenol	
Klorpirifos		Poliaromatski ugljikovodici*	x
Dikloretan		Benzo(a)piren	x
Diklormetan		Benzo(b)fluoranten	x
Diftakat (DEHP)		Benzo(g,h,i)perilen	x
Diuron		Benzo(k)fluoranten	x
Endosulfan	x	indeno(1,2,3-cd)piren	
Fluoranten		Simazin	
Heksaklorobenzen	x	Tributilkositrovi spojevi *	x
Heksaklorobutadien	x	Triklormetan	
Heksaklorocikloheksan	x	Triklorobenzeni	
Izoproturon		Trifluralin	

* ne primjenjuje se

Prioritetne tvari su tvari ili skupine tvari koje predstavljaju značajan rizik za vode, uključujući i rizik za vode koje se zahvaćaju za piće. Za prioritetne tvari se planiraju mjere s ciljem postupnog ograničenja njihovog ispuštanja, emisija i rasipanja. Među tim tvarima utvrđene su prioritetne opasne tvari, označene oznakom "x" u tablici 7., za koje se planiraju mjere zabrane ili ograničenja ispuštanja, emisija i rasipanja.

Ocjena kemijskog stanja tijela površinske vode određuje se najlošijom od vrijednosti rezultata, uzimajući u obzir rezultate ocjene pokazatelja kemijskog stanja.

Tijelo površinske vode razvrstava se na temelju rezultata ocjene elemenata kakvoće u kategorije kemijskog stanja i to:

- dobro kemijsko stanje,
- nije postignuto dobro kemijsko stanje [6].

2.2.1. Monitoring stanja površinskih voda

Monitoring stanja površinskih voda provode Hrvatske vode prema planu monitoringa sukladno Zakonu o vodama. Zakon o vodama definira provođenje nadzora nad stanjem površinskih, uključivo i priobalnih voda te podzemnih voda sustavnim praćenjem stanja voda (monitoring).

Plan monitoringa obuhvaća:

- uzorkovanje i ispitivanje voda na pokazatelje potrebne za utvrđivanje ekološkog i kemijskog stanja ili ekološkog potencijala površinskih voda
- hidrološka mjerenja u mjeri odgovarajućoj za određivanje ekološkog i kemijskog stanja ili ekološkog potencijala (količina i dinamika protoka za rijeke, količina i dinamika protoka i vrijeme zadržavanja za jezera i količina i dinamika protoka slatke vode za prijelazne vode).

Plan monitoringa temelji se na rezultatima ocjene stanja površinskih voda i analizama značajki vodnoga područja iz Zakona o vodama te se usklađuje s programom mjera Zakona o vodama [18].

Monitoring stanja površinskih voda provodi se kao nadzorni i operativni monitoring, a prema potrebi i kao istraživački monitoring.

Nadzorni monitoring provodi se radi:

- dopune i vrednovanja postupka ocjene utjecaja ljudskih aktivnosti na stanje voda
- planiranja budućeg monitoringa
- ocjenjivanja dugoročnih promjena prirodnih uvjeta
- ocjenjivanja dugoročnih promjena uzrokovanih intenzivnim ljudskim aktivnostima.

Nadzorni monitoring obavlja se na dovoljnom broju tijela površinskih voda da bi se omogućila cjelovita ocjena stanja površinskih voda. Nadzorni monitoring provodi se za:

- biološke elemente kakvoće
- hidromorfološke elemente kakvoće
- osnovne fizikalno – kemijske elemente kakvoće
- specifične i onečišćujuće tvari
- pokazatelje kemijskog stanja.

Operativni monitoring provodi se na:

- tijelima površinskih voda za koja je utvrđen rizik od nepostizanja ciljeva zaštite voda i na kojima se prati ocjena promjene stanja tijekom provedbe programa mjera
- tijelima površinskih voda u koje se ispuštaju prioritetne tvari navedene u tablici 7.

Rezultati operativnog monitoringa koriste se za ocjenu stanja voda i analizu značajki vodnoga područja.

Radi ocjenjivanja veličine opterećenja kojima su izložene površinske vode ispituju se pokazatelji koji ukazuju na ta opterećenja:

- pokazatelji indikativni za biološki element ili elemente kakvoće najosjetljivije na opterećenja kojima su vode izložene
- sve ispuštene prioritetne i specifične onečišćujuće tvari u značajnim količinama
- pokazatelji indikativni za hidromorfološke elemente kakvoće koji su najosjetljiviji za utvrđenu promjenu.

U iznimnim slučajevima na vodnom tijelu može se provoditi i treća vrsta monitoringa, odnosno istraživački monitoring koji se provodi:

- kada razlozi prekoračenja graničnih vrijednosti pokazatelja za ocjenu stanja voda nisu poznati
- kada nadzorni monitoring ukazuje na malu vjerojatnost da određeno tijelo površinske vode postigne ciljeve zaštite voda, a operativni monitoring još nije uspostavljen kako bi se utvrdili razlozi nepostizanja ciljeva zaštite voda
- radi utvrđivanja veličine i utjecaja iznenadnog onečišćenja
- radi osiguranja informacija za uspostavljanje programa mjera za postizanje ciljeva zaštite voda i određivanja programa posebnih mjera za otklanjanje posljedica iznenadnih onečišćenja.

Za obavljanje monitoringa stanja površinskih voda uspostavlja se mreža mjernih postaja.

Mreža mjernih postaja uspostavlja se na način da osigurava cjelovit pregled ekološkog i kemijskog stanja površinskih voda vodnoga područja, omogućiti određivanje kemijskog stanja kao i razvrstavanje tijela površinskih voda u pet kategorija ekološkog stanja te umjetnih i znatno izmijenjenih tijela površinskih voda u četiri kategorije ekološkog potencijala [6].

2.2.2. Monitoring kakvoće vode za kupanje

Monitoring kakvoće vode za kupanje propisan je *Uredbom o kakvoći voda za kupanje* [3]. Odredbe Uredbe o kakvoći vode za kupanje odnose se na monitoring kakvoće vode za kupanje na površinskim vodama na kojima se očekuje velik broj kupača, a za koje nije izdana trajna zabrana kupanja ni trajna preporuka da se kupanje izbjegava.

Mjere upravljanja vode za kupanje provodi jedinica lokalne samouprave, a koordinira ministarstvo nadležno za vodno gospodarstvo.

Jedinica lokalne samouprave prije početka svake sezone kupanja donosi odluku kojom se:

- utvrđuju lokacije za kupanje (kupališta) na kojima se provodi praćenje kakvoće voda
- utvrđuje trajanje sezone za kupanje na površinskim vodama za kupanje
- prikazuje ocjena o kakvoći površinskih voda za kupanje za prethodnu godinu te obavlja razvrstavanje za prethodno razdoblje od 4 godine
- izrađuje kartografski prikaz plaža te
- određuje profil vode za kupanje.

Trajanje sezone kupanja obuhvaća razdoblje od 1. lipnja do 15. rujna tekuće godine. Jedinica lokalne samouprave, ovisno o vremenskim i lokalnim prilikama, može donijeti odluku da sezona kupanja traje duže ili kraće te također osigurava provođenje monitoringa kakvoće voda za kupanje. Poslove monitoringa kakvoće voda za kupanje obavljaju laboratoriji koji su ovlaštene za poslove uzimanja uzoraka i ispitivanja voda. Prije početka sezone kupanja, ovlaštene laboratorij izrađuje i dostavlja Hrvatskim vodama kalendar monitoringa kakvoće voda za kupanje uz suglasnost jedinice lokalne samouprave. Ovlaštene laboratorij dostavlja jedinici lokalne samouprave i Hrvatskim vodama rezultate analiza u roku od sedam dana od provedbe završetka analize. Uzorkovanje i analiza za potrebe monitoringa kakvoće voda za kupanje započinje najkasnije u roku od četiri dana od dana utvrđenog u kalendaru monitoringa. U izvanrednim situacijama mora se obustaviti kalendar monitoringa. Nakon prestanka izvanredne situacije, kalendar monitoringa se počinje ponovno provoditi čim je moguće te se uzimaju uzorci koji trebaju zamijeniti one koji nedostaju zbog izvanredne situacije. Ovlaštene laboratorij mora izvijestiti jedinicu lokalne samouprave i Hrvatske vode o obustavi kalendara monitoringa i navesti razloge obustave. U slučaju onečišćenja ovlaštene laboratorij odmah obavještava državnog vodopravnog inspektora radi utvrđivanja izvora onečišćenja i poduzimanja mjera te jedinicu lokalne samouprave koja je dužna putem sredstava javnog priopćavanja obavijestiti javnost o pojavi i očekivanom trajanju onečišćenja.

Monitoring voda za kupanje provodi se na način da se jedan uzorak uzima nedugo prije početka svake sezone kupanja, a najkasnije u roku od 10 dana prije početka sezone

kupanja. U svakoj sezoni kupanja uzima se i analizira najmanje pet uzoraka. Ako je sezona kupanja kraća od osam tjedana ili se nalazi na području podložnom posebnim geografskim ograničenjima uzima se i analizira samo tri uzorka po sezoni kupanja. Datume uzorkovanja treba raspodijeliti ravnomjerno tijekom cijele sezone kupanja s razmacima ne duljim od 30 dana. U slučaju kratkotrajnog onečišćenja, 72 sata nakon uzorkovanja tijekom kratkotrajnog onečišćenja, ovlaštenu laboratorij obavlja dodatno uzorkovanje kako bi se potvrdio prestanak kratkotrajnog onečišćenja. Uzorci voda za kupanje ne uzimaju se za vrijeme kiše, jakog vjetera ili pojave cvjetanja cijanobakterija. Tada se obustavlja kalendar monitoringa kakvoće voda za kupanje i nastavlja se odmah po prestanku navedenih pojava.

Pri svakom uzorkovanju voda za kupanje prate se meteorološki uvjeti i vidljivo onečišćenje te se dobiveni podaci unose u Obrazac uzorkovanja voda za kupanje (UVK) [3] prikazan na slici 10.

Uzorak	Datum	Sat	KPU O/U/J	Vrijeme S/O	Temperatura zraka (°C)	Temperatura vode (°C)	Vidljivo onečišćenje	CE u 100 mL	E.coli u 100 mL

Kiša:
- dan prije uzorkovanja (KPU)
- odsutna (O), umjerena (U), jaka (J);
Vrijeme:
- sunčano (S), oblačno (O);
Vidljivo onečišćenje:
- vrsta i razmjjer
Mikrobiološki pokazatelji:
- crijevni enterokoki (CE)
- Escherichia coli (E.coli)

Slika 10. Obrazac uzorkovanja voda za kupanje

Mikrobiološki pokazatelji koji se prate u vodama za kupanje su crijevni enterokoki i Escherichia coli čije su granične vrijednosti navedene u tablici 8. Nakon svakog ispitivanja kakvoća vode se ocjenjuje kao izvrsna ili dobra, dok se na kraju sezone kupanja i za prethodne tri sezone kupanja voda klasificira kao "izvrsna", "dobra", "zadovoljavajuća" ili "nezadovoljavajuća".

Tablica 8. Standardi za ocjenu kakvoće vode [3]

Pokazatelj	Izvrсна	Dobra	Zadovoljavajuća	Nezadovoljavajuća
crijevni enterokoki (bik/100 mL)	≤ 200	≤ 400	≤ 330	> 330
<i>Escherichia coli</i>	≤ 500	≤ 1000	≤ 900	> 900

* bik – broj izraslih kolonija

Ocjena kakvoće voda za kupanje obavlja se:

- za svaku vodu za kupanje
- za svaki uzorak uzet za svaku vodu za kupanje tijekom sezone kupanja
- po završetku svake sezone kupanja
- na temelju skupina podataka o kakvoći voda za kupanje prikupljenih za tu sezonu kupanja i za tri prethodne sezone kupanja.

Na temelju rezultata ocjenjivanja kakvoće voda za kupanje, vode se klasificiraju kao:

- "nezadovoljavajuće"
- "zadovoljavajuće"
- "dobre"
- "izvršne".

Prva klasifikacija se mora završiti do kraja sezone kupanja tekuće godine. Do kraja sezone kupanja tekuće godine sve vode za kupanje moraju biti barem "zadovoljavajuće". Jedinica lokalne samouprave poduzima realne i primjerene mjere koje smatra odgovarajućima kako bi se povećao broj voda za kupanje klasificiranih kao "izvršne" ili "dobre". Vode za kupanje mogu se privremeno klasificirati kao "nezadovoljavajuće", a ipak ostati u skladu s Uredbom o kakvoći voda za kupanje ako se poduzmu određene mjere.

Ako se voda za kupanje klasificira kao "nezadovoljavajuća" poduzimaju se sljedeće mjere koje će vrijediti od sezone kupanja koja slijedi nakon klasifikacije:

- primjerene mjere upravljanja, uključujući zabranu kupanja ili preporuku da se izbjegava kupanje s ciljem sprječavanja izlaganja kupaca onečišćenju
- utvrđivanje uzroka i razloga za nepostizanje statusa zadovoljavajuće kakvoće,
- primjerene mjere sprječavanja, smanjenja ili uklanjanja uzroka onečišćenja i

- upozoravanje javnosti jasnim i jednostavnim znakom upozorenja i obavješćivanje o uzrocima onečišćenja i poduzetim mjerama.

Ako je voda za kupanje klasificirana kao "nezadovoljavajuća" tijekom pet uzastopnih godina, državni vodopravni inspektor uvodi trajnu zabranu kupanja ili trajnu preporuku da se izbjegava kupanje. Međutim, trajna zabrana kupanja ili trajna preporuka da se izbjegava kupanje može se uvesti i prije isteka petogodišnjeg razdoblja ako postizanje zadovoljavajuće kakvoće nije moguće ili je preskupo.

Profili voda za kupanje se uspostavljaju, revidiraju i ažuriraju samo za površinske vode za koje je monitoringom utvrđeno dobro ekološko i kemijsko stanje. Podaci o profilu vode za kupanje unose se u Obrazac profila vode za kupanje (PVK) prikazan na slici 11.

Naziv plaže:.....
Lokacija:.....
Točke uzorkovanja:.....0
Geografske koordinate točke uzorkovanja (° ' ") λ (° ' ") odnosno xy
Prirodna plaža: da ne
Uređena plaža: da ne
Tip plaže: s vegetacijom šljunčana stjenovita pješčana
Prosječna temperatura vode(za vrijeme sezone):.....
Klasificiranje vode na plaži: zadovoljavajuće dobro izvrsno nezadovoljavajuće
Prisutstvo cijanobakterija: ne da (Tip:.....Količina.....)
Potencijalni izvori onečišćenja: otpadne vode drugi izvori
Procjena stupnja rizika onečišćenja: vrlo visok visok umjeren nizak vrlo nizak
Specifikacija tipa nečistoće.....
Vidljivo onečišćenje plaže: da ne
Učestalost i trajanje očekivanog onečišćenja
Postoji li na plaži sustav informiranja o kakvoći plaže? da ne
Postoje li metode upozoravanja u slučaju opasnosti na plaži? da ne
Pravna ili fizička osoba koja upravlja plažom ili jedinica lokalne samouprave:
Kontakt-osoba u slučaju iznenadnog onečišćenja:
Telefon:..... Mobilni tel..... Faks..... e-mail.....
Adresa:.....
Laboratorij u kojem se obavlja analiza:.....
Vidljivo onečišćenje: navesti vrstu i razmjer;
Mikrobiološki parametri: crijevni enterokoki (CE) i Escherichia coli (E.coli)

Slika 11. Obrazac profila vode za kupanje [3]

Profil vode za kupanje treba sadržavati:

- opis fizikalnih, hidroloških, hidromorfoloških i geografskih karakteristika vode za kupanje
- utvrđivanje i procjenu izvora onečišćenja koji mogu utjecati na vodu za kupanje i zdravlje kupaca
- procjenu mogućnosti cvjetanja cijanobakterija.

Ako postoji opasnost od kratkotrajnog onečišćenja, dodatno treba sadržavati sljedeće informacije:

- očekivanu narav, učestalost i trajanje očekivanog onečišćenja
- detalje o ostalim uzrocima onečišćenja, uključujući i poduzete mjere upravljanja i vremenski plan za njihovo ukidanje
- mjere upravljanja poduzete tijekom kratkotrajnog onečišćenja i podatke o tijelima odgovornim za poduzimanje takve radnje te njihove kontakt podatke
- lokaciju točke monitoringa
- ocjenu kakvoće vode za kupanje.

U tablici 9. prikazana je učestalost preispitivanja profila voda za kupanje. Ako su vode za kupanje klasificirane kao "dobre", "zadovoljavajuće" ili "nezadovoljavajuće", profili voda za kupanje moraju se redovito preispitivati da bi se procijenilo je li se promijenio neki od aspekata. Ako su vode za kupanje prethodno bile klasificirane kao izvrsne, profile voda za kupanje treba preispitati i ako je potrebno ažurirati ih samo ako se klasificiranje promijeni iz "dobro" u "zadovoljavajuće" ili "nezadovoljavajuće".

Tablica 9. Obnavljanje profila za kupanje [3]

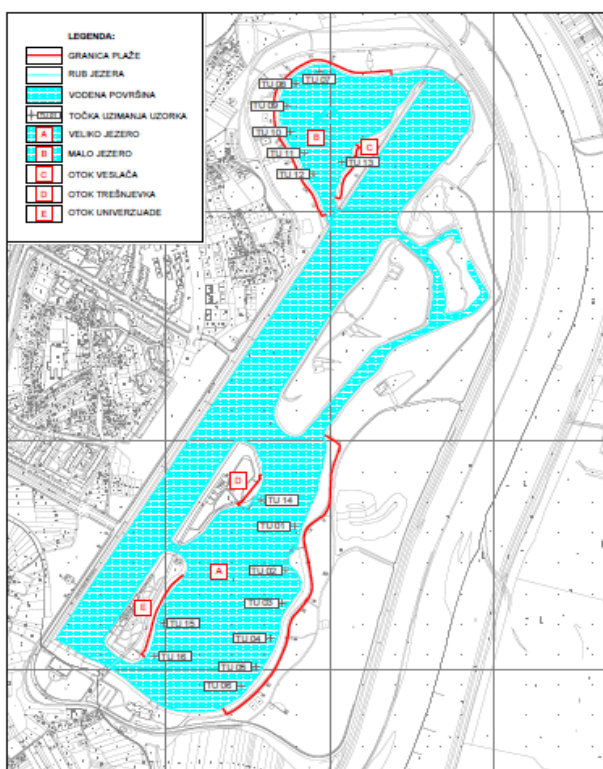
Klasificirane vode za kupanje	Preispitivanje treba obaviti minimalno svake
Izvršno	u slučaju ako se razvrstane vode promijene u dobro, zadovoljavajuće ili nezadovoljavajuće
Dobra	četiri godine
Zadovoljavajuća	tri godine
Nezadovoljavajuća	dvije godine

Ako se u vodi ili u blizini vode za kupanje obavljaju veći građevinski radovi ili veće promjene infrastrukture, profil vode za kupanje treba ažurirati prije početka sezone kupanja. U iznimnim okolnostima jedinica lokalne samouprave osigurava poduzimanje pravodobnih i odgovarajućih mjera upravljanja. Takve mjere moraju uključivati informacije za javnost i prema potrebi privremenu zabranu kupanja.

Kada profil vode za kupanje ukazuje na mogućnost cvjetanja cijanobakterija, provodi se odgovarajući monitoring kako bi se omogućila pravodobna identifikacija zdravstvenih rizika. Kada dođe do cvjetanja cijanobakterija i kada se ustanovi ili pretpostavi zdravstveni rizik, u najkraćem se roku poduzimaju odgovarajuće mjere upravljanja kako

bi se spriječila izloženost rizicima, uključujući informiranje javnosti. Također, vode za kupanje pregledavaju se vizualno da bi se utvrdilo postoji li onečišćenje ostacima katrana, staklom, plastikom, gumom, uljem ili drugim sličnim otpadom. Ako se utvrdi takvo onečišćenje, poduzimaju se mjere upravljanja uključujući informiranje javnosti. Vode za kupanje prikazuju se na kartografskom prikazu prikazanom na slici 12. i na obavijesnoj ploči obojanim kružnim simbolom:

- "izvrsno": plavo
- "dobro": zeleno
- "zadovoljavajuće": žuto
- "nezadovoljavajuće": crveno.



Slika 12. Kartografski prikaz jezera Jarun

Kartografski prikaz plaže sadrži:

- granicu plaže
- ispust i količinu otpadne vode
- uređaj za pročišćavanje otpadnih voda s oznakom vrste uređaja
- točke (geografske širine i dužine) uzimanja uzoraka
- oznake ocjene i klasifikacije kakvoće voda za kupanje.

Državni vodopravni inspektor ovlašten je zabraniti kupanje ili dati preporuku da se izbjegava kupanje te narediti postavljanje službene oznake zabrane kupanja i barijera prikazan na slici 13.



Slika 13. Grafički prikaz službene oznake zabrane kupanja [3]

Uvjete za postavljanje službene oznake te postavljanje barijera osigurava jedinica lokalne samouprave. U slučaju prestanka onečišćenja ili iznimnih okolnosti, koje je uzrokovalo pogoršanje kakvoće voda za kupanje državni vodopravni inspektor izdaje odobrenje za uklanjanje službene oznake i barijera ako su dva uzastopno redovito analizirana uzorka vode za kupanje ocijenjena ocjenom dobro ili izvrsno.

Uklanjanje službene oznake i barijera obavlja jedinica lokalne samouprave. Počinitelju onečišćenja koje utječe na kakvoću vode za kupanje, državni vodopravni inspektor naređuje poduzimanje mjera uklanjanja uzroka onečišćenja. Ako počinitelj onečišćenja nije poznat, državni vodopravni inspektor ovlašten je narediti poduzimanje mjera uklanjanja uzroka onečišćenja jedinici lokalne samouprave. Jedinica lokalne samouprave ima pravo povrata troška uklanjanja uzroka onečišćenja od osobe za koju se naknadno utvrdi da je uzrokovala onečišćenje.

Jedinica lokalne samouprave dužna je osigurati pružanje i pravodobnu dostupnost informacija tijekom sezone kupanja vezanih za kakvoću voda za kupanje na pristupačnom mjestu u neposrednoj blizini svake vode za kupanje, i to:

- trenutnu klasifikaciju voda za kupanje i svaku zabranu kupanja ili preporuku nekupanja uz pomoć jasnog i jednostavnog znaka ili simbola,
- općenit opis voda za kupanje, koji nije pisan jezikom struke, temeljen na profilima voda za kupanje
- u slučaju izloženosti vode za kupanje kratkotrajnom onečišćenju obavijestiti javnost, navesti broj dana tijekom kojih je kupanje bilo zabranjeno ili se nije

preporučivalo tijekom prethodnih sezona kupanja zbog takvog onečišćenja te upozoriti kad se takvo onečišćenje predviđa ili je prisutno,

- informacije o prirodi i očekivanom trajanju izvanrednih situacija i iznimnih okolnosti tijekom takvih događaja,
- kad god je kupanje zabranjeno ili se ne preporuča, obavijest za javnost u kojoj se navode razlozi,
- kad god je uvedena trajna zabrana kupanja ili trajna preporuka nekupanja, obavijest da dotično područje više nije voda za kupanje i razlozi za takvu klasifikaciju.

Primjerena sredstva priopćavanja i tehnologije, uključujući internet, koriste se za aktivno i žurno pružanje informacija o:

- popisu voda za kupanje
- klasifikaciji svake vode za kupanje u posljednje 3 godine i njezin profil, uključujući rezultate monitoringa
- podacima o uzrocima onečišćenja i mjerama poduzetim s ciljem sprječavanja izlaganja kupaca onečišćenju u slučaju kada je voda za kupanje klasificirana kao nezadovoljavajuća
- izloženosti vode za kupanje kratkotrajnom onečišćenju te opće informacije o uvjetima koji su vjerojatno doveli do kratkotrajnog onečišćenja, vjerojatnosti za takvo onečišćenje i njegovo pretpostavljeno trajanje, uzrocima onečišćenja i mjerama poduzetima za sprečavanje izlaganja kupaca onečišćenju i uklanjanje njegovih uzroka.

Navedeni popis mora biti dostupan javnosti svake godine prije početka sezone kupanja. Po završetku analize rezultati monitoringa moraju biti objavljeni na internetskim stranicama jedinice lokalne samouprave, Hrvatskih voda, ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo i Agencije za zaštitu okoliša.

Lokacije za kupanje na kojima se provodi monitoring, trajanje sezone kupanja, ocjene o kakvoći površinskih voda, kartografski prikaz te profile vode za kupanje jedinica lokalne samouprave dostavlja Hrvatskim vodama prije početka svake sezone kupanja, a najkasnije do 30. travnja tekuće godine. Hrvatske vode su dužne dostaviti Agenciji za

zaštitu okolišu popis svih utvrđenih voda za kupanje u Republici Hrvatskoj. Također, dužne su dostaviti razloge eventualnih promjena na utvrđenim lokacijama u odnosu na prethodnu sezonu kupanja najkasnije do 20. svibnja tekuće godine uz prethodnu suglasnost ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo. Agencija za zaštitu okoliša dostavlja popis Europskoj komisiji najkasnije do početka sezone kupanja.

Jedinica lokalne samouprave putem ovlaštenih laboratorija dostavlja Hrvatskim vodama rezultate monitoringa i ocjenu kakvoće voda za kupanje za svaku vodu za kupanje za tu sezonu kupanja, kao i opis poduzetih značajnih mjera upravljanja, najkasnije do 15. studenoga tekuće godine.

Hrvatske vode su dužne izraditi izvješće za sve utvrđene vode za kupanje u Republici Hrvatskoj za tu sezonu kupanja te ga dostaviti Agenciji za zaštitu okoliša najkasnije do 15. prosinca tekuće godine uz prethodnu suglasnost ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo. Agencija za zaštitu okoliša dostavlja izvješće Europskoj komisiji najkasnije do 31. prosinca tekuće godine. Izvješće se objavljuje na internetskim stranicama ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo, Agencije za zaštitu okoliša i Hrvatskih voda [3].

3. OPIS PROMATRANIH LOKACIJA

3.1. Jezero Bundek

Sportsko rekreacijski centar Bundek smješten je na području Novog Zagreba uz rijeku Savu. Područje jezera te livade i šume oko jezera protežu se od Mosta slobode do Mosta mladosti.

Park Bundek omogućuje građanima Grada Zagreba boravak u prirodi te različite vrste rekreacije i odmora uz šetnju, roštiljanje, sunčanje i ribolov.

Površina parka iznosi 545 000 m² od čega 470 000 m² otpada na zelene površine (travnjake), 50 000 m² na vodene površine (jezera) te 10 000 m² na pješačke staze. Sportsko rekreacijski centar Bundek čine Veliko i Malo jezero prikazani na slici 14. Na Velikom jezeru uređena je obala veličine 10 000 m² na kojoj tijekom ljetne sezone za sigurnost kupaca brine spasilačka služba i liječnička služba. Malo jezero ostavljeno je kao prirodno stanište mnogobrojnih biljnih i životinjskih vrsta.



Slika 14. Jezero Bundek [19]

Područje oko jezera uređeno je kao zabavno-rekreativni park s postavljenih 10 kompleta za roštilj (betonski roštilji s vrtnim klupama i stolovima) koji su na raspolaganju građanima. Oko jezera uređena je biciklističko-rolerska staza dužine 1650 m, pješačka staza te tri dječja igrališta od kojih je jedno namijenjeno za djecu do 12 g., drugo za djecu od 12 g., a treće za djecu s posebnim potrebama. Na istočnom dijelu parka Bundek nalaze se dva terena za odbojku i rukomet na pijesku. Na zapadnom dijelu parka postavljena je pozornica na vodi sa gledalištem za cca 2500 gledatelja na kojoj se održavaju različita kulturna događanja.

Tijekom ljetne sezone na području Bundeka provodi se niz kulturnih, zabavnih, sportskih i rekreacijskih događanja. Postojeća infrastruktura s pratećim sanitarnim čvorovima redovito se održava. Velika pažnja posvećuje se uređenju i održavanju ekosustava o kojem vode brigu stručni radnici Podružnice Zrinjevac. Na prostoru parka postoje 2 ugostiteljska objekta koja se izgledom uklapaju u prirodni ambijent parka. Tijekom cijele godine za sigurnost posjetitelja brine se zaštitarska služba.

U suradnji s Gradskim uredom za zdravstvo i branitelje te Zavodom za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar i Podružnicom Upravljanje sportskim objektima postavljena je Staza zdravlja. Staza je postavljena kružno uz glavno jezero i duljine je 700 metara. Dostupna je cjelokupnom građanstvu tijekom cijele godine, a namijenjena je za hodanje, nordijsko hodanje i trčanje [19].

3.2. Jezero Jarun

Jezero Jarun nalazi se na jugozapadnom dijelu četvrti Trešnjevka između Horvaćanske ulice i obale rijeke Save. Sastoji se od veslačke staze duljine 2 km, dva povezana jezera za kupanje i rekreaciju, Malo i Veliko jezero prikazani na slici 15., te šest otoka (Otok Univerzijade, Otoka Trešnjevka, Otok Hrvatske mladeži, Otok divljine, Otok veslača i Otok ljubavi). Oko jezera je asfaltirana cesta pa je stoga jezero Jarun, kako u vrućim ljetnim danima, tako i u hladnim zimskim, omiljeno okupljalište svih Zagrepčana željnih raznih oblika rekreacije. Osim rekreativnih aktivnosti, na jezeru Jarun redovito se održavaju veslačke i jedriličarske regate, natjecanja u kajaku i kanuu na mirnim vodama, plivački maratoni, atletičarske i biciklističke utrke. Na obali jezera sagrađeno je i nekoliko ugostiteljskih objekata, koji su dio ponude zagrebačkog noćnog života. Pet plaža na jezeru dobilo je oznaku "Plava zastava" koja jamči čistoću i opremljenost plaža [20].



Slika 15. Malo (a) [20] i Veliko (b) jezero Jarun [21]

3.3. Provedba monitoringa površinskih voda jezera Jarun i Budek

Provedba monitoringa kakvoće vode za kupanje jezera Budek i Jarun definirana je prema smjernicama iz Uredbe o kakvoći vode za kupanje [5]. Uredba o kakvoći vode za kupanje odnosi se na površinske vode čija je obala proglašena plažom koju proglašava jedinica lokalne samouprave. Jezera Budek i Jarun proglašeni su područjem za kupanje.

Monitoring na području jezera Budek i Jarun podrazumijeva određivanje:

- lokacija mjernih točaka
 - a) na jezeru Budek - istočna (B1), zapadna (B2) i južna (B3) obala
 - b) jezero Jarun - Veliko jezero (TU1-TU6), Malo jezero (TU7-TU12), Otok Veslača (TU13), Otoka Trešnjevka (TU1-TU14) i otoka Univerzijade (TU15 i TU16)
- trajanje sezone kupanja - od 1. lipnja do 15. rujna
- učestalost analiza - od travnja do rujna
- ispitivanje mikrobioloških pokazatelja - obavlja laboratorij Zavoda za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar - Služba za zaštitu okoliša i zdravstvenu ekologiju, Odjel za zdravstvenu ispravnost i kvalitetu voda
- upravljanje podacima - ovlašteni laboratorij Zavoda za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar dostavlja jedinici lokalne samouprave i Hrvatskim vodama rezultate analize u roku od sedam dana od završetka analize.

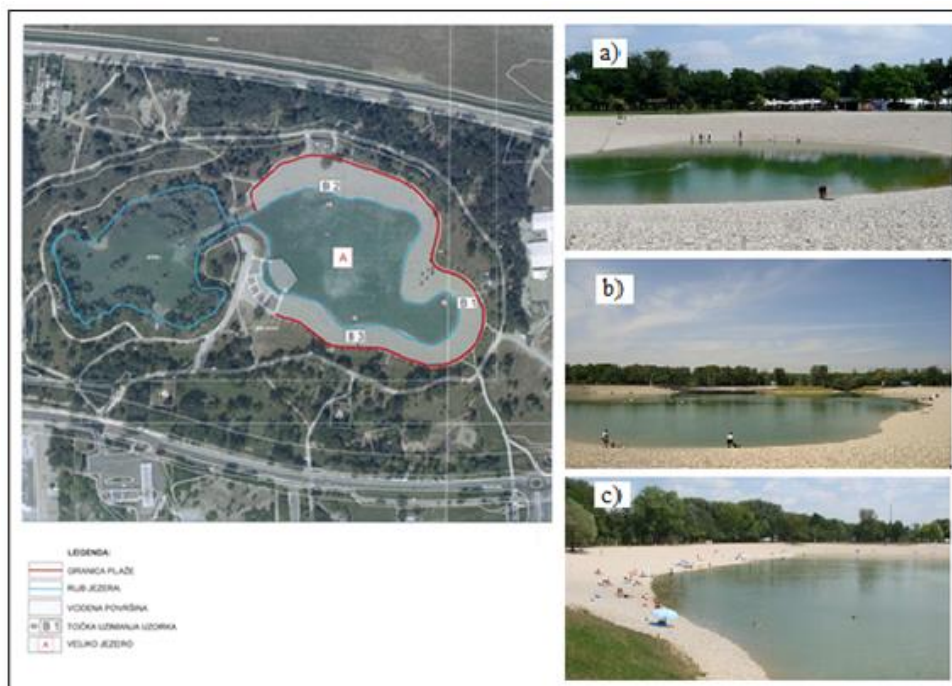
Za ocjenjivanje kakvoće vode za kupanje koriste se mikrobiološki pokazatelji crijevni enterokoki i *Escherichia coli*. Rezultati se prikazuju kao broj izraslih kolonija u 100 mL uzorka (bik/100 mL).

3.4. Mjerne točke

Točke uzimanja uzoraka voda za kupanje određuju se:

- na pješčanoj ili šljunkovitoj plaži po jedna na svakih 100 m dužine, na mjestima gdje se očekuje najveći broj kupaca ili gdje se, prema profilu vode za kupanje, očekuje najveći rizik od onečišćenja,
- na ostalim plažama po jedna točka na svakih 200 m dužine, na mjestima gdje se očekuje najveći broj kupaca ili gdje se, prema profilu vode za kupanje, očekuje najveći rizik od onečišćenja. [5]

Na području Velikog jezera Bundek, uzorkovanje, a samim time i praćenje kakvoće vode za kupanje, obavljeno je na tri lokacije prikazane na slici 16. i navedene u tablici 10.

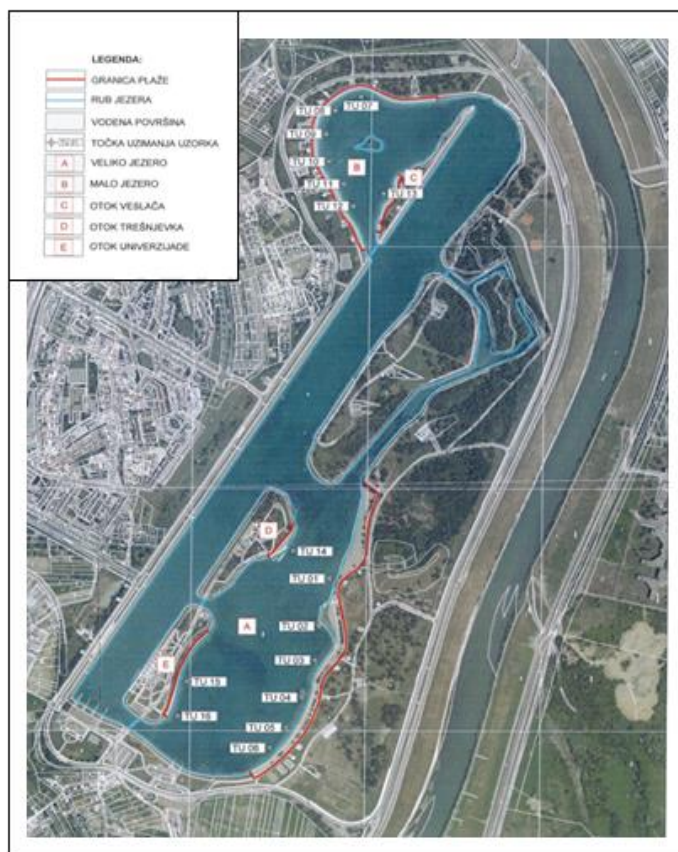


Slika 16. Kartografski prikaz plaže jezera Bundek i mjerne točke B1(a), B2(b), B3(c)

Tablica 10. Lokacije uzorkovanja kakvoće vode za kupanje na području jezera Bundek

PLAŽA	TOČKA UZORKOVANJA
Veliko jezero – istočna obala	B1
Veliko jezero –zapadna obala	B2
Veliko jezero –južna obala	B3

Na području Jaruna uzorkovanje je provedeno na 16 lokacija koje su prikazane na slici 17. i navedene u tablici 11. Uzeti su uzorci na području Velikog jezera (TU1-TU6), Malog jezera (TU7-TU12), Otoka Veslača (TU13), Otoka Trešnjevke (TU1-TU14) i otoka Univerzijade (TU15 i TU16).

**Slika 17.** Mjerne točke jezera Jarun

Tablica 11. Lokacije uzorkovanja kakvoće vode za kupanje na području jezera Jarun

PLAŽA	TOČKA UZORKOVANJA
Veliko jezero	TU01
	TU02
	TU03
	TU04
	TU05
	TU06
Malo jezero	TU07
	TU08
	TU09
	TU10
	TU11
	TU12
Otok Veslača	TU13
Otok Trešnjevka	TU14
Otok Univerzijade	TU15
	TU16

3.5. Kalendar uzorkovanja

Sezona kupanja je kalendarsko razdoblje u kojem se očekuje velik broj kupača, a uobičajeno traje od 1. lipnja do 15. rujna tekuće godine. Prije početka sezone kupanja, ovlaštenu laboratorij izrađuje i dostavlja Hrvatskim vodama kalendar monitoringa kakvoće voda za kupanje uz suglasnost jedinice lokalne samouprave. Uzorkovanje i analiza za potrebe monitoringa kakvoće voda za kupanje započinje najkasnije u roku od četiri dana od dana utvrđenog u kalendaru monitoringa.

Jedan uzorak treba uzeti nedugo prije početka svake sezone kupanja, a najkasnije u roku od 10 dana prije početka sezone kupanja. U svakoj sezoni kupanja treba uzeti i analizirati najmanje pet uzoraka. Datume uzorkovanja treba raspodijeliti ravnomjerno tijekom cijele sezone kupanja, s razmacima ne duljim od 30 dana [5].

Na jezeru Bundek uzeti su uzorci na mjernim točkama B1, B2 i B3. Na području Jaruna uzeti su uzorci sa Velikog jezera (TU1-TU6), Malog jezera (TU7-TU12), Otoka Veslača (TU13), Otoka Trešnjevke (TU14) i otoka Univerzijade (TU15 i TU16) U

tablici 12. prikazan je vremenski period uzimanja uzoraka u svrhu određivanja mikrobioloških pokazatelja odnosno određivanja kakvoće vode.

Tablica 12. Kalendar uzorkovanja na jezeru Bundeck i Jarunu

TOČKE UZORKOVANJA	DATUM		
B1-B3 TU01-T16	02.04.2014	14.04.2015.	12.4.2016.
	21.05.2014	09.06.2015.	09.06.3016.
	10.06.2014	23.06.2015.	24.06.2016.
	30.06.2014	07.07.2015.	07.07.2016.
	07.07.2014	21.07. 2015.	19.07.2016.
	21.07.2014	03.08. 2015.	09.08.2016.
	11.08.2014	24.08. 2015.	23.08.2016.
	26.08.2014	07.09. 2015.	09.09.2016.
	08.09.2014.		

3.6. Oprema za uzorkovanje

Za uzorkovanje vode kod analize mikrobioloških pokazatelja koriste se sterilne prozirne boce (volumena najmanje 250 mL), sterilne rukavice, pribor za dezinfekciju, ručni uzorkivač, pH metar, konduktometar, termometar i prijenosni hladnjak (u slučaju da uzorci ne mogu biti odmah dostavljeni u laboratorij). Boce za uzorke moraju biti od prozirnog i neobojenog materijala (staklo, polietilen ili polipropilen) [3].



Slika 18. Sterilne bočice za uzorkovanje [22]

Bočice za uzorke kojima se određuju mikrobiološki pokazatelji moraju se sterilizirati. Sterilizacija se provodi u autoklavu u trajanju od najmanje 15 minuta na temperaturi od 121 °C ili suhom sterilizacijom na temperaturi između 160 °C i 170 °C u trajanju od najmanje jednog sata. Također, mogu se koristiti bočice za jednokratno uzorkovanje koje je proizvođač podvrgnuo sterilizaciji zračenjem [3].

3.7. Uzorkovanje

Uzorak se uzima 30 cm ispod površine vode i to u vodi dubine od najmanje jedan metar. Uzorkovanje se obavlja ručnim uzorkivačem sa sterilnom prozirnom bocom volumena najmanje 250 mL. U svrhu sprečavanja slučajne kontaminacije, osoba koja obavlja uzorkovanje mora koristiti aseptičnu tehniku kako bi se očuvala sterilnost boca za uzorke. Ako se postupak ispravno provodi, nema potrebe za dodatnom sterilnom opremom (poput sterilnih rukavica ili sterilnog ručnog uzorkivača). Boca s uzorkom mora biti jasno označena neizbrisivom tintom.

Uzorci vode se od mjesta uzorkovanja do obrade u laboratoriju moraju zaštititi od djelovanja svjetla, posebice direktnog sunčevog zračenja te čuvati u hladnjaku pri temperaturi od približno $4\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.

Vrijeme između uzorkovanja i analize mora biti što je moguće kraće. Obično se uzorci analiziraju istog dana kada su uzeti. U iznimnim slučajevima mogu biti analizirani u roku od najduže 24 sata. U međuvremenu moraju biti pohranjeni na tamnom mjestu i na temperaturi od $4\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ [3].

3.8. Određivanje mikrobioloških pokazatelja

Escherichia coli i crijevni enterokoki koriste se kao mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode. Za njihovo određivanje najčešće se koristi membranska filtracija. Tehnika je vrlo jednostavna, ekonomski isplativa te zahtijeva kraće vrijeme inkubacije za rast bakterijskih kolonija [16].

Na slici 19. prikazan je postupak membranske filtracije koji se provodi na način da se uzorak filtrira pomoću lijevka za filtraciju kroz sterilni filter papir veličine pora 0,45

µm. Nakon filtriranja filter papir se prebacuje na čvrstu, selektivnu podlogu te stavlja na inkubaciju nakon čega izrastu bakterijske kolonije.



Slika 19. Postupak membranske filtracije [23]

Prije samog početka korištenja aparature potrebno je dezinficirati radnu površinu. Pomoću pincete uzima se sterilna membrana te se stavlja na porozni disk uređaja za filtriranje. Mrežasti dio membrane mora biti okrenut prema gore. Na membranski filter stavlja se lijevak koji se pričvrsti pipcima. Nakon zatvaranja odvoda vode na staklenoj boci, uzorak se promiješa te se dodaje 100 mL u lijevak. Uključuje se vakuum pumpa te se zatvara gornji pipac na staklenoj boci. Kad se uzorak profiltrira membranski filter se pomoću pincete prenosi na hranjivu podlogu u Petrijevu zdjelicu te se stavlja na inkubaciju [24].

Za određivanje broja kolonija crijevnih enterokoka u uzorku vode koristi se Slanetz-Bartley agar. Hranjiva podloga se inkubira na 37 °C kroz 72 h. Slanetz-Bartley agar visoko je selektivna podloga za uzgoj crijevnih enterokoka čiji je sastav prikazan u tablici 13.

Tablica 13. Sastav Slanetz-Bartley agara [25]

Tripton	20,0 g
Ekstrakt kvasca	5,0 g
Glukoza	2,0 g
K ₂ HPO ₄	4,0 g
Na-azid	0,4 g
2,3,5-trifeniltetrazolium klorid	0,1 g
Agar	10,0 g
Destilirana voda	1000 mL
pH = 7,2 ± 0,2	

Potvrda crijevnih enterokoka provodi se na na Bile aesculin azide agaru čiji je sastav prikazan u tablici 14.

Tablica 14. Sastav Bile aesculin azide agara [26]

Kazein	17,0 g
Pepton	3,0 g
Govedi ekstrakt	5,0 g
Žučne soli	10,0 g
NaCl	5,0 g
Eskulin	1,0 g
Ferij amonij citrat	0,5 g
Na-azid	1000 mL
pH = 7,1 ± 0,2	

Inkubacija se odvija na 44 °C kroz 4h. Test je pozitivan ako se pojave crne mrlje koje se javljaju uslijed hidrolize eskulina. [26]

Za određivanje *Escherichie coli*, nakon filtracije, filter papir prebacuje se u Petrijeve zdjelice na laktoza Tergitol TTC agar čiji je sastav prikazan u tablici 15.

Tablica 15. Sastav Tergitol TTC agara [27]

Pepton	1,0 g
Ekstrakt kvasca	6,0 g
Ekstrakt mesa	5,0 g
Laktoza	2,0 g
Bromothimol plava	0,05 g
Tergitol-7	0,1 g
Agar	13,5 g
Na-azid	1000 mL
pH = 7,2 ± 0,2	

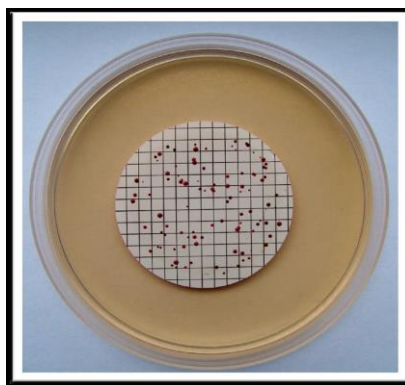
Petrijeve zdjelice se sa hranjivom podlogom inkubiraju na 44,0 °C kroz 24 h. Nakon inkubacije broje se kolonije sa žutim rubom [27].

Kao potvrđni test, kolonije se presađuju na Tryptophan broth agarni medij i inkubiraju na 44 °C kroz 24 h. Nakon inkubacije, dodaje se Kovacsev reagens koji se sastoji od izoamilnog alkohola, para-dimetilaminobenzaldehida i koncentrirane klorovodične kiseline. Koristi se kako bi se odredila sposobnost organizma da razdijeli indol iz aminokiselinskog triptofana. Dobiveni indol daje kompleks s para-dimetilaminobenzaldehydom što se očituje pojavljivanjem crvene boje na površini podloge s kolonijama. [28].

4. REZULTATI I RASPRAVA

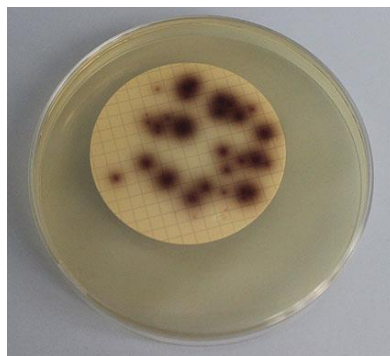
Kakvoća vode jezera Bundek praćena je na 3 mjerne toćke, dok je na području Jaruna praćena na 5 plaća odnosno 16 toćaka uzorkovanja. U sezoni kupanja od travnja do rujna uzorkovani su uzorci na kupališnim mjestima propisanim metodama te su odrećivani parametri prema Uredbi o kakvoći vode za kupanje [3]. Kao što je poznato, *Escherichia coli* je „stanovnik“ probavnog trakta toplokrvnih životinja, ali prisutnost nekih sojeva tih bakterija u većoj kolićini moće izazvati pojavu bolesti (najćešće probavne smetnje, infekcije).

Rezultati mikrobiološke analize prikazuju se brojem bakterijskih kolonija u 100 mL uzorka koje se broje nakon inkubacije. Na slici 20. prikazane su porasle bakterijske kolonije crijevnih enterokoka na Slanetz-Bartley agaru.



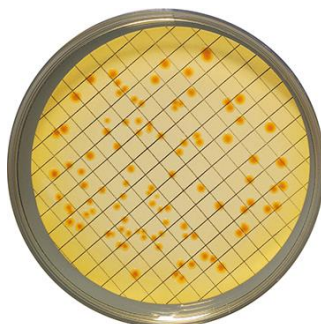
Slika 20. Crvene kolonije crijevnih enterokoka na Slanetz-Bartley agaru

Nakon inkubacije bakterijskih kolonija dolazi do pojave crnih toćkica prikazane na slici 21. koje predstavljaju kolonije crijevnih enterokoka. Brojanjem se dobiva ukupna kolićina crijevnih enterokoka u 100 mL uzorka.



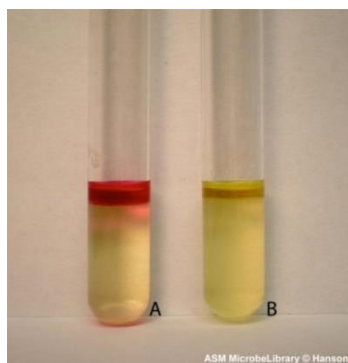
Slika 21. Potvrdni test crijevnih enterokoka na Bile aesculin azide agaru

Na slici 22. prikazane su porasle bakterijske kolonije *Escherichie coli* na Tergitol TTC agaru.



Slika 22. Žute kolonije *Escherichie coli* na Tergitol TTC agaru

Slika 23. prikazuje potvrdni test postojanja *Escherichie coli* u uzorku vode. Na površini podloge s kolonijama dolazi do crvenog obojenja uslijed nastanka indola. U lijevoj epruveti prikazana je pozitivna indol reakcija, a u desnoj epruveti negativna reakcija.



Slika 23. Pozitivna i negativna indol reakcija

U tablicama 16., 17. i 18. prikazani su rezultati mikrobioloških analiza za jezero Bundeck, a u tablicama 19., 20. i 21. prikazani su rezultati mikrobioloških analiza za jezero Jarun.

U promatranom trogodišnjem razdoblju na području jezera Bundeck maksimalan bik/100 mL za *Escherichiu coli* bio je kolonija 935 na točki B1, na točki B2 bio je 773 kolonija i na točki B3 bio je 994 kolonija. Maksimalan bik/100 mL za crijevni enterokok bio je 390 kolonija na točki B1, na točki B2 bio je 270 kolonija i na točki B3 bio je 386 kolonija.

U promatranom trogodišnjem razdoblju na području Velikog jezera Jarun maksimalan bik/100 mL za *Escherichiu coli* bio je 740 kolonija na točki TU01, na točki TU02 640 kolonija, na točki TU03 347 kolonija, na točki TU04 286 kolonija, na točki TU05 960 kolonija i na točki TU06 bio je 981 kolonija. Na Malom jezeru maksimalan bik/100 mL za *Escherichiu coli* na točki TU07 bio je 687 kolonija, na točki TU08 680 kolonija, na točki TU09 990 kolonija, na točki TU10 980 kolonija, na točki TU11 540 kolonija i na točki TU12 bio je 790 kolonija. Na Otoku Veslača maksimalan bik/100 mL za *Escherichiu coli* na točki TU13 bio je 460 kolonija dok je na Otoku Trešnjevka na točki TU14 bio 994 kolonija. Na otoku Univezijade na točki TU15 bio je 920 kolonija, a na točki TU16 bio je 509 kolonija.

Maksimalan bik/100 mL za crijevni enterokok bio je 213 kolonija na točki TU01, na točki TU02 165 kolonija, na točki TU03 193 kolonija, na točki TU04 113 kolonija, na točki TU05 220 kolonija i na točki TU06 bio je 397 kolonija. Na Malom jezeru maksimalan bik/100 mL za crijevne enterokoke na točki TU07 bio je 394 kolonija, na točki TU08 286 kolonija, na točki TU09 348 kolonija, na točki TU10 291 kolonija, na točki TU11 272 kolonija i na točki TU12 bio je 295 kolonija. Na Otoku Veslača na točki TU13 bio je 182 kolonija dok je na Otoku Trešnjevka na točki TU14 bio 390 kolonija. Na otoku Univezijade maksimalan bik/100 mL za crijevne enterokoke na točki TU15 bio je 284 kolonija, a na točki TU16 bio je 249 kolonija.

Stanje kakvoće vode za kupanje ocjenjuje se na temelju tablice 7. u kojoj su prikazani standardi kakvoće vode za kupanje.

U 2014.g. na području jezera Bundek voda je bila izvrsne kakvoće osim tijekom lipnja i kolovoza kada je porastao broj *Escherichie coli*. Crijevni enterokoki su bili ispod graničnih vrijednosti. U 2015.g i 2016.g. odstupanja se javljaju tijekom kolovoza i rujna što se očituje u porastu broja *Escherichie coli*, ali i crijevnih enterokoka.

Na području jezera Jarun voda je bila izvrsne kakvoće u svibnju i srpnju tijekom 2014.g. U lipnju dolazi do povećanog broja *Escherichie coli* na području TU 01, TU 02, TU 05, TU 010, TU11 i TU 012. U kolovozu i rujnu dolazi do porasta broja *Escherichie coli* i crijevnih enterokoka na području TU 08, TU 09, TU 10, TU 11, TU 12, TU 15 i TU 16. U 2015.g. odstupanja od graničnih vrijednosti vidljiva su tijekom srpnja, kolovoza i rujna. Voda za kupanje bila je izvrsne kakvoće tijekom 2016.g. Do porasta broja mikrobioloških pokazatelja došlo je na području TU 05 tijekom kolovoza i na području TU 16 tijekom lipnja.

Tablica 16. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Bundek za 2014.g.

TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ ENTEROKOKA
B1	02.04.2014.	18	12
	21.05.2014.	39	3
	10.06.2014.	66	45
	30.06.2014.	636*	34
	07.07.2014.	72	13
	21.07.2014.	52	10
	11.08.2014.	210	66
	26.08.2014.	480	138
08.09.2014.	56	42	
B2	02.04.2014.	20	13
	21.05.2014.	48	42
	10.06.2014.	32	13
	30.06.2014.	660*	138
	07.07.2014.	51	20
	21.07.2014.	49	5
	11.08.2014.	115	13
	26.08.2014.	590*	172
08.09.2014.	65	34	
B3	02.04.2014.	22	12
	21.05.2014.	12	3
	10.06.2014.	129	181
	30.06.2014.	640*	158
	07.07.2014.	42	14
	21.07.2014.	62	8
	11.08.2014.	148	16
	26.08.2014.	129	89
08.09.2014.	58	38	

* vrijednosti iznad maksimalno dozvoljene koncentracije

Tablica 17. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Bundek za 2015.g.

TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ ENTEROKOKA
B1	14.04.2015.	94	18
	09.06.2015.	270	70
	23.06.2015.	156	144
	07.07.2015.	46	2
	21.07.2015.	77	28
	03.08.2015.	489	148
	24.08.2015.	45	23
	07.09.2015.	126	69
B2	14.04.2015.	61	15
	09.06.2015.	61	2
	23.06.2015.	61	56
	07.07.2015.	30	7
	21.07.2015.	46	15
	03.08.2015.	197	60
	24.08.2015.	141	52
07.09.2015.	773*	270*	
B3	14.04.2015.	93	30
	09.06.2015.	110	5
	23.06.2015.	172	142
	07.07.2015.	15	4
	21.07.2015.	45	13
	03.08.2015.	489	254
	24.08.2015.	981*	294*
07.09.2015.	994*	326*	

* vrijednosti iznad maksimalno dozvoljene koncentracije

Tablica 18. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Bundek za 2016.g.

TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ ENTEROKOKA
B1	12.04.2016	110	8
	09.06.2016	144	61
	24.06.2016	345	13
	07.07.2016	126	27
	19.07.2016	215	28
	09.08.2016	46	10
	23.08.2016	935*	390*
09.09.2016	773*	56	
B2	12.04.2016	30	< 1
	09.06.2016	46	30
	24.06.2016	50	5
	07.07.2016	140	16
	19.07.2016	61	2
	09.08.2016	30	14
	23.08.2016	194	82
09.09.2016	61	30	
B3	12.04.2016	309	46
	09.06.2016	< 15	16
	24.06.2016	109	16
	07.07.2016	93	15
	19.07.2016	433	50
	09.08.2016	30	18
	23.08.2016	612*	178
09.09.2016	480	386*	

* vrijednosti iznad maksimalno dozvoljene koncentracije

Tablica 19. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Jarun za 2014.g.

TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ CE	TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ CE
TU 01	02.04.2014.	28	20	TU 09	02.04.2014.	89	34
	21.05.2014.	252	12		21.05.2014.	26	8
	10.06.2014.	78	23		10.06.2014.	298	60
	30.06.2014.	740*	47		30.06.2014.	356	48
	07.07.2014.	84	33		07.07.2014.	294	118
	21.07.2014.	278	174		21.07.2014.	410	113
	11.08.2014.	440	98		11.08.2014.	314	12
	26.08.2014.	72	54		26.08.2014.	990*	170
08.09.2014.	81	52	08.09.2014.	794*	348*		
TU 02	02.04.2014.	15	10	TU 10	02.04.2014.	90	26
	21.05.2014.	98	10		21.05.2014.	184	34
	10.06.2014.	15	4		10.06.2014.	282	46
	30.06.2014.	640*	24		30.06.2014.	980*	115
	07.07.2014.	78	18		07.07.2014.	262	80
	21.07.2014.	182	29		21.07.2014.	420	91
	11.08.2014.	186	10		11.08.2014.	86	7
	26.08.2014.	84	36		26.08.2014.	590*	130
08.09.2014.	94	78	08.09.2014.	528*	291*		
TU 03	02.04.2014.	38	10	TU 11	02.04.2014.	76	43
	21.05.2014.	21	29		21.05.2014.	196	87
	10.06.2014.	39	10		10.06.2014.	157	44
	30.06.2014.	240	26		30.06.2014.	760	83
	07.07.2014.	192	132		07.07.2014.	276	58
	21.07.2014.	193	21		21.07.2014.	295	87
	11.08.2014.	178	15		11.08.2014.	110	9
	26.08.2014.	106	80		26.08.2014.	540*	96
08.09.2014.	88	73	08.09.2014.	519*	272*		
TU 04	02.04.2014.	26	18	TU 12	02.04.2014.	318	85
	21.05.2014.	30	11		21.05.2014.	285	70
	10.06.2014.	96	12		10.06.2014.	129	74
	30.06.2014.	172	19		30.06.2014.	520*	99
	07.07.2014.	135	59		07.07.2014.	288	53
	21.07.2014.	286	86		21.07.2014.	480	169
	11.08.2014.	240	113		11.08.2014.	118	4
	26.08.2014.	82	26		26.08.2014.	790*	162
08.09.2014.	75	62	08.09.2014.	696*	295*		
TU 05	02.04.2014.	20	13	TU 13	02.04.2014.	58	38
	21.05.2014.	18	6		21.05.2014.	142	23
	10.06.2014.	28	7		10.06.2014.	126	46
	30.06.2014.	960*	83		30.06.2014.	460	52
	07.07.2014.	126	61		07.07.2014.	72	29
	21.07.2014.	192	45		21.07.2014.	177	135
	11.08.2014.	84	8		11.08.2014.	176	14
	26.08.2014.	210	102		26.08.2014.	160	55
08.09.2014.	248	105	08.09.2014.	424	182		
TU 06	02.04.2014.	22	17	TU 14	02.04.2014.	22	14
	21.05.2014.	5	2		21.05.2014.	22	18
	10.06.2014.	25	19		10.06.2014.	98	70
	30.06.2014.	448	97		30.06.2014.	188	12
	07.07.2014.	89	74		07.07.2014.	177	146
	21.07.2014.	224	59		21.07.2014.	266	73
	11.08.2014.	326	136		11.08.2014.	312	13
	26.08.2014.	360	181		26.08.2014.	480	93
08.09.2014.	166	99	08.09.2014.	288	129		
TU 07	02.04.2014.	35	24	TU 15	02.04.2014.	19	12
	21.05.2014.	81	31		21.05.2014.	5	4
	10.06.2014.	289	52		10.06.2014.	31	27
	30.06.2014.	192	26		30.06.2014.	168	20
	07.07.2014.	29	11		07.07.2014.	380	122
	21.07.2014.	278	44		21.07.2014.	310	95
	11.08.2014.	480	40		11.08.2014.	412	31
	26.08.2014.	202	93		26.08.2014.	920*	149
08.09.2014.	687*	394*	08.09.2014.	294	109		
TU 08	02.04.2014.	256	52	TU 16	02.04.2014.	26	11
	21.05.2014.	19	14		21.05.2014.	12	5
	10.06.2014.	294	48		10.06.2014.	95	54
	30.06.2014.	156	12		30.06.2014.	420	48
	07.07.2014.	25	17		07.07.2014.	268	109
	21.07.2014.	380	132		21.07.2014.	330	127
	11.08.2014.	188	11		11.08.2014.	192	10
	26.08.2014.	680*	123		26.08.2014.	480	176
08.09.2014.	644*	286*	08.09.2014.	509*	239*		

* vrijednosti iznad maksimalno dozvoljene koncentracije

Tablica 20. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Jarun za 2015.g.

TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ CE	TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ CE
TU 01	14.04.2015.	15	10	TU 09	14.04.2015.	15	7
	09.06.2015.	15	5		09.06.2015.	77	120
	23.06.2015.	61	30		23.06.2015.	77	30
	07.07.2015.	580*	213*		07.07.2015.	15	5
	21.07.2015.	76	26		21.07.2015.	30	16
	03.08.2015.	179	15		03.08.2015.	15	12
	24.08.2015.	285	177		24.08.2015.	45	22
07.09.2015.	127	159	07.09.2015.	144	170		
TU 02	14.04.2015.	15	8	TU 10	14.04.2015.	15	6
	09.06.2015.	15	2		09.06.2015.	15	12
	23.06.2015.	45	30		23.06.2015.	61	60
	07.07.2015.	30	33		07.07.2015.	93	28
	21.07.2015.	77	29		21.07.2015.	15	4
	03.08.2015.	46	32		03.08.2015.	77	42
	24.08.2015.	45	33		24.08.2015.	45	20
07.09.2015.	30	133	07.09.2015.	94	177		
TU 03	14.04.2015.	30	12	TU 11	14.04.2015.	15	8
	09.06.2015.	15	2		09.06.2015.	30	31
	23.06.2015.	61	30		23.06.2015.	30	27
	07.07.2015.	30	28		07.07.2015.	15	8
	21.07.2015.	30	14		21.07.2015.	30	14
	03.08.2015.	61	15		03.08.2015.	30	24
	24.08.2015.	179	67		24.08.2015.	30	18
07.09.2015.	15	25	07.09.2015.	195	160		
TU 04	14.04.2015.	15	9	TU 12	14.04.2015.	15	7
	09.06.2015.	46	3		09.06.2015.	77	28
	23.06.2015.	30	15		23.06.2015.	61	45
	07.07.2015.	30	44		07.07.2015.	77	21
	21.07.2015.	30	13		21.07.2015.	45	12
	03.08.2015.	46	40		03.08.2015.	161	82
	24.08.2015.	30	22		24.08.2015.	91	24
07.09.2015.	15	47	07.09.2015.	232	151		
TU 05	14.04.2015.	30	16	TU 13	14.04.2015.	15	9
	09.06.2015.	15	4		09.06.2015.	30	12
	23.06.2015.	61	30		23.06.2015.	61	40
	07.07.2015.	30	19		07.07.2015.	15	4
	21.07.2015.	45	26		21.07.2015.	144	21
	03.08.2015.	93	22		03.08.2015.	15	12
	24.08.2015.	30	18		24.08.2015.	45	22
07.09.2015.	15	45	07.09.2015.	15	17		
TU 06	14.04.2015.	61	22	TU 14	14.04.2015.	45	12
	09.06.2015.	30	29		09.06.2015.	46	3
	23.06.2015.	110	15		23.06.2015.	76	30
	07.07.2015.	287	83		07.07.2015.	30	18
	21.07.2015.	93	29		21.07.2015.	61	33
	03.08.2015.	77	22		03.08.2015.	30	18
	24.08.2015.	312	140		24.08.2015.	415	152
07.09.2015.	796*	310*	07.09.2015.	994*	390*		
TU 07	14.04.2015.	15	8	TU 15	14.04.2015.	93	33
	09.06.2015.	15	9		09.06.2015.	15	2
	23.06.2015.	46	45		23.06.2015.	61	44
	07.07.2015.	15	15		07.07.2015.	46	47
	21.07.2015.	15	6		21.07.2015.	77	128
	03.08.2015.	15	16		03.08.2015.	46	33
	24.08.2015.	61	19		24.08.2015.	627*	284
07.09.2015.	30	362	07.09.2015.	15	23		
TU 08	14.04.2015.	45	18	TU 16	14.04.2015.	77	28
	09.06.2015.	30	16		09.06.2015.	15	3
	23.06.2015.	30	15		23.06.2015.	330	327*
	07.07.2015.	15	8		07.07.2015.	30	35
	21.07.2015.	143	33		21.07.2015.	45	81
	03.08.2015.	46	26		03.08.2015.	127	74
	24.08.2015.	144	43		24.08.2015.	253	336*
07.09.2015.	61	34	07.09.2015.	30	54		

* vrijednosti iznad maksimalno dozvoljene koncentracije

Tablica 21. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Jarun za 2016.g.

TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ CE	TOČKA UZORKOVANJA	DATUM UZORKOVANJA	BROJ E. COLI	BROJ CE
TU 01	12.4.2016	94	< 1	TU 09	12.4.2016	922*	96
	9.6.2016	30	2		9.6.2016	15	12
	24.6.2016	132	37		24.6.2016	56	61
	7.7.2016	161	8		7.7.2016	< 15	2
	19.7.2016	161	169		19.7.2016	15	10
	9.8.2016	327	27		9.8.2016	15	9
	23.8.2016	30	20		23.8.2016	110	25
9.9.2016	30	14	9.9.2016	179	48		
TU 02	12.4.2016	30	< 1	TU 10	12.4.2016	94	14
	9.6.2016	< 15	3		9.6.2016	93	12
	24.6.2016	38	16		24.6.2016	119	20
	7.7.2016	15	2		7.7.2016	15	< 1
	19.7.2016	61	17		19.7.2016	30	5
	9.8.2016	46	11		9.8.2016	46	8
	23.8.2016	434	165		23.8.2016	77	36
9.9.2016	30	16	9.9.2016	368	62		
TU 03	12.4.2016	15	4	TU 11	12.4.2016	46	6
	9.6.2016	45	12		9.6.2016	270	67
	24.6.2016	86	30		24.6.2016	35	26
	7.7.2016	110	3		7.7.2016	15	2
	19.7.2016	215	48		19.7.2016	46	103
	9.8.2016	15	12		9.8.2016	45	14
	23.8.2016	347	193		23.8.2016	189	100
9.9.2016	124	95	9.9.2016	76	64		
TU 04	12.4.2016	15	5	TU 12	12.4.2016	< 15	2
	9.6.2016	77	7		9.6.2016	127	19
	24.6.2016	119	78		24.6.2016	144	105
	7.7.2016	30	4		7.7.2016	327	47
	19.7.2016	77	12		19.7.2016	109	72
	9.8.2016	46	11		9.8.2016	110	28
	23.8.2016	61	49		23.8.2016	144	56
9.9.2016	15	18	9.9.2016	161	98		
TU 05	12.4.2016	15	2	TU 13	12.4.2016	< 15	7
	9.6.2016	30	4		9.6.2016	< 15	6
	24.6.2016	29	17		24.6.2016	78	137
	7.7.2016	< 15	11		7.7.2016	< 15	2
	19.7.2016	15	8		19.7.2016	< 15	24
	9.8.2016	15	10		9.8.2016	45	16
	23.8.2016	704*	220*		23.8.2016	15	8
9.9.2016	30	15	9.9.2016	46	14		
TU 06	12.4.2016	< 15	2	TU 14	12.4.2016	< 15	2
	9.6.2016	< 15	3		9.6.2016	< 15	13
	24.6.2016	31	14		24.6.2016	68	94
	7.7.2016	46	5		7.7.2016	61	6
	19.7.2016	307	31		19.7.2016	< 15	12
	9.8.2016	30	17		9.8.2016	30	26
	23.8.2016	981*	397		23.8.2016	61	48
9.9.2016	15	14	9.9.2016	77	17		
TU 07	12.4.2016	< 15	8	TU 15	12.4.2016	< 15	2
	9.6.2016	30	5		9.6.2016	30	6
	24.6.2016	12	8		24.6.2016	16	10
	7.7.2016	15	4		7.7.2016	15	< 1
	19.7.2016	437	60		19.7.2016	< 15	4
	9.8.2016	15	15		9.8.2016	30	21
	23.8.2016	30	23		23.8.2016	46	39
9.9.2016	312	78	9.9.2016	15	12		
TU 08	12.4.2016	30	2	TU 16	12.4.2016	< 15	9
	9.6.2016	77	11		9.6.2016	94	6
	24.6.2016	66	42		24.6.2016	105	249*
	7.7.2016	46	3		7.7.2016	77	34
	19.7.2016	30	13		19.7.2016	15	6
	9.8.2016	30	12		9.8.2016	30	19
	23.8.2016	46	36		23.8.2016	30	7
9.9.2016	30	19	9.9.2016	30	16		

* vrijednosti iznad maksimalno dozvoljene koncentracije

Iz navedenih rezultata vidljivo je da su crijevni enterokoki i *Escherichia coli* prisutni u znatno većem broju od maksimalno dozvoljenog u jezerima Bundek i Jarun, naročito tijekom ljetnih mjeseci. Nadalje, tijekom srpnja i kolovoza zbog vodostaja, povećane temperature i većeg broja ljudi u zatvorenim vodama ima mnogo više bakterija kojima pogoduje i slaba izmjena vode i jezerima. Na Bundeku gotovo da i nema izmjene vode, dok je na Jarunu ima nešto više, ali je, s obzirom na broj kupača u ljetnim mjesecima, izmjena vode nedovoljna.

S obzirom da su jezera Jarun i Bundek prirodna staništa ptica i riba za pretpostaviti je da bi i ta činjenica mogla biti jedan od razloga povećanja mikrobioloških pokazatelja.

Na jezerima zimuju ptice močvarice (crvenokljuni labud, crna liska, divlja patka, galebovi) te šaranske vrste riba koje utječu na povećanje stupnja trofije vode [29]. Fekalije ptica padaju na dno jezera i talože se. Kada je prisutan veći broj kupača, odnosno uslijed loših vremenskih prilika, podiže se nataloženi mulj s dna jezera što utječe na povećanje broja mikrobioloških pokazatelja [30]. Kako bi se broj mikrobioloških pokazatelja smanjio na dozvoljenu vrijednost, trebalo bi provesti temeljito izmuljavanje jezera. Isto tako, na području Jaruna i Bundeka nalazi se velik broj ugostiteljskih objekata za koje nema informacija da li su spojeni na kanalizaciju ili otpadne vode ulaze u jezera.

Escherichia coli može biti akumulirana u obalnom pijesku iz kojeg ispiranjem valovima ili oborinama može dospjeti u vodu za kupanje dok crijevni enterokok ima još veću vjerojatnost opstanka i karakterizira ga velika otpornost. Broj i vrsta indikatorskih bakterija može varirati ovisno o vremenskim uvjetima, opterećenju vode za kupanje otpadnim vodama te kontaminacije okolnog tla. Nadalje, *Escherichia coli* je ovisna o promjeni koncentracije kisika u pridnom sloju vodnog sustava te s tim u vezi i redukcijom sulfata. U jezerskim staništima, gdje se uslijed anaerobnih prilika sulfati reduciraju u sulfide, crijevni enterokoki dulje preživljavaju te su prikladniji pokazatelji fekalne onečišćenosti [2].

Na koncentraciju fekalnih bakterija u vodama za kupanje utječu osim abiotičkih (sunčeva svjetlost, temperatura, slanost) i biotički čimbenici (predatorstvo i konkurencija ostalih mikroflora kao što su protozoe i autohtone bakterije). Od navedenih čimbenika, sunčevo zračenje (insolacija) ima najveći utjecaj u inaktivaciji odnosno smanjenju *Escherichie coli* i enterokoka u vodi. Na odnos između insolacije i koncentracije *Escherichie coli* utječe relativna razina jezera, visina vala i mutnoća, od kojih su svi vrlo često rezultat djelovanja vjetra. Tijekom noći redovito dolazi do

porasta broja mikrobioloških pokazatelja što upućuje na to da je sunčeva svjetlost vrlo važan čimbenik za prirodno smanjenje indikatorskih bakterija u slatkovodnim jezerima. Stoga se kao važan kriterij uzima i doba dana uzimanja uzoraka jer je koncentracija *Escherichie coli* ujutro veća nego u popodnevnim satima [31].

Na temelju navedenog, pretpostavlja se da do odstupanja mikrobioloških pokazatelja od graničnih vrijednosti dolazi uslijed promjene aerobnih uvjeta, meteoroloških prilika te povećanog broja kupača tijekom ljetnih mjeseci. Važno je naglasiti da uz vodu za kupanje i pijesak na plaži, rizični faktor za zdravlje kupača, mogu biti i tuševi, ako su primjerice priključeni na plitke bunare. Naravno, gutanje kontaminirane vode također može biti uzrok probavnih smetnji.

5. ZAKLJUČAK

Osiguranje zdravstvene ispravnosti vode za kupanje jedna je od osnovnih mjera zaštite zdravlja ljudi. Osim higijene tijela, kupanje pruža rekreaciju, ugodu, opuštanje i zadovoljstvo. Ukoliko voda nije zdravstveno ispravna, može uzrokovati razne bolesti. Stoga se redovito prati i ispituje kakvoća vode odnosno provodi monitoring kakvoće vode za kupanje, u skladu sa važećom Uredbom o kakvoći vode za kupanje. Upravljanjem kakvoćom vode za kupanje osigurava se zaštita, očuvanje ili poboljšanje kakvoće površinskih voda koje se koriste za kupanje i time pridonosi zaštiti okoliša i samog ljudskog zdravlja.

Jezera Jarun i Bundek smještena su u južnom dijelu Zagreba uz rijeku Savu. Omogućuju građanima boravak u prirodi te različite vrste rekreacije i odmora uz šetnju, roštiljanje, sunčanje i ribolov. Također, pojedini dijelovi jezera prirodna su staništa mnogobrojnih biljnih i životinjskih vrsta. Oba jezera proglašeni su kupalištem te su za Jarun određene plaže na području Velikog i Malog jezera, Otoka Veslača, Otoka Trešnjevke i Otoka Univerzijade. Za kupalište jezera Bundek određene su plaže na istočnoj, zapadnoj i južnoj obali Velikog jezera.

Analizom mikrobioloških pokazatelja kakvoće vode za kupanje: *Escherichie coli* i crijevnih enterokoka ustanovljena je prisutnost fekalnih onečišćivala. Povećane vrijednosti naročito su prisutne tijekom ljetnih mjeseci kada je slaba izmjena vode zbog vodostaja, povećane temperature i većeg broja ljudi u zatvorenim vodama. *Escherichia coli* može biti akumulirana u obalnom pijesku iz kojeg ispiranjem valovima ili oborinama može dospjeti u vodu za kupanje dok crijevni enterokok ima još veću vjerojatnost opstanka i karakterizira ga velika otpornost. Broj i vrsta indikatorskih bakterija može varirati ovisno o vremenskim uvjetima, opterećenju vode za kupanje otpadnim vodama te kontaminaciji okolnog tla.

6. LITERATURA

1. Gleick P.H. (1993): Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources; Oxford University Press, New York, 13-18
2. Tedeschi, S. (1997): Zaštita Voda; Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
3. Uredba o kakvoći vode za kupanje (NN 51/14) (30.3.2017)
4. Hidrološki ciklus vode u šumskom ekosustavu;
<https://repositorij.sumfak.unizg.hr/islandora/object/sumfak%3A732/datastream/PDF/>,
(28.3. 2017.)
5. Vrste voda; <http://vodaizvorzivota.weebly.com/vrste-voda.html>, (28.3. 2017.)
6. Uredba o standardu kakvoće vode. (NN 73/13) i (NN 51/14) (30.3.2017)
7. Imhoffov stožac; <http://www.thefishsite.com/articles/2024/marine-shrimp-biofloc-systems-basic-management-practices/>, (7.5.2017.)
8. Mutnoća vode; http://mdw.srbc.net/remotewaterquality/monitoring_parameters.htm,
(7.5.2015.)
9. Oreon A. (2014): The ecology of *Dunaliella* in high-salt environments, Journal of Biological Research, Vol 21(1), 1-23
10. Why a Giant Green Lake Turned Blood-Red;
<http://news.nationalgeographic.com/2016/08/why-giant-green-lake-turned-blood-red-iran-algae/#/02-lake-urmia.jpg> (8.5.2017.)
11. pH metar; <http://www.akvarij.net/index.php/ostalo-menuslatkovodnaoprema-134/728-ph-metri>, (9.5.2015.)
12. Biološki pokazatelji vode;
www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/zastitavoda/predavanja/ZV%203.ppsx (9.5.2017.)

13. Boehm A.B., Sassoubre L.M (2014): Enterococci as Indicators of Environmental Fecal Contamination, Environmental and Water Studies, Stanford University, Stanford 1-26
14. Enterokok; <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18026>, (14.4.2017.)
15. Bactericidal microorganism;
<http://www.saniers.com/empresa/bacterias.html#entero> (15.4.2017.)
16. Rompre A, Servais P, Baudart J, de Roubin M.R, Laurent P. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. 2002. Journal of Microbiological Methods 49, 31-54.
17. Escherichia coli; <http://www.iaszoology.com/e-coli/>, (15.4.2017.)
18. Zakon o vodama (NN 14/14)
19. Sportsko rekreacijski centar Bundek;
<http://www.sportskiobjekti.hr/default.aspx?id=122>, (15.4.2017.)
20. Jarun; http://atlas.geog.pmf.unizg.hr/gkp/jarun_pirc/index.html, (2.4.2017.)
21. Jezero Jarun; <http://www.infozagreb.hr/istrazi-zagreb/atrakcije/parkovi/jarun-54a11ce4a6d30>; (2.4.2017.)
22. Clear reagent bottle; <https://www.lelong.com.my/11-clear-reagent-bottle-sampling-glass-blue-cap-giftdepot-188686319-2018-02-Sale-P.htm>, (31.3.2017)
23. Testing for the Presence of Bacterial Contamination of Rural Water Wells;
<https://sites.google.com/site/davidsbiologysite/researchproposal2>, (1.4.2017.)
24. Bartram J., Pedley Water S. (1996): Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes; World Health Organization, E&FN Spon, No.1, Great Britain, 242-270
25. Slanetz L. W., Bartley, C.H. (1957): Numbers of enterococci in water, sewage and feces determined by the membrane filter technique with an improved medium; Vol 74 Department of Bacteriology, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, 591-595

26. Chuard, C., Reller, R.B. (1998): Bile-Esculin Test for Presumptive Identification of Enterococci and Streptococci: Effects of Bile Concentration, Inoculation Technique, and Incubation Time, *Journal of Clinical Microbiology*, Vol. 36(4), 1135-1136
27. Fricker, C. R., Warden P.S., DeSarno M., Bradley J. (2010): Eldred Significance of Methods and Sample Volumes for E. coli and Total Coliform Measurements, *Water Research Foundation and Drinking Water Inspectorate U.S.A.* 33-38
28. Indole Test - Principle, Reagents, Procedure, Result Interpretation and Limitations; <http://www.microbiologyinfo.com/indole-test-principle-reagents-procedure-result-interpretation-and-limitations/>, (15.5.2017.)
29. Profil vode za kupanje jezera Jarun i Budek;
[http://web.zagreb.hr/Sjednice/2013/sjednice_skupstine_2013.nsf/0/C1257B79004AC468C12580DD0036AF16/\\$FILE/07%20Prilog%20-%20Profil%20vode%20za%20kupanje%20jezera%20Jarun%20i%20Budek.pdf](http://web.zagreb.hr/Sjednice/2013/sjednice_skupstine_2013.nsf/0/C1257B79004AC468C12580DD0036AF16/$FILE/07%20Prilog%20-%20Profil%20vode%20za%20kupanje%20jezera%20Jarun%20i%20Budek.pdf), (30.5.2017.)
30. World Health Organization (2003): Guidelines for safe recreational water environments, Vol. 1: Coastal and fresh waters, Geneva, Switzerland, 55-58
31. Whitman R.L., Nevers M.B., Korinek G.C., Byappanahalli M.N. (2004): Solar and Temporal Effects on Escherichia coli Concentration at a Lake Michigan Swimming Beach, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70(7), 4276-4285

POPIS SLIKA

Slika 1. Imhoffov stožac

Slika 2. Mutnoća vode vrijednosti 5, 50 i 500 NTU

Slika 3. Promjena boje Jezera Urmija uslijed djelovanja mikroorganizama

Slika 4. pH metar

Slika 6. Jezero prije i poslije eutrofikacije

Slika 7. *Enterococcus faecalis*

Slika 8. *Escherichia coli*

Slika 9. Elementi ocjene ekološkog stana jezera

Slika 10. Obrazac uzorkovanja voda za kupanje

Slika 11. Obrazac profila vode za kupanje

Slika 12. Kartografski prikaz jezera Jarun

Slika 13. Grafički prikaz službene oznake zabrane kupanja

Slika 14. Jezero Bundek

Slika 15. Malo i Veliko jezero Jarun

Slika 16. Kartografski prikaz plaže jezera Bundek i mjerne točke B1, B2 i B3

Slika 17. Mjerne točke jezera Jarun

Slika 18. Sterilne bočice za uzorkovanje

Slika 19. Postupak membranske filtracije

Slika 20. Crvene kolonije crijevnih enterokoka na Slanetz-Bartley agaru

Slika 21. Potvrdni test crijevnih enterokoka na Bile aesculin azide agaru

Slika 22. Žute kolonije *Escherichie coli* na Tergitol TTC agaru

Slika 23. Pozitivna i negativna indol reakcija

POPIS TABLICA

Tablica 1. Uobičajeni ioni u prirodnim vodama

Tablica 2. Razorno djelovanje vode prema količini sulfat iona

Tablica 3. Međuodnos saprobnog indeksa i stupnja saprobnosti

Tablica 4. Pokazatelj trofikacije voda stajačica

Tablica 5. Vrijednosti indeksa razlike u ovisnosti o onečišćenju vodnog sustava

Tablica 6. Bolesti prenosive vodom

Tablica 7. Standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja površinskih voda – popis prioriternih tvari

Tablica 8. Standardi za ocjenu kakvoće vode

Tablica 9. Obnavljanje profila za kupanje

Tablica 10. Lokacije uzorkovanja kakvoće vode za kupanje na području jezera Bundek

Tablica 11. Lokacije uzorkovanja kakvoće vode za kupanje na području jezera Jarun

Tablica 12. Kalendar uzorkovanja na jezeru Bundek i Jarunu

Tablica 13. Sastav Slanetz-Bartley agara

Tablica 14. Sastav Bile aesculin azide agara

Tablica 15. Sastav Tergitol TTC agara

Tablica 16. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Bundek za 2014.g.

Tablica 17. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Bundek za 2015.g.

Tablica 18. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Bundek za 2016.g.

Tablica 19. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Jarun za 2014.g.

Tablica 20. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Jarun za 2015.g.

Tablica 21. Rezultati mikrobiološke analize za jezero Jarun za 2016.g.