Pokazatelji kakvoće vode i metode određivanja

Vugrin, Karla

Undergraduate thesis / Završni rad

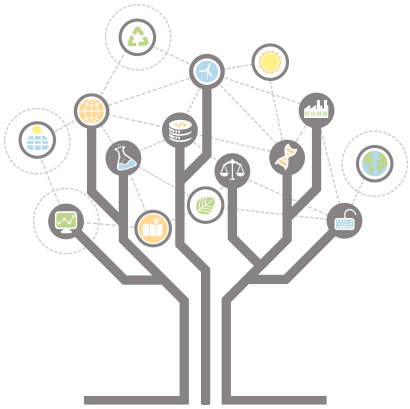
2019

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:613768

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

KARLA VUGRIN

POKAZATELJI KAKVOĆE VODE I METODE ODREĐIVANJA

ZAVRŠNI RAD

Varaždin, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KARLA VUGRIN

POKAZATELJI KAKVOĆE VODE I METODE ODREĐIVANJA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:
KARLA VUGRIN

MENTOR:
izv. prof.ANITA PTIČEK SIROČIĆ

Varaždin, 2019.

SAŽETAK

Voda je neobnovljivi resurs koji zauzima 71 % Zemljine površine, a živa bića su građena najvećim dijelom od vode, stoga se može reći da je voda tekućina života. Kako je voda neophodna za život, kakvoća vode vrlo je važna za živi svijet. Voda kruži u prirodi pri čemu mijenja agregatno stanje, kakvoću i mogućnost iskorištavanja. Mnogi čimbenici utječu na kruženje vode, poput vremenskih prilika, ispiranja atmosfere, podzemnog otjecanja, otpadnih voda, odlagališta otpada i sl. Kakvoća vode uvelike utječe na životne uvjete, zdravlje i kvalitetu života te potiče socio-ekonomski razvoj ljudske zajednice.Kako ne bi došlo do onečišćenja prirodnih vodnih sustava, otpadne vode odnosno vode korištene za opskrbu stanovništva, koje su sustavom odvodnje vraćene u okoliš, moraju zadovoljiti određene uvjete kakvoće. Kakvoća vode utvrđuje se pomoću fizikalnih, kemijskih, bioloških i mikrobioloških pokazateljas ciljem osiguranja zdravstveno ispravne vode za vodoopskrbu, poljoprivredu, industrijske procese i drugo. Utvrđivanje kakvoće vode bitno je za nadzor i upravljanje vodom kao resursom.Uslijed klimatskih promjena, antropogenog djelovanja i neravnomjerne raspodjele slatke vode, zalihe slatke vode se smanjuju te uzrokuju promjene u okolišu, manjak hrane, bolesti i smrt u nekim dijelovima svijeta. Hrvatska je jedna od rijetkih zemalja koja posjeduje značajne količine čiste pitke vode za nekoliko desetljeća, a čak 90 % vode koja se koristi za vodoopskrbu potječe iz podzemlja.

Ključne riječi: voda, kakvoća vode, pokazatelji kakvoće vode

SADRŽAJ

1. UVOD **1**

2. OPĆI DIO **3**

2.1. VODA **3**

2.1.1. Fizikalna svojstva 4

2.1.2. Kemijska svojstva 5

2.2. KAKVOĆA VODE I POKAZATELJI KAKVOĆE VODE **8**

2.2.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode 9

2.2.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode 11

2.2.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode 22

2.2.4. Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode 26

2.3. METODE ODREĐIVANJA **29**

2.3.1. Fizikalni pokazatelji 31

2.3.2. Kemijski pokazatelji 32

2.3.3. Biološki pokazatelji 34

2.3.4. Mikrobiološki pokazatelji 36

2.4. ZAKONSKA REGULATIVA **36**

3. ZAKLJUČAK **41**

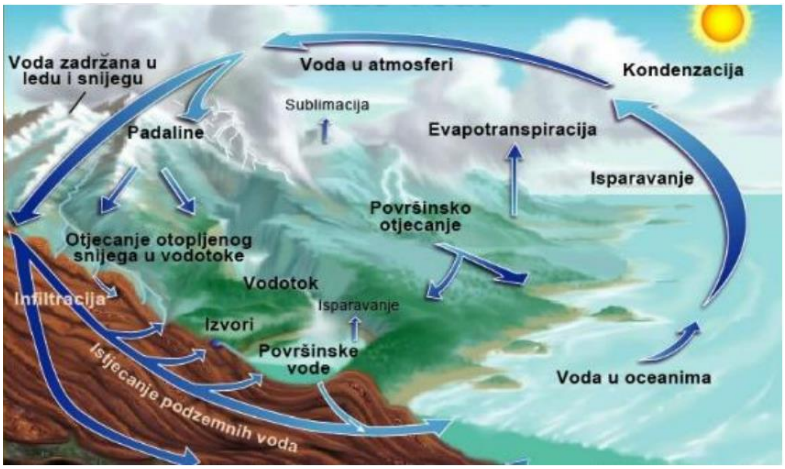
4. LITERATURA **42**

5. POPIS SLIKA **46**

6. POPIS TABLICA **47**

1. UVOD

Voda je temelj života, nastanka i razvoja svih živih bića što potvrđuje činjenica da je ljudsko tijelo građeno od oko 70% vode. Vodene mase pokrivaju 71% planeta Zemlje. Slana voda u morima i oceanima zauzima 97,5 % vode na svijetu, dok je ostalih 2,5% slatke vode potrebne živim bićima pohranjeno u ledenjacima (68,7 %), podzemnim vodama (30,06 %), permafrostu (0,86 %), jezerima (0,26 %), tlu (0,05 %), atmosferi (0,04 %), močvarnim područjima (0,03 %), rijekama (0,006 %) te biljkama i životinjama (0,003 %) [1]. Kruženje vode u prirodi stalan je proces koji traje već milijardama godina. Sunce zagrijava oceane i mora koji zatim isparavaju u obliku vodene pare u atmosferu te se u troposferi vodena para hladi, kondenzira i spušta na zemlju u obliku kišnih kapi koje ponovo odlaze u vodene površine na Zemlji (slika 1). Tijekom hidrološkog ciklusa godišnje nastaje 36 000 km^3 vode kojačini obnovljivu zalihu slatke vode na Zemlji. To je maksimalna količina koju mogu koristiti sva živa bića na svijetu.



Slika 1. Kruženje vode u prirodi

Onečišćenje vode moguće je u bilo kojem dijelu kruženja vode u prirodi stoga je kakvoća vode veoma bitna. Uzroci onečišćenja mogu biti tvorničke otpadne vode, onečišćenje naftom i naftnim derivatima, kemikalije iz domaćinstava, kemikalije iz poljoprivrede poput pesticida, insekticida, umjetnih gnojiva i sl.; vode iz septičkih jama i kanalizacije, odlagališta otpada, kisele kiše, itd. [2].

Voda ima veliku ulogu u ljudskom tijelu.Zadužena je za prijenos hranjivih tvari i kisika u stanice, omogućavanje biokemijskih reakcija koje pretvaraju hranjive tvari u

energiju i u novi stanični materijal, također iznosi štetne tvari iz organizma, regulira temperaturu našeg tijela te je sastavni dio znoja, suza, krvi i mokraće. Manjak vode u tijelu uzrokuje mnoge probleme kao što su glavobolja, smetnje u radu bubrega, srca i probavnog sustava, manjak koncentracije i slično.

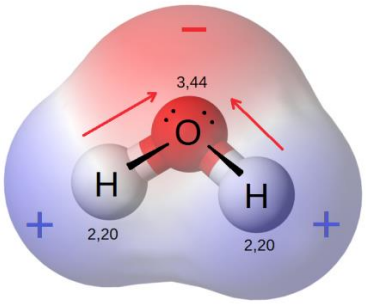
Pristup pitkoj vodi nije moguć za preko milijardu ljudi na svijetu, što uzrokuje prosječno 15 milijuna smrti godišnje. Hrvatska, prema istraživanjima UNESCO-a iz 2003. godine, raspolaže sa otprilike 9 milijardi m^3/godišnje obnovljive zalihe podzemnih voda čime se nalazi na visokom petom mjestu vodom najbogatijih država u Europi, a uvrštena je i u 30 vodom najbogatijih država svijeta [2].

Cilj ovog rada je opisati pokazatelje kakvoće vode koja se svakodnevno konzumira za vodoopskrbu, sanitarne potrebe, industrijske procese, poljoprivredu, navodnjavanje te metode kojima se određuju pojedini pokazatelji kakvoće vode.

2. OPĆI DIO

2.1. VODA

Voda je najjednostavnija i najzastupljenija tvar u prirodi te je jedina anorganska tekućina na svijetu bez boje, mirisa i okusa, a postoji u sva tri agregatna stanja: tekućem, čvrstom i plinovitom. Pri atmosferskom tlaku i temperaturi između 0 i 100°C, voda se nalazi u tekućem agregatnom stanju, vrelište vode je na 100°C i tada voda prelazi u vodenu paru, dok joj je ledište na 0 °C kada prelazi u čvrsto agregatno stanje odnosno led. Voda je kemijski spoj dvajuatoma vodika koji se vežu na atom kisik pod kutem od 104,5°.Četiri para elektrona raspoređena su oko centralnog atoma kisika u pravilnom tetraedru pod kutem od 109,5° pri čemu su dva elektronska para vezana kovalentnom vezom. Nevezani elektronski parovi odbijaju vezane uslijed čega se kut između vezanih elektronskih parova smanjuje sa 109,5° na 104,5°. Molekula vode je električni neutralna, no zbog asimetrične građe tetraedra električni naboji nisu podjednako raspoređeni.Tendencija nekog atoma da privlači kovalentno vezane elektrone podalje od drugih atoma u molekuli naziva se elektronegativnost [4]. Elektronegativnost utječe na raspodjelu naboja u molekuli tako da elektronegativniji atom poprima negativan naboj. Negativan naboj prevladava na strani molekule gdje se nalazi kisik(elektronegativnost kisika iznosi 3.44, a vodika 2.20)što uzrokuje dipolni karakter molekule vode (slika 2).



Slika 2. Raspodjela naboja u molekuli vode

Dipolni moment molekula vode iznosi 6,17 × 10^{-30} Cm.Molekule vode mogu ostvariti najviše četiri vodikove veze s okolnim molekulama vode pri čemu tvore tetraedarsku strukturu i međusobno se dodatno polariziraju. Vodikove veze uvelike ovise o temperaturi: pri temperaturi nešto višoj od 0°C međusobno je vezano 95% molekula

vode dok je pri temperaturi nešto nižoj od 100°C međusobno povezano maksimalno 85% molekula vode. Pri temperaturi nižoj od 0°C udio vezanih molekula naglo raste, a pri temperaturi višoj od 100°C, naglo pada [5].

2.1.1. Fizikalna svojstva

Fizikalna svojstva vode su:

- gustoća
- viskoznost
- površinska napetost
- specifična entalpija
- električna svojstva
- optička svojstva.

Gustoća vode ovisi o agregatnom stanju, a određena je temperaturom, salinitetom i tlakom. Voda je najgušća u tekućem stanju pri tlaku od 1 bar i temperaturi od 3,98°C te iznosi 1,0 kg/dm^3. Povišenje i sniženje temperatureuzrokuje smanjenje gustoće stoga je gustoća pri temperaturi od 100°C i tlaku 1 bar jednaka 0,958 kg/dm^3 dok je pri točki ledišta (0°C) i tlaku od 1 bar u tekućem stanju jednaka 0,9998 kg/dm^3, a prelaskom u kruto agregatno stanje dolazi do naglog pada gustoće te iznosi 0,917 kg/dm^3.

Viskoznost, kao i gustoća, ovisi o temperaturi i tlaku. Sniženjem temperature stvaraju se nakupine većeg broja molekula koje su čvršće povezane što dovodi do povećanja viskoznosti vode. Viskoznost vode pod promjenom tlaka mijenja se ovisno o temperaturi vode. Pri temperaturama manjim od 30°C viskoznost se smanjuje porastom tlaka, dok pri temperaturama većim od 30°C porastom tlaka raste i viskoznost vode [6].

Površinska napetost rezultat je kohezijskog svojstva vode, molekule vode teže tome da se povezuju sa istovrsnim molekulama, ali ne teže povezivanju molekula zraka iznad vodene površine pri čemu dolazi do nastanka elastične prevlake na površini vode. Na površinsku napetost utječu temperatura i otopljene tvari u vodi stoga sniženjem temperature površinska napetost raste, a pojavom površinski aktivnih tvari u vodi poput deterđenta, čak i u malim količinama, se snižava. Površinska napetost utječe i na dizanje i spuštanje kapljevine u kapilarama biljaka. Struktura tla i veličina promjera kapilara omogućuju zadržavanje i dizanje vode iznad razine podzemne vode na visini 1,7 do 2,5 m što uvelike utječe na rast i razvoj bilja. Površinska napetost vode iznosi

72,75 mJ/m^2. ***Specifična entalpija*** je termodinamička funkcija stanja ravnoteže termodinamičkog sustava [10]. Pri tlaku od 1 bar i u točki ledišta specifična entalpija iznosi 331 KJ/kg, dok u točki vrelišta iznosi 2,225 KJ/kg.

Električna svojstva vode posljedica su strukture vode. Dielektrična konstanta vode je visoka, iznosi 78,4 F/m pri temperaturi od 25°C. Električna vodljivost je sposobnost tekućine da provodi struju i ona ovisi o koncentraciji otopljenih tvari, temperaturi i vrsti otopljenih minerala. Vode visoke specifične elektroprovodljivosti korozivno djeluju na željezo i običan čelik [5]. Mjerna jedinica za električnu provodljivost jest siemens (S), odnosno mikrosiemens (mS). Vrijednost provodnostičiste vode je od 4,2 × 10^{-6} S/m pri temperaturi od 20°C.

Optička svojstva vode definirana su propuštanjem svjetlosti. Prozirnost ili transparentnost je svojstvo fluida da propušta svjetlost uz najmanje moguće raspršivanje te ovisi o koncentraciji čestica i duljini svjetlosnog vala. Smanjuje se povećanjem algi,suspendiranih čestica u vodi i jačom obojenošću vode.

2.1.2. Kemijska svojstva

Kemijska svojstvavode su:

- polarnost
- specifični toplinski kapacitet
- toplina isparavanja
- topljivost
- ionizacija
- redoks-reakcija.

Polarnost je definirana kao neravnomjerna raspodjela električnog naboja u molekuli i svojstvo tvari koju čine molekule stalnoga električnoga dipolnoga momenta [10].Dipolni moment polarnih molekula uzrokovan je jakim međumolekularnim privlačnim silama koje uvelike utječu na topljivost, talište, vrelište i viskoznost polarnih tvari. Voda je primjer dipolne molekule, čija polarnost je određena električnim dipolnim momentom.

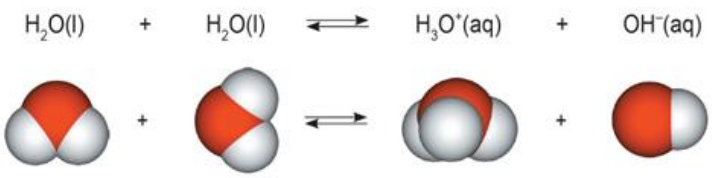
Specifični toplinski kapacitet definira se kao toplina koja je potrebna da se jednom kilogramu tvari temperatura povisi za 1 °C. Za vodu pri temperaturi od 25°C specifični

toplinski kapacitet iznosi 4,180 J/kgK, porastom temperature do 35 °C se smanjuje dok daljnjim rastom temperature on se jednakomjerno povećava. Zbog visokog specifičnog toplinskog kapaciteta, u vodi se može pohraniti i transportirati velika količina topline. Jedna od anomalija vode je da voda u tekućem stanju ima dvostruko veći specifični toplinski kapacitet od leda ili vodene pare.

Toplina isparavanja ili latentna toplina je toplina koju neka masa tvari mora primiti ili predati iz okoline kako bi joj se promijenilo agregatno stanje. Svaka tvar razlikuje latentnu toplinu isparavanja, toplinu koja neka masa tvari oslobađa prilikom kondenzacije ili prima prilikom isparavanja, i latentnu toplinu taljenja, toplinu koja neka masa tvari oslobađa prilikom očvršćivanja ili koju upija prilikom taljenja. Latentna toplina isparavanja vode iznosi 2 256 000 J/kg, a latentna toplina taljenja 333 000 J/kg.

Topljivostje svojstvo tvari da sa drugom tvori homogenu smjesu i ovisi o polarnosti, vodikovim vezama, temperaturi, tlaku i veličini čestica. Voda je zbog svoje postojanosti i električnih svojstava vrlo prikladna kao otapalo, stoga se najčešće koristi kao otapalo. Tvari koje teže povezivanju s vodom nazivaju se hidrofilne tvari, dok se tvari koje odbijaju vodu nazivaju hidrofobne tvari i u pravilu se ne otapaju u vodi. U kemiji je poznato pravilo "slično se otapa u sličnom" što znači da se polarne tvari otapaju u polarnim otapalima, a nepolarne u nepolarnim otapalima. Kako je voda polarna molekula, nepolarne molekule su slabo topljive u vodi jer su adhezijske sile između molekula tvari i molekula vode vrlo slabe. Topljivost se povećava povećanjem vodikovih veza između vode i tvari koja se otapa.Topljivost plinova u vodi ovisi o polarnosti molekule plina, temperaturi vode, tlaku plina i količini otopljenih soli u vodi.

Ionizacija je proces kojim se električno neutralni atomi ili molekule pretvaraju u električno nabijene atome ili molekule. Ionizacija molekule vode je povratna reakcija, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Ionizacija molekule vode

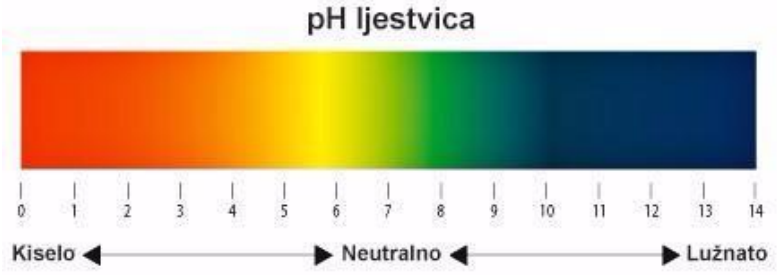
Prilikom disocijacije u vodi su istovremeno prisutne molekule vode H_2O, vodikov ion H^+, hidroksid-ion OH^-, a usred hidratacije iona još i hidronij-ion H_3O^+ [6].Konstantom disocijacije prikazuje se omjer koncentracija nedisociranog i disociranog oblika molekule. Konstanta disocijacije vode može se prikazati kao:

$$K = \frac{[H^+]\,[OH^-]}{[H_2O]}$$

Kako je voda slabo ionizirana, koncentracija molekule vode smatra se stalnom pa je tada:

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

K_w predstavlja ionski produkt vode i to je stalna vrijednost koja ne ovisi o koncentraciji vodikovih iona i hidroksid-iona, ali se mijenja s promjenom temperature vode. Za čistu vodu vrijedi $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ mol/l, dok ionski produkt iznosi 10^{-14} mol/l pri temperaturi od 25°C[6].Negativnim logaritmom koncentracije vodikovih iona označava se pH vrijednost. Mjera kiselosti odnosno lužnatosti vodene otopine određujese skalom od 0 do 14. Za vodene otopine pri temperaturi 25°C vrijedi: za vrijednost pH = 7 vodena otopina se naziva neutralnom, ako je pH vrijednost manja od 7, vodena otopina je kisela, a ako je pH vrijednost veća od 7 vodena otopina je lužnata (slika 4).



Slika 4. pH ljestvica

Redoks-reakcija je proces istovremenog zbivanja oksidacije i redukcije pri čemu dolazi do prijenosa elektrona između molekula. Oksidacija je proces otpuštanja elektrona, a redukcija proces primanja elektrona dok se tvari koje primaju elektrone nazivaju oksidansi, a tvari koje otpuštaju elektrone nazivaju reducensi. Kako u prirodi nema slobodnih elektrona, te se reakcije uvijek događaju istovremeno zbog čega se još nazivaju i redukcijsko-oksidacijske reakcije. Redoks-reakcija vode može se prikazati kao:

$$2\ H_2O - 4\ e^- \leftrightarrow\ 4\ H^+ + O_2 \uparrow$$

$$2\ H_2O + 2\ e^- \leftrightarrow\ 2\ OH^- + H_2 \uparrow$$

Voda može biti reducens i oksidans, ovisno o tome predaje li ili prima elektron. Redukcijsko-oksidacijska reakcija čiste vode spor je proces dok jake oksidirajuće i reducirajuće tvari djeluju vrlo brzo u vodi, poput klora:

$$2\ Cl_2 + 2\ H_2O\ \rightarrow 4\ H^+ + 4\ Cl^- + O_2$$

2.2. KAKVOĆA VODE I POKAZATELJI KAKVOĆE VODE

Voda tijekom svog hidrološkog ciklusa dolazi u kontakt s raznim tvarima pri čemu može doći do onečišćenja vode. Tijekom prolaska kroz atmosferu voda je u doticaju sa česticama prašine, ispušnim plinovima, vulkanskim dimom i plinovima, dimom uzrokovanim požarima, velikom koncentracijom peludi iz biljnog svijeta, metanom i slično [11]. Sve to utječe na pH vrijednost koja se pritom smanjuje, stoga nastaju kisele kiše koje oštećuju građevine, spomenike i šume. Padom na tlo dio prolazi površinom gdje teče preko poljoprivrednih, industrijskih, prometnih i urbanih područja dok dio prodire u tlo kao podzemna voda. Onečišćenje površinskih voda uglavnom uzrokuju otpadne vode poput gradskei industrijske vode, voda koja ispire poljodjelske i prometne površine te odlagališta otpada. U otpadnim vodama mogu biti prisutni anorganski spojevi poput kiselina, lužina, soli, metala, pijeska i slično. Rijetko se pojavljuju u prirodi u visokim koncentracijama, osim nekih tvari koje mogu biti zastupljene u većim koncentracijama poput soli, željeza, sumpora i karbonata. Od organskih spojeva najčešće su prisutni otpaci iz kućanstva, klaonica, šećerana, tvornica papira, ali i brojnih drugih industrija te su stalan oblik onečišćenja vode u prirodi i najviše utječu na količinu odnosno smanjenje kisika u vodi. Poniruć kroz tlo, voda dolazi u dodir sa česticama tla i u sebe prima razne sastojke, što ovisi o geološkim uvjetima i ljudskim aktivnostima na tom području [12]. Kakvoća podzemne vode ovisi o kemijskom sastavu geoloških formacija i topivosti stijena kroz koje voda prolazi. Kako se mijenja kakvoća vode usred tih procesa, mijenja se i mogućnost upotrebe vode. Kakvoća vode određuje se pomoću fizikalnih, kemijskih, bioloških i mikrobioloških pokazatelja koji su bitni za daljnje upravljanje i nadzor vode kao resursa.

2.2.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode

Na fizikalne pokazatelje mogu utjecati onečišćenja kemijskog podrijetla, poput ispuštanja kemikalija u vodu. Fizikalni pokazatelji su:

- raspršene tvari
- mutnoća
- boja
- okus
- miris
- temperatura

Raspršene tvari

Raspršene tvari u vodi mogu biti organskog (mikroorganizmi) ili anorganskog (pijesak, glina) podrijetla. Raspršene tvari su krupnije od otopljenih tvari koje se nalaze u vodi u obliku iona i molekula. Po dimenzijama otopljene tvari su iste veličine ili manje od molekule vode. Prijelaz između raspršenih tvari i otopljenih tvari čine koloidi, sitne čestice veličine 10^{-3} mm. Otopljene i raspršene tvari uzrokuju promjenu boje u vodi dok raspršene tvari i koloidi tvore mutnoću čime voda postaje neupotrebljiva za potrebe ljudskih djelatnosti, razonodu i vodoopskrbu.Sastav i koncentracija raspršenih tvari ovisi o vučnoj sili vode te geološkim, morfološkim i biološkim svojstvima vodenog sustava. Povećana koncentracija raspršenih tvari ukazuje na utjecaj ispuštenih otpadnih voda industrije, naselja, poljoprivrede i drugih antropogenih djelatnosti. Raspršene čestice uzrokuju adsorbiranje iona i molekula drugih štetnih tvari te mogu imati ulogu nosioca kolonija mikroorganizama.

Mutnoća vode

Do mutnoće vode(slika 5)dolazi zbog suspendiranih organskih ili anorganskih tvari u vodi kao i mjehurića plinova. Povećana mutnoća vode sprječava prodiranje svjetlosti, pri čemu dolazi do usporavanja fotosinteze. Posljedica toga je smanjenje količine kisika stoga se povećava zona anaerobne razgradnje organske tvari, čime se stvaraju plinovi neugodna mirisa [13].



Slika 5. Mutnoća vode

Boja vode

Boja vode(slika 6) potječe odrazličitih otopljenih ili koloidnih anorganskih i organskih tvari. Najčešće se radi o otopljenim željeznim ili manganskim solima koje mogu obojati vodu u nijansama crvenkaste do smeđe boje, bjelančevinama, ugljikohidratima, taninskim i huminskim kiselinama koje uzrokuju žuto-smeđu boju i slično. Boja vode od otopljenih tvari naziva se "prava boja" dok se boja koja potječe od raspršenih tvari u vodi naziva "prividna boja". Takve vode nisu povoljne za vodoopskrbu niti za industrijske potrebe poput proizvodnje tekstila, namirnica, boja i papira. Voda koja sadrži organske tvari zaslužne za pravu boju dezinficiranjem klornim spojevima stvara klor-organske spojeve koji uzrokuju neugodan miris i okus i moguće kancerogene bolesti.



Slika 6. Boja vode

Okus i miris

Okus i miris vode također su fizičke manifestacije njezinih bioloških i kemijskih karakteristika. Okus potječe od otopljenih mineralnih soli, ali može biti i posljedica raspadnute organske tvari, proizvoda živih organizama poput algi, otpadnih tvari

industrijskog podrijetla, kao i otopljenih plinova. Najviše ima slane vode koji okus potječe od natrijeva klorida međutim postoje i gorke vode koji okus potječe od magnezijevog sulfata. Miris najčešće potječe od otopljenih plinova poput sumporovodika koji miris podsjeća na miris pokvarenih jaja, metana koji podsjeća na naftu ili amonijaka. Čista voda nema okusa ni mirisa koji se određuju ljudskim osjetilima.

Temperatura

Temperatura vode ovisi o klimatskim prilikama, geološkoj građi terena, vezi podzemnih voda s površinskim vodama i dinamici vode [5]. Povezana je sa temperaturom atmosfere stoga je sklona promjenama tijekom godine. Dnevne promjene temperature utječu na površinske i podzemne vode s razinom vode od 1 do 2 metra ispod površine terena dok sezonske promjene u umjerenom klimatskom pojasu utječu na površinske i podzemne vode s razinom podzemne vode do 20 metara ispod površine. Ispod te dubine nalazi se tzv. neutralni temperaturni sloj i na toj je dubini temperatura podzemne vode konstantna i jednaka prosječnoj godišnjoj temperaturi zraka na površini terena. Rast temperature ovisi o dubini, litološkoj građi stijena, toplinskoj vodljivosti stijena i blizini magmatstkih tijela [5]. Najpogodnija temperatura pitke vode varira između 8 i 12°C.

2.2.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode

Svaka voda sadrži otopljene minerale čija se koncentracija ovisio tome radi li se o površinskoj ili podzemnoj vodi, stoga kemijska svojstva uvelike utječu na uporabu vode. Kemijske tvari u vodi dijele se na 3 skupine:

- tvari koje se nalaze u prirodnim vodama
- tvari koje svojom koncentracijom ili sastavom ne pogoršavaju bitno uporabu vode, ali nisu poželjne u većim količinama
- tvari koje svojom koncentracijom i/ili sastavom čine vodu neupotrebljivom za određene namjene, a mogu biti i otrovne

S obzirom na učestalu promjenu kemijskog sastava vode uslijed antropogenog utjecaja na vodu, izdvojeni su najčešći kemijski pokazatelji koji se određuju kao pokazatelji kakvoće vode:

- ukupno otopljene tvari
- koncentracija vodikovih iona
- alkalitet
- tvrdoća vode
- otopljeni plinovi
- organske tvari
- hranjive tvari
- metali
- ostali kemijski pokazatelji

Ukupno otopljene tvari

Ukupno otopljene tvariu vodi opći je pokazatelj uporabljivosti vode za piće, industrijsku proizvodnju ili navodnjavanje. Kako je voda univerzalno otapalo, veoma je pogodna za otapanje čvrstih tvari, tekućina i plinova. Otopljene tvari nalaze se u obliku molekula ili iona koji nisu ionizirani, a u vodi se javljaju kao posljedica prolaska vode kroz atmosferu, otjecanja vode na površini tla ili u podzemlju. Podzemne vode najčešće sadrže katione kao što su kalcij (Ca^{2+}), magnezij (Mg^{2+}), natrij (Na^{+}) i kalij (K^{+}) te anione poput bikarbonata (HCO_3^{-}), sulfata (SO_4^{2-}) i klorida (Cl^{-}). Voda koja sadrži manje od 500 mg/L otopljenih tvari zadovoljava kriterije za korištenje u kućanstvima, za navodnjavanje i u najvećem dijelu industrijskih procesa. Voda koja sadrži više od 1000 mg/L otopljenih tvari obično sadrži i otopljene minerale u koncentracijama koje joj daju osebujan okus [5]. Takva voda je slankasta ili gorka stoga nije pogodna za piće niti industrijske procese, a zbog mogućeg zaslanjenja zemljišta nije pogodna niti za navodnjavanje. Voda koncentracije otopljenih tvari veće od 1000 mg/L obično je agresivna stoga uzrokuje koroziju na metalnim dijelovima eksploatacijskih objekata i distribucijskih sustava. Ne može se upotrijebiti za piće, navodnjavanje niti industrijske procese.

Tablica 1. Ukusnost vode za piće

Ukusnost vode	Ukupne otopljene tvari (mg/L)
Odlična	< 300
Dobra	300 - 600
Dovoljna	600 - 900

Loša	900 - 1200
Neprihvatljiva	> 1200

Koncentracija vodikovih iona

Koncentracija vodikovih iona određuje otopinu kao kiselu ili lužnatu, što je iznimno bitan pokazatelj kakvoće vode jer mnogi postupci čišćenja voda ovise o pH vrijednosti koja se kreće u granicama od 0 do 14 pri čemu pH niži od 7 karakterizira vodu kiselom, a veći od 7 lužnatom. Vrijednost pH u prirodnim čistim vodama ovisi o karbonatima i hidrogenkarbonatima, ali najviše o ugljičnom dioksidu koji potječe iz atmosfere, od bioloških procesa ili otapanja karbonatnih stijena. Niski pH u čistim vodama posljedica je otopljenog proizvoda biljne razgradnje kao što su humus, fluvijska kiselina i druge organske kiseline te industrijskog otpada. Na pH utječe i temperatura, tako je pri temperaturi od 0°C pH vrijednost jednaka 7,53; a pri temperaturi od +50°C iznosi 6,65. Prirodne vode u granicama su pH vrijednosti od 5,5 do 8,6. Kisele vode djeluju korozivno na metale stoga su svi elementi vodoopskrbnih sustava skloni trošenju. U prirodnim vodama pH vrijednost ovisi o ugljikovom dioksidu, karbonatima i hidrogenkarbonatima. pH vrijednost otpadnih voda ovisi o sadržaju jakih i slabih kiselina/lužina koje se ispuštaju iz industrijskih pogona.

Alkalitet

Voda u dodiru sa kiselinom uzrokuje smanjenje broja slobodnih iona čime se kiselina neutralizira. To se svojstvo vode naziva ***alkalitet***. Do toga procesa dolazi i onda kada je voda potpuno neutralna tj. kada ne pokazuje niti kiseli niti lužnati karakter, što čini temeljno svojstvo kemijskog djelovanja vode. Alkalitet u prirodnim vodama tvore karbonati (CO_3^{2-}), hidrogenkarbonati (HCO_3^-), hidroksidi (OH^-), silikati ($HSiO_3^-$), borati ($H_2BO_3^-$), fosfati (HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$) i hidrogensulfidi (HS^-) koji nastaju otapanjem mineralnih tvari u tlu i atmosferi. Najčešći ioni koji pridonose alkalinitetu vode su hidrogenkarbonati, karbonati i hidroksidi. Alkalitet se izražava u mg/L $CaCO_3$, ali nije ograničen normama za prirodnu i pitku vodu. Upotrebljava se kao pokazatelj kod prirodnih voda koji označava sposobnost voda za neutralizaciju kiselina [6].

Tvrdoća vode

Jedan od primarnih pojmova koji opisuju kvalitativna svojstva vode jest tvrdoća vode. Tvrdoća vode jest mjerilo kapaciteta vode za njeno reagiranje sa sapunom te je određena prisutnošću iona kalcija (Ca^{2+}) i magnezija (Mg^{2+}), koji su ujedno i veoma važni minerali za ljudsko zdravlje. Prisutni su i metalni kationi poput željeza (Fe^{2+}), mangana (Mn^{2+}), stroncija (Sr^{2+}) i aluminija (Al^{3+}), iako je njihov utjecaj skoro pa zanemariv s obzirom na malu zastupljenost u vodi. S obzirom na to kako se vežu ioni, ukupna tvrdoća vode može biti karbonatna, koju čine kalcijevi i magnezijevi ioni tvorećikarbonate i bikarbonate;te nekarbonatna koju uzrokuju ioni kalcija i magnezija tvoreći sulfate, kloride, nitrate te u puno manjoj mjeri borate, jodide i neke druge spojeve. Karbonatna tvrdoća vode naziva se još i privremena tvrdoća jer se zagrijavanjem vode iz kalcijeva i magnezijeva bikarbonata uklanja CO_2uzrokujućitaloženje kalcijevih i magnezijevih karbonata odnosno kamenca koji se taloži na zidovima kotlova i cijevima što rezultira gospodarskim gubicima u industriji (slika 7).



Slika 7. Taloženje kamenca na cijevima

Kemijska jednadžba izdvajanja CO_2 iz hidrogenkarbonata:

$$Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

Kod karbonatne tvrdoće koncentracija polivalentnih metalnih kationa ovisi o alkalitetu vode. Ako je tvrdoća vode veća od alkaliteta, u vodi su osim karbonata i hidrogenkarbonata prisutni i kloridi i sulfati kalcija i magnezija; a ako je alkalitet veći od tvrdoće, u vodi prevladavaju karbonati i hidrogenkarbonati natrija i kalija. Tvrdoj vodi potrebno je više sapuna za stvaranje pjene nego mekoj vodi pa je zbog toga, primjerice za pranje rublja, u tvrdoj vodi potrebno upotrijebiti više detergenta za isti efekt pranja [14]. Natrij, iz sapuna, zamjenjuje metalne katione u tvrdoj vodi tvoreći

netopive spojeve što uzrokuje smanjenje površinske aktivnosti vode. Tvrdoća vode izražava se najčešće u njemačkim stupnjevima, ali i francuskim i engleskimili u mg/L $CaCO_3$. Stupnjevi tvrdoće definiraju se na slijedeći način:

- 1 njemački stupanj tvrdoće = 1 °d = 10 mg/L CaO
- 1 francuski stupanj tvrdoće = 1 °f = 10 mg/L $CaCO_3$
- 1 engleski stupanj tvrdoće = 1 °e = 10 mg/0,7 L $CaCO_3$

Međusobni odnosi uobičajenih stupnjeva tvrdoće su sljedeći [6]:

$$1°njem = 1,79°fran = 1,25°engl = 1,044°SAD = 17,0 \text{ mg/L } CaCO_3$$

Tablica 2. Podjela vode prema tvrdoći

VRSTA VODE	NJEMAČKI STUPNJEVI °d	mg/L $CaCO_3$
Meka	<4	<71,4
Lagano tvrda	4-8	71,4-142,8
Umjereno tvrda	8-18	142,8-321,4
Tvrda	19-30	321,4-535,7
Jako tvrda	>30	>535,7

Vode čija je tvrdoća manja od 50 mg/L smatraju se mekima i mogu se koristiti bez ograničenja dok vode tvrdoće između 50 i 150 mg/L $CaCO_3$ zbog veće potrošnje sapuna/detergenta nisu pogodne za praonice rublja iako se mogu koristit u sve svrhe. Vodi tvrdoće vode veće od 200 mg/L $CaCO_3$ pristupa se različitim tehnološkim procesima omekšivanja čime se tvrdoća vode smanjuje na oko 85 mg/L $CaCO_3$. Temeljni zahtjevi o kakvoći vode u Republici Hrvatskoj dani su u Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/98), Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 182/04), Uredbi o opasnim tvarima u vodama (NN 78/98) i dr [17].

Otopljeni plinovi

Voda se, osim krutih čestica i tekućina, sastoji i od otopljenih plinova koji potječu iz atmosfere, prirodnih ili industrijskih procesa te antropogenih djelatnosti. Kisik, ugljikov dioksid, dušikovi spojevi i sumporovodik plinovi sučija koncentracijase najčešće ispituje, a ovisno o porijeklu vode mogu se ispitati i elementarni vodik, metan,

helij i argon. Kisik je najrasprostranjeniji element na svijetu koji dospijeva u vodu otapanjem iz zraka i fotosintezom. Fotosinteza je proces stvaranja organskih tvari iz vode i ugljikova dioksida uz pomoć sunčeve energije i klorofila iz biljaka pri čemu se izlučuje kisik. Neophodan je za respiraciju aerobnih bakterija i mnogobrojnih organizama u vodi. Pri niskim koncentracijama otopljenog kisika nastaju neugodni mirisi zbog anaerobne razgradnje i nastanka plinova metana, sumporovodika i amonijaka [1]. Porastom temperature i koncentracije kloridnih iona smanjuje se koncentracija otopljenog kisika u vodi. Ugljikov dioksid u vodi se nalazi kao slobodan CO_2, koji se dijeli na "pripadni" i "agresivni",u otopljenim karbonatima i hidrogenkarbonatima ako u vodi postoji "pripadni" CO_2. Kako u kišnici nema hidrogenkarbonata, CO_2 je "agresivan' stoga je kišnica vrlo korozivna. Ako količina otopljenog agresivnog ugljikova dioksida prelazi 15 mg/L, razara betonske konstrukcije te djeluje korozivno na metalne konstrukcije. U krškim vodama nastaju barijere i slapovi, npr. Plitvice, slapovi rijeke Krke; kao posljedica prijelaza hidrogenkarbonata u netopive karbonate ako je ukupan slobodni CO_2 manji od pripadnog (slika 8).



Slika 8. Sedrena barijera na Plitvičkim jezerima

Sumporovodik je otrovan plin, neugodna mirisa po trulim jajima, koji je relativno dobro topljiv u vodi. Nalazi se u vodi kao posljedica razgradnje organske tvari bez nazočnosti kisika ili vulkanske aktivnosti. Kako je dobro topljiv u vodi, disocira na hidrogensulfidni ion (HS^-) i sulfidni ion (S^{2-}):

$$H_2S \leftrightarrow H^+ + HS^- \leftrightarrow 2H^+ + S^{2-}$$

Zbog disocijacije sumporovodika i nastanka vodikova iona (H^+), pH vode se snižava te se povećava agresivnost. U zatvorenim kanalima, malih protoka i brzina, organske tvari se talože na dnu i razgrađuju. Sulfid-ion (S^{2-}) pod utjecajem nekih bakterija može oksidirati u sulfat-ion (SO_4^{2-}), koji dalje uzrokuje koroziju betona [6].

Organske tvari

U prirodnim vodama ***organske tvari*** nalaze se u raspršenom i otopljenom obliku kao posljedica biokemijskih procesa, ispiranja zemljišta oborinskom vodom i ispuštenih gradskih i industrijskih otpadnih voda. Ukupna organska tvar dijeli se na biološki razgradive i nerazgradive tvari. Najznačajnije skupine organskih tvari u otpadnim vodama su:

- bjelančevine (40-60%)
- ugljikohidrati (25-50%)
- masnoće (oko 10%)

Osim navedenog, u otpadnim vodama moguće je naći u manjim koncentracijama i površinski aktivne tvari, hlapljive organske spojeve i pesticide. Bjelančevine su prirodne polimerne tvari koje nastaju međusobnim spajanjem aminokiselina te se sastoje od ugljika, vodika, kisika i dušika. Vrlo su važne za izgradnju tijela, imuniteta, prijenos plinova isastavni su dio biokatalizatora i hormona.Ugljikohidrati su makromolekule sastavljene od ugljika, vodika i kisika najčešće u omjeru 1:2:1 te se dijele na tri skupine: monosaharide, oligosaharide i polisaharide. Imaju veliku ulogu u živim organizmima poput skladištenja energije, glavni su sastojak DNA i RNA, izgrađuju stanične stijenke biljnih stanica, oklope kukaca, rakova i pauka, itd. Prema kemijskom sastavu, masnoće ili lipidi su esteri glicerola i viših masnih kiselina te se ne otapaju dobro u polarnim otapalima poput vode. Masnoće živim organizmima služe kao gradivna tvar i prehrana te su važne kao otapalo vitamina A, D, E i K.

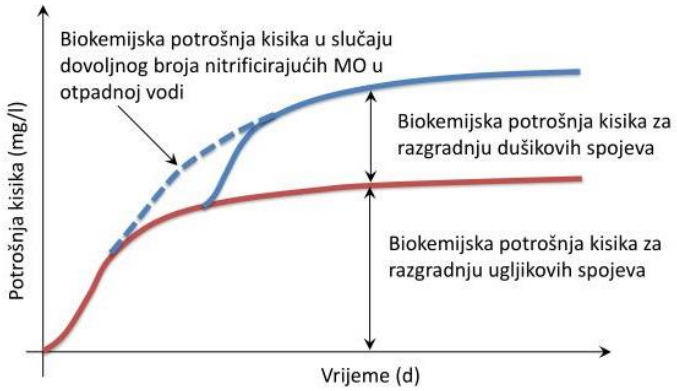
Mikroorganizmi (MO) u vodi koriste biološki razgradivu tvar kao hranu pri čemu dolazi do potrošnje kisika. Voda koja sadrži dovoljno otopljenog kisika omogućava aerobne uvjete za razgradnju organske tvari, dok se u vodi bez otopljenog kisika razgradnja odvija anaerobno. Razgradnja organske tvari rezultira povećanjem količine ugljikovog dioksida koji može smanjiti pH vrijednost te samim time povećati koncentraciju iona željeza i mangana. Neke organske tvari, poput humusa, povećavaju kapacitet kompleksiranja teških metala u vodi. Povećanje koncentracije kompleksirajućih tvari te promjena vrijednosti pH mogu dovesti do pokretanja adsorbiranih metala te tako pogoršati kakvoću vode [6].

U prirodnim vodama nalaze se tanini, ligninske tvari, celuloza, pesticidi i deterđenti koji potječu od antropogenih djelatnosti. Pesticidi su toksične tvari namijenjene suzbijanju štetnih organizama u poljoprivredi te se prema namijeni dijele na: insekticide (protiv insekata), herbicide (protiv korova), fungicide (protiv gljivica), akaricide (protiv grinja), rodenticide (protiv štakora), nematocide (protiv glista) i moluskicide (protiv puževa). Prema kemijskom sastavu, najopasniji su organoklorni pesticidi koji se nakupljaju u masnim tkivima u višim organizmima prehrambenog lanca. Poliklorirani bifenili (PCB) opasne su tvari koje se ne nalaze i u otpadnim industrijskim vodama, dok su organofosforni pesticidi veoma otrovni. Deterđenti su kemijska sredstva za površinsko uklanjanje nečistoća te se najviše primjenjuju u kućanstvima i industriji. Uporabom stvaraju pjenu koja smeta biološkim procesima na uređajima za čišćenje otpadne vode, a u vodnim sustavima sprečavaju razvoj jednostaničnih algi.

Fenol daje neugodan okus vodi te ukazuje na industrijske otpadne vode. Nafta je najčešći derivat ugljikovodika koji se pronalazi u vodi, vrlo spore razgradnje. Ostale znatne količine ugljikovodika u vodi potječu iz industrijskih otpadnih voda i iz oborinskih voda koje ispiru industrijska područja. Stvaraju tanak film na površini vode koji smeta otapanju kisika iz zraka, a male količine daju vodi neugodan miris i okus. Određeni spojevi, poput halogenih i aromatskih ugljikovodika, veoma su opasni za ljudsko zdravlje.

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) pokazatelj je koncentracije organske tvari u vodi odnosno koliko je kisik potreban aerobnim heterotrofnim bakterijama pomoću mikroorganizmima za biokemijsku oksidaciju organske tvari u vodi pri odgovarajućoj temperaturi i određenom vremenu.Potpuna razgradnja organske tvari proces je koji traje veoma dugo. Koncentracija otopljene organske tvari proporcionalna je potrošnji kisika za oksidaciju organske tvari do ugljikovog dioksida i vode. Heterotrofni organizmi prvo razgrađuju spojeve sa ugljikom, zatim autotrofne bakterije spojeve sa dušikom. Tijekom vremenskog perioda od 5 dana razgradi se 60-70% organske tvari, dok nakon perioda od 20 dana dolazi do razgradnje 95-99% ugljikovih spojeva. Dušik prelazi u amonijak tj. u amonijeve ione nakon 6 do 10 dana koliko je potrebno da bi se razvile bakterije koje ih razgrađuju. Nakon 12 dana nitrificirajuće bakterije počinju oksidirati amonijeve ione u dvostupanjskoj reakciji [1].Kako je potpuna biorazgradnja dugotrajan proces, za

potrebe analize uzima se vremenski period od 5 dana i ta vrijednost se izražava kao petodnevna biokemijska potrošnja kisika (BPK_5) u mg/L O_2, pri temperaturi od 20 °C.



Slika 9. Tijek razgradnje ugljikovih i dušikovih spojeva kod BPK

Kako u vodi mogu biti i otopljene organske tvari koje mikroorganizmi ne mogu oksidirati, koriste se i druge analitičke metode poput kemijske potrošnje kisika (KPK). Kemijska potrošnja kisika pokazatelj je nerazgradive organske tvari u vodi tj. predstavlja količinu kisika potrebnu za oksidaciju organske tvari u vodi s jakim kemijskim oksidansom.

Hranjive tvari

Hranjive tvari ili biostimulanti tvari su potrebne za proizvodnju prvoredne organske tvari kao npr. alge i zelene biljke. Dušik i fosfor su spojevi koji ograničavaju rast algi i zelenih biljaka. Dušik (N_2) je plin koji čini $^4/_5$ zraka te se u manjem udjelu pojavljuje u vulkanskim plinovima i mineralnim vodama. Prilikom sijevanja, oksidira u dušikov oksid koji dospijeva u vodne sustave oborinama.Dušik u vodi potječe iz nitratnih, nitritnih i amonijevih iona i iz organskih spojeva sa dušikom.Nitrati u vodi mogu biti prirodnog i antropogenog podrijetla. Prirodno podrijetlo nitrata potječe od mikrobne aktivnosti u tlu i iz geoloških ležišta nitratnih soli koje uzrokuju povišenu koncentraciju nitrata u podzemnim vodama. Prirodne koncentracije nitrata u vodi niže su od 15 mg/L. Veće koncentracije nitrata u vodi potječu od ispiranja poljoprivrednih zemljišta na kojima se koriste mineralna i organska gnojiva, ispuštanja neobrađenih otpadnih voda iz kemijske i prehrambene industrije, procjednih voda iz neuređenih odlagališta čvrstog otpada i nepravilnog odlaganja otpadnih tvari iz septičkih jama.

Nitrifikacija je biokemijski proces kojeg obavljaju autotrofni organizmi i strogi aerobi uslijed kojeg se organska tvar razgrađuje postepeno od amonijaka, preko nitrita do nitrata. Amonijak u vodi pokazatelj je svježeg onečišćenja, ovisi o vrijednosti pH i temperaturi vode te je u ravnoteži sa amonij-ionom (NH_4^+):

$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

Potrebno je 4,57 mg kisika da bi se u potpunosti oksidiralo 1 mg dušika, od amonijaka do nitrata. Tijekom nitrifikacije dolazi do smanjenja količine otopljenog kisika što uzrokuje anaerobne uvjete te dolazi do denitrifikacije koju obavljaju heterotrofni organizmi i to anaerobi. 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 [6].

Amonijak se nalazi u vodi kao otopljeni plin te je, ovisno o pH vrijednosti i temperaturi vode, u ravnoteži sa amonijevim ionom. Amonijak može biti otrovan za neke organizme poput riba, korozivan je za metal, nepoželjan je zbog potrošnje kisika za svoju oksidaciju te je pokazatelj na nedavno onečišćenje dušikovim spojevima. Pri dezinfekciji vode klorom, amonijak i klor tvore spojeve kloramina koji su za neke vodne organizme opasniji od klora. Nitriti,NO_2^- u vodi su otrovni za mlade životinje i djecu, dok veće količine nitrita sadržane u vodi za piće mogu izazvati bolest methemoglobinemiju (metHb) tzv. "plavo dijete". Uobičajena koncentracija metHb u krvi odraslog čovjeka iznosi 1%, a kod djece 2%. Pri 10% metHb-a u krvi dolazi do cijanoze (tijelo poplavi), a 50-60% izaziva smrt. Djeca do 6 mjeseci starosti su najosjetljiviji dio subpopulacije namethemoglobinemiju [1].

Dušikovi spojevi ukazuju na organsko onečišćenje i vrijeme nastanka onečišćenja vode; nitriti razmjerno bliskog, a nitrati davnog onečišćenja organskom tvari. Vode s povišenom koncentracijom nitrata moraju se obraditi fizikalnim ili biološkim procesima prije puštanja u vodoopskrbni sustav. Fosfor u vodi se nalazi u obliku ortofosfata, polifosfata i organski vezanog fosfora. Prirodne vode mogu se obogatiti fosfatima kao posljedica razgradnje organske tvari i ispiranja zemljišta,

pogotovo poljoprivrednih gdje se primjenjuju umjetna gnojiva. Upotrebom deterđenata u kućanstvima i industriji fosfati dospijevaju u otpadne vode, stoga spadaju u značajne izvore fosfata. Fosfati nisi otrovni stoga ne predstavljaju opasnost za ljusko zdravlje, ali se vrlo sporo razgrađuju te povećane količine u prirodnim vodama mogu dovesti do eutrofikacije.



Slika 10. Eutrofikacija vode

Eutrofikacija je niz biogeokemijskih i ekoloških procesa koji dovode do stvaranja većih količina organske tvari nego što ih trofični kapacitet neprilagođenih ekosustava može potrošiti ili nepovratno ukloniti iz sustava. Pojava eutrofikacije u akumulacijama i jezerima jako je opasna jer sam proces ima nepovratni karakter [12]. Dovođenjem veće količine otpadnih voda u poluzatvorene i zatvorene vodne sustave znatno se povećava količina hranjivih soli u ekosustavu, što uzrokuje i povećanje proizvodnje primarne organske tvari, poput fitoplanktona, čime vodni sustav može poprimiti eutrofno stanje. Prirodna eutrofikacija teče jako sporo, ali pod utjecajem antropogenih aktivnosti povećavaju se izvori biogenih elemenata koji ju ubrzavaju. Eutrofikacija utječe na povećanje koncentracije otopljene organske tvari, BPK i KPK te voda dobiva miris i okus.

Metali

Ispiranjem zemljišta i otapanjem minerala u vodi se mogu naći određene količine metala. Veće količine metala posljedice su ispuštanja otpadnih voda industrije, kućanstava te poljoprivrede u vodni sustav. Metali se dijele na neotrovne i otrovne. Teškimetali su metali kojima je gustoća minimalno 5 puta veća od gustoće vode te su vrlo otrovne. Neotrovnimetali kao natrij, željezo, mangan, aluminij, bakar i cink nužni su za život organizama te se nalaze u prirodnim vodama. Soli željeza i mangana nalaze se u podzemnim vodama i donjim slojevima stratificiranih jezera. U slučaju kada nema

dovoljno otopljenog kisika, željezo i mangan nalaze se u obliku dvovalentnih iona (Fe^{2+}, Mn^{2+}), dok uz dovoljne količine otopljenog kisika željezo oksidira u trovalentni ion (Fe^{3+}) te prelazi u netopljive spojeve željezo (III) hidroksida $Fe(OH)_3$, odnosno mangan oksidira u mangan (IV)-ione te prelazi u netopljive spojeve. Manje količine željeza i magnezija ne štete ljudskom zdravlju, ali povećane koncentracije izazivaju neugodan okus i boju vode. Aluminij, bakar i cink imaju relativno malu zastupljenost u prirodnim vodama. Povećane koncentracije bakra i cinka također uzrokuju neugodan okus vode te mogu biti otrovni. Štetan utjecaj metala na žive organizme potječe iz sposobnosti nakupljanja kovina u tkivu organizama. Metali u vodi mogu biti otopljene kao slobodni ioni ili kompleksni spojevi vezani s anorganskim (OH^-, CO_3^{2-}, Cl^-) i organskim ligandima (amini, proteini, humusne tvari). Na metale u vodi utječu temperatura, pH-vrijednost, količina otopljenog kisika, alkalinitet, tvrdoća vode, organske tvari i biološka aktivnost. Slobodni ioni kadmija, bakra i cinka mnogo su opasniji za organizme od drugih oblika, dok su nekimetali znatno opasniji u spojevima sa organskom tvari poput žive ili olova. Otrovnimetali topivi u vodi su barij, krom, srebro od kojih su posebno opasne arsen, kadmij, olovo i živa. U vodnim sustavima za organizme mogu biti opasni i nikal, bakar, cink i molibden koji djeluju otrovno, antigeno i kancerogeno.

Ostali kemijski pokazatelji

Od ostalih kemijskih pokazatelja, u vodi se nalaze i fluoridi, kloridi, sulfati, cijanidi i radioaktivne tvari. Fluoridi se nalaze u površinskim vodama te su u povećanim koncentracijama opasni za zdravlje ljudi i životinjama, a u manjim sprečavaju razvoj karijesa zubi kod male djece. Neki vodonosnici sadrže prirodnu koncentraciju klorida, dok veće koncentracije klorida daju vodi slani okus te ukazuju na mogućnost onečišćenja kemijskim tvarima. Sulfati u vodi mogu biti posljedica otapanja mineralnih naslaga i oksidacije sulfida. Veće količine sulfata u vodi mijenjaju okus vode i razaraju cement tj. betonske objekte. Cijanidi su vrlo opasni otrovi i njihova količina upozorava na onečišćenost otpadnom tvari.

2.2.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode

Biološko stanje vodnih sustava temelji se na promjenama u ekosustavima koje nastaju kao posljedica izmijenjenih abiotskih činitelja. Kako nije moguće odrediti

kakvoću vode samo na temelju kemijskih pokazatelja, određuju se i biološki pokazatelji. Kakvoća vode ovisi o vremenu i načinu uzimanja uzoraka zbog konstante promjene koncentracije otpadnih tvari u vodama, naročito kod vodotoka. Prilikom promjene koncentracije otpadnih tvari ili stalnim pritokom malih količina energije ili tvari, mijenjaju se i uvjeti staništa što utječe na organizme prisutne u tom ekosustavu tako da može doći do smanjenja ili potpunog nestanka određene vrste koje su osjetljive na promjene abiotskih činitelja, dok će se neke sasvim nove i otpornije vrste razvijati.Životne zajednice ekosustava sastavljene su od brojnijih vrsta sa malobrojnijim jedinkama i malobrojnijih vrsta sa brojnijim organizmima, dok su životne zajednice poremećenih ekosustava sastavljene samo od malobrojnih vrsta s brojnijim jedinkama.

Istraživanja koja utvrđuju utjecaj promjena u vodnom sustavu nastalih u određenom intervalu vremena nazivaju se biološka istraživanja, a organizmi na kojima je moguće primijetiti promjenu staništa nazivaju se biološki pokazatelji. Na temelju bioloških pokazatelja pretpostavlja se stanje pojedinih staništa i ocjenjuje se stanje promatranog vodnog sustava, pod pretpostavkom da su određene vrste organizama vezane za sastav i koncentraciju tvari u vodi. Biološki pokazatelji koji se određuju:

- stupanj saprobnosti
- stupanj biološke proizvodnje
- mikrobiološki pokazatelji
- stupanj otrovnosti
- indeks razlike

Stupanj saprobnosti

Saprofagi, najčešće bakterije i plijesni, organizmi su koji razgrađuju biološki razgradive spojeve, koriste ih za hranu te ispuštaju anorganske tvari. Tijekom razgradnje organske tvari troši se otopljeni kisik, što dovodi do promjene procesa od aerobnog do anaerobnog i samim time mijenja se kemijski sastav vode. Kao što je spomenuto, promjena uvjeta staništa utječe na žive organizme tako da pojedine vrste odumiru ili se razvijaju ovisno o kakvoći vode. Promatrajući pojedine vrste organizama koje žive u pojedinim dijelovima vode moglo bi se zaključiti o stupnju onečišćenja vode. Liebmann je 1942. godine predložio kao pokazatelje saprobnosti bentoske organizme [6]. Tako su nastali ***stupnjevi saprobnosti***:

- oligosaprobni
- beta-mezosaprobni
- alfa-mezosaprobni
- polisaprobni

Oligosaprobna zona je zona u kojoj ima dovoljno otopljenog kisika, voda ima veliku poroznost i ukupni broj bakterija je manji od 100 u 1 cm^3 vode. Organizmi koji žive u toj zoni nazivaju se oligosaprobni organizmi i osjetljivi su na promjenu pH-vrijednosti, količinu otopljenog kisika i sadržaj organskih tvari. Takve vode kategorizirane su po kakvoći I. vrste, čiste su ili neznatno onečišćene i svojstvene su za planinske potoke i jezera. Beta-mezosaprobna zona je zona malog onečišćenja vode i aerobnih uvjeta, izraženog poroziteta vode i dovoljnom količinom otopljenog kisika, a broj bakterija je manji od 100 000 u 1 cm^3 vode. Beta-mezosaprobi, kao i oligosaprobi, ne podnose promjenu pH-vrijednosti, količinu otopljenog kisika i sadržaj organske tvari. Spadaju u II. vrstu kakvoće vode i karakteristične su za veća jezera i donje tokove većih nezagađenih rijeka.

Alfa-mezosaprobna zona je zona većeg organskog onečišćenja, sa brojem bakterija većim od 100 000 u 1 cm^3 vode. Dolazi do povećanja koncentracije otopljenog kisika kao posljedica jake razgradnje organske tvari i fotosinteze. U dnevnim satima stupanj zasićenosti kisikom prelazi 130%, a u noćnim satima se jako smanjuje i pada do 80% [6]. S obzirom na veliku količinu hrane, sadrže i velik broj organizama poput bakterija, modrozelenih i zelenih algi i protozoa. Alfa-mezosaprobi prilagođeni su promjenama pH-vrijednosti i količini otopljenog kisika, nisu osjetljivi na amonijak, ali na sumporovodik jesu. Kategorizirane su kao III. vrsta kakvoće vode i svojstvene su za riječne rukavce sa slabijom izmjenom vode, onečišćene vodotoke, bare i melioracijske kanale.

Polisaprobna zona je zona jako onečišćene vode anaerobnih uvjeta, nastalih velikom razgradnjom organske tvari. Nema otopljenog kisika u takvim vodama, ukupan broj bakterija veći je od 150 000 u 1 cm^3 vode, velike su koncentracije sumporovodika kao posljedica truljenja; voda je mutna, obojena i izraženog mirisa. Polisaprobi su organizmi koji žive u takvim vodama te su prilagođeni promjeni pH-vrijednosti, maloj količini otopljenog kisika i otporni na amonijak i sumporovodik. Od organizama opstaju malobrojne vrste brojnih jedinki poput algi i malog broja modrozelenih algi. Takve

vode kategorizirane su kao IV. vrsta kakvoće vode i to su jako onečišćeni vodotoci, dijelovi potoka i rijeka nizvodno od izljeva kanala otpadnih voda.

Stupanj biološke proizvodnje

Još jedan biološki pokazatelj kakvoće vode je ***stupanj biološke proizvodnje***, koji ovisi o trofikaciji tj. raspoloživoj hrani. Oligotrofne vode su vode siromašne hranjivim solima, dok su eutrofne vode bogate hranjivim solima. Do trofikacije u prirodnim vodnim sustavima dolazi zbog donošenja hranjivih tvari sa sliva, kao posljedica potresa ili šumskih požara, te kruženjem biogenih tvari u sustavu. Značajne količine hranjivih tvari mogu imati i antropogeno podrijetlo, pri čemu se tako nastala povećana trofikacija naziva "kulturna eutrofikacija" ili "umjetna eutrofikacija". U usporedbi sa prirodnom eutrofikacijom, koja se razvija vrlo sporo, kulturna eutrofikacija nastaje u kratkom razdoblju sa vrlo neugodnim posljedicama. Podjela prema stupnju trofije glasi: siromašne hranjivim solima (oligotrofne i ultraoligotrofne), srednje bogate hranjivim solima (mezotrofne) i bogate hranjivim solima (eutrofne i hipereutrofne). Postoji mogućnost pojave procesa eutrofikacijekad se poveća temperatura i koncentracija hranjivih soli, uz prisustvo ostalih činitelja eutrofikacije, u pojedinim dijelovima priobalnog mora sa slabijom izmjenom vodene mase.

Tablica 3. Pokazatelji eutrofikacije Jadranskog mora

Pokazatelj	Stupanj trofije			
	Oligotrofan	Mezotrofan	Eutrofan	Hipereutrofan
Prozirnost	>10	3-10		<3
Obojenost	rijetka	povremena		uobičajena
Zasićenost kisikom (%) - Na površini - Pri dnu	80-100	 80-100 30-80		 100-200 0-30
Ukupan anorganski dušik N (m mol/m^3)	<30	30-140		140-1400
Ukupan fosfor P (m mol/m^3)	<10	10-20	20-40	>40
Klorofil ''a'' mg/m^3	<1	1-5	5-10	>10
Mikrofitoplankton broj stan/l	<10^3	10^3-10^6	10^6-10^8	>10^6

Kada su vrijednosti pokazatelja veće od navedenih tijekom dužeg vremenskog perioda, dolazi do eutrofikacije u promatranom području priobalnog mora. Povećanje

biološke proizvodnje onemogućava uporabu vode za vodoopskrbu, dok eutrofno stanje vode onemogućava uporabu vode za kupanje i razonodu. Razvojem industrije, naročito kemijske, dolazi do povećanja kemijskih spojeva u prirodi koji mogu biti izuzetno štetni za žive organizme; a uslijed raznih fizikalnih, kemijskih i biokemijskih procesa nastaju i novi spojevi koji mogu biti i opasniji od prvobitnih spojeva. Opasne tvari ugrađuju se u stanična tkiva nižih organizama čime ulaze u prehrambeni lanac gdje predstavljaju opasnost za organizme višeg reda (uključujući i čovjeka), zbog povećanja koncentracije opasnih tvari.

Stupanj otrovnosti

Kako dopuštene koncentracije pojedinih onečišćivača nisu uvijek određene na temelju strogih istraživanja, sastav vode zapravo poznat stoga se umjesto određivanja otrovnosti pojedinih sastojaka određuje samo ***stupanj otrovnosti***.

Indeks razlike

Indeks razlike služi za prikazivanje strukture životne zajednice matematičkim izrazom te proizlazi iz činjenice da su određene vrste zastupljene, odgovarajućeg broja jedinki, u pojedinim životnim zajednicama. Raščlambom pojedinih vrsta i njihovih populacija mogu se odrediti pravci promjene strukture životne zajednice kao utjecaj okoliša ekosustav [6]. Ukoliko dođe do unosa otpadnih tvari u ekosustav, doći će do promjene prirodne ravnoteže te će osjetljivije vrste uginuti dok će se one prilagodljive razvijati.Indeks razlike nije dovoljan pokazatelj za određivanje stanja vodnog sustava, ali može biti koristan za složena biološka ispitivanja kao jedan od pokazatelja promjena u ekosustavu uzrokovanih antropogenim djelovanjem.

2.2.4. Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode

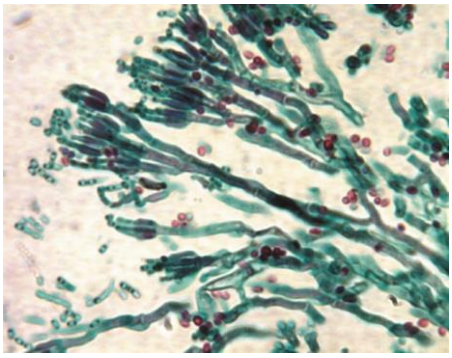
Biološki pokazatelji u velikoj mjeri ovise o prisutnosti različitih mikroorganizama poput bakterija, gljiva, rikecija, algi, virusa i protozoa.Bakterije (slika 11) su jednostanični heterotrofni i autotrofni prokarioti koji mogu biti različitog morfološkog oblika (štapići, koki, spirale), veličine od 0,5 – 3,0 μm, obavljati sve životne funkcije poput disanja, hranjenja i razmnožavanja, te su prisutni svugdje u okolišu, obično u neutralnom području pH-vrijednosti. Autotrofne bakterije su bakterije koje iskorištavaju CO_2 kao izvor ugljika, a heterotrofne bakterije iskorištavaju organske spojeve. Aerobne

bakterije trebaju otopljeni kisik za oksidaciju organskih tvari, dok anaerobne oksidiraju organsku tvar bez kisika. Odgovorne su za oksidaciju i transformaciju organske tvari te su najbrojniji mikroorganizmi, s više od 300 sojeva.



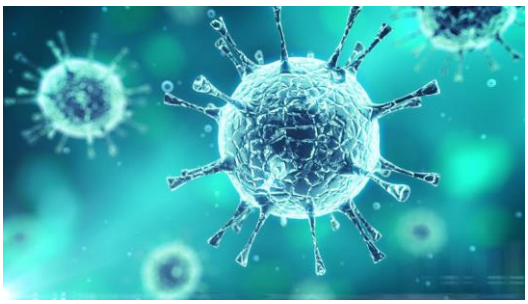
Slika 11. Bakterije

Gljive ili fungi (plijesni i kvasci) su aerobni heterotrofni eukarioti koji koriste organsku tvar kao izvor ugljika te rastu pri nižim pH vrijednostima, pH=5. Plijesni (slika 12) su saprotrofi koji žive na organskim tvarima, razmnožavaju se najčešće sporama ili fragmentima hifa i tvore nitaste strukture dužine od 300 do 1000 μm. Kvasci su aerobne jednostanične gljive koje se razmnožavaju pupanjem, a u laboratorijski anaerobnim uvjetima proizvode alkohol i CO_2. Do pojave obilnog rasta gljiva dolazi prilikom promjena uvjeta poput pada pH vrijednosti ispod 6, pojavom toksičnih spojeva ili nedostatka dušika u otpadnoj vodi. Rikecije su mikroorganizmi slični bakterijama i virusima. Oblikom, veličinom i načinom razmnožavanja sliče bakterijama te poput virusa obitavaju samo na živim stanicama. Alge su autotrofni eukarioti koji tijekom fotosinteze oslobađaju kisik i klasificiraju se po boji pigmenta koji sadrže, poput zelene, žute, zlatno-smeđe i modro-zelene. Bujanje algi uzrokovano je porastom dušika i fosfora, što još uzrokuje i eutrofikaciju vode. Vodi daju neugodan okus i miris, stoga nisu poželjne u vodocrpilištima.



Slika 12. Plijesni

Virusi (slika 13) su najjednostavnija i najmanja živa bića koja se mogu vidjeti samo pod elektronskim mikroskopom. Razlikuju se veličinom, oblikom i kemijskom građom, a razmnožavaju se na živim stanicama tkiva ljudi, životinja i biljaka. Protozoe ili praživotinje jednostanični su eukarioti, a u životinje se ubrajaju zbog mogućnosti probavljanja čvrste hrane gutanjem ili usisavanjem. Prema pokretljivosti razlikuju se plivajući, puzajući i pričvršćeni trepetljikaši i plivajući bičaši. Veće su od bakterija, hrane se koloidnim otpadom, bakterijama, jedne drugima i ostalim sitnijim organizmima te utječu na smanjenje BPK vrijednosti.



Slika 13. Virusi

Porijeklo mikroorganizama može biti i iz probavnog sustava životinja i ljudi, od ispiranja zemljišta ili iz otpadnih voda. Fekalni mikroorganizmi mogu biti patogeni odnosno mogu izazvati bolesti kod ljudi i životinja, dok u drugačijim uvjetima za razmnožavanje (temperatura, koncentracija vodikovih iona, osmotski tlak i sl.) dolazi do smanjenja broja mikroorganizama. Većina patogenih mikroorganizama ima dug životni vijek u vodnim sustavima, zbog čega su opasni za ljudsko zdravlje pogotovo ako se nalaze u vodi koja se koristi za vodoopskrbu stanovništva, poljoprivredu ili razonodu. Bolesti mogu prouzročiti patogeni mikroorganizmi poput nekih vrsti bakterija, virusa, plijesni, protozoe i mnogi jetreni i crijevni organizmi (helminti).

Tablica 4. Bolesti koje se prenose vodom

Bakterije	trbušni tifus, paratifus, bacilarna dizenterija, kolera, tularemija, gastroentitis, legionarska bolest
Virusi	hepatitis A, poliomijelitis, gastroentitis
Spirohete	leptospiroze
Protozoe	amebna dizenterija, amebni meningoencefalitis, giardiaza, kriptosporidoza
Helminti	trihurijaza, ascardioza, shistomijaza, drakulijaza
Insekti – vektori	malarija, denga, žuta groznica, West Nile groznica

bolesti	

Većina navedenih bolesti prenosi se fekalnooralnim putem, odnosno konzumacijom vode, no neke od njih se prenose udisanjem vodenog aerosola (tuširanje, prskanje), kao legionarska bolest, ili preko kože, kao leptospiroza, ili je povezanost bolesti s vodom uvjetovana razvojnim ciklusom insekta prijenosnika u vodi, kao što je to kod bolesti koje prenose komarci [18].

Kako je utvrđivanje patogenih organizama dugotrajan i skup proces, određuju se patogeni za koje se pretpostavlja da se nalaze u vodi. Stanje kakvoće vode utvrđuje se "organizmom pokazateljem" čije prisustvo upućuje na to da se u vodi mogu nalaziti patogeni organizmi. Organizmi pokazatelji koji se najčešće primjenjuju su koliformni organizmi, preciznije "ukupni koliformi" i "fekalni koliformi". Koliformne bakterije čine skupinu gram-negativnih bakterija, sastavni su dio crijevne flore, ne izazivaju bolest u crijevima nego pridonose normalnoj probavi te prelaze u patogene samo ako dospiju u tkiva izvan probavnog sustava. Pod ukupne koliformne organizme spadaju fekalne bakterije poput *Escherichia coli* porijekla iz probavnog sustava te koliformne bakterije koje se razvijaju i u tlu, kao što su *Enterobacter* (*Aerobacter*), *Seratia marcescens*, *Providencia* i dr. stoga je teško odrediti porijeklo bakterija pri utvrđivanju ukupnih koliformnih bakterija.

Korištenjem pokazatelja "fekalni koliformi" (*E. coli*, bakterije enterokoki ili fekalni streptokoki) sa sigurnošću se utvrđuje antropogeno i životinjsko fekalno porijeklo mikrobiološke onečišćenosti u vodi. Streptokoki su gram-pozitivni kuglasti mikroorganizmi koji postaju patogeni ako dospiju u druge dijelove organizama, osim crijevne flore ljudi i životinja čiji su enterokoki sastavni dio. Fekalna bakterija *E. coli* ovisna je o promjeni kisika u sloju vodenog sustava najbližem dnu te samim time redukcijom sulfata.

2.3. METODE ODREĐIVANJA

Uzorkovanje i određivanje kakvoće vode provodi se u laboratorijima definiranim metodama ispitivanja, a pokazatelji koji se ispituju mogu biti fizikalno-kemijski, kemijski, biološki, mikrobiološki, ekotoksikološki i hidromorfološki. Uzorkovanje voda provodi se prema međunarodnim normama za uzrokovanje ISO 5667

(International Organization for Standardization). Tako, na primjer, norma HRN ISO 5667-4 [19] daje upute za uzorkovanje vode prirodnih i umjetnih jezera, HRN ISO 5667-5 [20] za uzorkovanje iz uređaja za pročišćavanje i cjevovodnih opskrbnih sustava, HRN EN 5667-10 [21] za uzorkovanje otpadnih voda, HRN EN 5667-11 [22] za uzorkovanje podzemnih voda, itd.Ispitivanje pH vrijednosti vode provodi prema HRN EN ISO 10523 [23], ispitivanje boje prema HRN EN ISO 7887 [24], određivanje električne vodljivosti prema HRN EN 27888 [25], određivanje određenih elemenata u vodi metodom ICP-OES prema HRN EN ISO 11885 [26] i druge [27].Temelj uzorkovanja i određivanja kvalitete vode jest reprezentativni uzorak odnosno uzorak koji posjeduje sva obilježja cjeline iz koje je uzet, poput kemijskog sastava i veličine čestica. Da bi se reprezentativni uzorak dobio potrebno je zadovoljiti nekoliko uvjeta kao što su homogenost populacije, stabilnost uzorka i sigurnost. Uzorkovanje ovisi o količini materijala iz kojeg se uzima uzorak, agregatnom stanju uzorka te kemijskim svojstvima uzorka.O svakom uzetom uzorku mora se voditi evidencija, u koju se obavezno unosi:

- vrsta i svrha zahtijevane analize
- vrsta vode (površinska, podzemna, otpadna i dr.)
- oznaka mjesta uzimanja uzorka
- datum uzorkovanja (dan, sat)
- oznaka uzorka (broj)
- temperatura zraka, atmosferski tlak, vrijeme prije i za uzorkovanja
- način uzorkovanja i uvjeti pri uzorkovanju
- boja, miris i izgled vode
- način konzerviranja uzorka
- količina uzetog uzorka
- ime i potpis osobe koja je uzela uzorak [12].

Kako sekakvoća vode određuje na temelju analize uzorka vode, od velike je važnosti da uzorkovanje bude primjereno budućim ispitivanjima te da taj uzorak bude kvalitetno i precizno prikupljen. Uzorkovanje može biti trenutno, u pravilnim vremenskim razmacima, pri specifičnim uvjetima ili kompozitno (predstavlja izmiješani uzorak uzet u pravilnim razmacima) te se vrši na mjestu najjačeg protoka.

2.3.1. Fizikalni pokazatelji

Raspršene tvari izražavaju se količinom raspršenih tvari u jedinici volumena vode (mg/L, g/m^3), a mogu se odrediti u laboratoriju čime se dijele na taložive i netaložive. Taložive raspršene čestice su one koje se u vremenu od 60 minuta istalože na dnu posude u obliku stošca zvanog Imhoffov stožac (slika 14) [6].



Slika 14. Imhoffov stožac

Mutnoća se mjeri turbidimetrima i izražava se u mg/L SiO_2 ili jedinicama NTU. Turbidimetar (slika 15a) radi na principu fotoelektričnog mjerenja intenziteta svjetlosti propuštene kroz suspenziju, a rezultati se prikazuju baždarnom linijom.

Boja vode mjeri se spektrometrijski odnosno kolorimetrijski te se izražava u mg/L Pt-Co ljestvice (slika 15b). Izvor svjetla osvjetljava uzorak, a reflektirano svjetlo s površine mjeri se spektralno te se rezultati prikazuju na mjeraču ili računalu.



Slika 15. a) Turbidimetar **b)** Kolorimetar

Temperatura se mjeri termometrima (slika 17), a izražava se u stupnjevima Celzijusa (°C) i/ili u Kelvinima (K).



Slika 17. Termometar

2.3.2. Kemijski pokazatelji

Ukupno otopljene tvari mjere se pomoću električne vodljivosti vode ili, najčešće, gravimetrijski. Gravimetrijske metode zasnovane su na mjerenju mase tvari koja se tokom analize izdvaja u obliku teško topivog taloga. Postupak se sastoji od taloženja,, filtriranja i ispiranja, sušenja ili žarenja, vaganja i izračuna (slika 18). Izražava se u mg/L suhe tvari.



Slika 18. Žarenje u porculanskom lončiću

Koncentracija vodikovih iona mjeri se elektrometrijskom metodom pomoću pH metra (slika 19).



Slika 19. pH metar

Tvrdoću vode moguće je ukloniti ionskim izmjenjivačima tj. spojevima koji omogućuju reverzibilnu zamjenu iona. Na temelju funkcionalnih skupina koje omogućuju zamjenu iona, razlikujemo kationske i anionske izmjenjivače. Kationski izmjenjivači iona mogu sadržavati jako kisele ($-SO_3H$) ili slabo kisele (-COOH) funkcionalne skupine dok funkcionalne skupine anionskih izmjenjivača mogu biti jako bazične ($-NR_3^+$) ili slabo bazične (-NRH).

Otopljeniplinovi u vodi, kao što su sumpor i ugljikov dioksid, mjere se elektrometrijskim metodama, dok se kisik mjeri titrimetrijom ili kisikovom elektrodom.

Organske tvari određuju se biološkom potrošnjom kisika (BPK) i kemijskom potrošnjom kisika (KPK).BPK vrijednost se koristi za određivanje količine kisika potrebne za biološku oksidaciju tvari u otpadnim i onečišćenim vodama. Koristi se najviše za mjerenje opterećenja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i procjenu uspješnosti uklanjanja tvari koje za svoju razgradnju u sustavu pročišćavanja koriste kisik. Prisutnost tvari štetnih za mikroorganizme, promjena pH vrijednosti i stvaranje nerazgradljivog međuproizvoda izmijene tvari mogu znatno utjecati na određivanje BPK_5 vrijednosti. KPK se izračunava iz potrošnje kalijeva permanganata ($KMnO_4$) ili kalijeva bikromata ($K_2Cr_2O_7$), a izražava u mg/L O_2. Nepoznatom uzorku vode podvrgnutom analizi potrebno je izračunati omjer vrijednosti KPK/BPK_5 kojim se određuje je li moguće ispitivanu vodu podvrgnuti biološkom procesu obrade. Ako je omjer KPK/BPK_5 manji ili jednak od 2, voda je biološki razgradiva; a ako je omjer KPK/BPK_5 veći ili jednak od 2, voda nije biološki razgradiva. Moguće je rezultate analize prikazati i omjerom BPK_5/KPK tako da je omjer jednak ili veći od 0,5, voda je biološki razgradiva, a omjerom manjim od 0,5 voda nije biološki razgradiva. Nerazgradive organske tvari procjenjuju se prema količini ukupnog organskog ugljika (TOC) u vodi koji se mjeri analizatorom.

Hranjive tvari koje se određuju su amonijak, dušik i fosfor. Za određivanje amonijaka u vodi koristi sne kolorimetrijski postupak Nesslerovim reagensom ili Wagnerova metoda.Za određivanje ukupnog dušika u vodi primjenjuje se Kjeldahlova metoda, svi prisutni oblici dušika pretvaraju se u amonijak digestijom s kalijevom sulfatom i sulfatnom kiselinom uz SeO_2 kao katalizator, zatim se nastali amonijak mjeri spektrofotometrijski [12]. Za određivanje ukupnog fosfora potrebno je prvo spaliti

uzorak koncentriranom sulfatnom kiselinom i vodikovim peroksidom, zatim volfram-molibdenovim reagensom odrediti ukupnu količinu nastalih ortofosfata.

Metali se određuju atomskom apsorpcijom i spektrofotometrijom, a izražavaju u mg/L.

2.3.3. Biološki pokazatelji

Temeljem prisutnosti indikatora i njihovog broja u uzorku izvode se matematički izračuni pomoću različitih metoda. Na primjer, Pantle-Buck-ova metoda se temelji na ispitivanju svih živih organizama životne zajednice tako da se organizmi određuju kvalitativno, prema sastavu i kvantitativno, prema broju jedinki. ***Saprobni indeks*** određuje se prema:

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

Pri čemu je:

s – saprobiološka vrijednost svake vrste (od 1-4),

h – kvantitativno postojanje vrste u vodi (od 1-9); od malobrojnih do vrlo brojnih.

Tablica 5. Odnos stupnja saprobnosti i indeksa saprobnosti (s)

Stupanj saprobnosti	Saprobni indeks "s"
Ksenosaprobni	0,0-0,5
Oligosaprobni	0,5-1,5
Beta-mezosaprobni	1,5-2,5
Alfa-mezosaprobni	2,5-3,5
Polisaprobni	3,5-4,0

Pokazatelji stanja trofije su ukupan fosfor (mgP/m^3), klorofil (mg/m^3), ukupan broj stanica (broj/L), organska proizvodnja ($gC/m^2 \times god$) i prozirnost (m). Međusobnom usporedbom vrijednosti pokazatelja moguće je procijeniti stanje trofije tj. ***stupanj biološke proizvodnje*** pojedinog vodnog sustava.

Stupanj otrovnosti određuje se biotestovima, sa određenom skupinom organizama u ispitivanoj vodi. Pomoću biotestova određuje se:

- koncentracija određenih tvari kada ugiba 50 % ispitivanih organizama u određenom vremenu (srednja smrtonosna koncentracija – L_{50}),
- najveća koncentracija kad se ne opaža učinak na ispitivane organizme tijekom 96 sati (srednja granica podnošljivosti – TL_m) [6].

Vrsta organizma i fizikalno-kemijski uvjeti pod kojima se biotest obavlja potrebno je pomno odabrati, s obzirom na to da se pojedine vrste organizama različito ponašaju prema štetnim i opasnim tvarima, stoga biotest i TL_m vrijednosti nisu jednoznačne vrijednosti. Srednja granica podnošljivosti pokazuje akutnu otrovnost otpadne tvari u laboratorijskim uvjetima, s time da dobivene vrijednosti ne označavaju koncentraciju otpadne tvari kao neopasnu za različite organizme. Biotestovi dužeg vremenskog perioda (30-200 dana), za istraživanje utjecaja male koncentracije opasnih i štetnih tvari, ne primjenjuju se često.

Minimum ***indeksa razlike*** definira se u slučaju da su svi organizmi iste vrste, a maksimum ako svaki organizam pripada drugoj vrsti. Najčešća jednadžba koja se primjenjuje:

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

gdje je:

N_i – broj organizama i-te vrste

N – ukupan broj organizama

s – ukupan broj vrsta.

Okvirne veličine u kojima se kreće indeks razlike:

- veliko onečišćenje $H' < 1,0$
- umjereno onečišćenje $H' = 1,0 – 3,0$
- čista voda $H' > 3,0$

mogu se primijeniti kao gruba procjena stanja vodnog sustava.

2.3.4. Mikrobiološki pokazatelji

Broj organizamapokazatelja u vodi određuje se kao broj organizama utvrđen membranskom filtracijom te se označava kao "najvjerojatniji broj". Već duži period istražuju se mikrobiološki pokazatelji koji bi bili pouzdaniji od koliformnih organizama i jednostavniji za određivanje kako bi se izbjegle situacije u kojima su analize "organizama pokazatelja" pokazivale da su vode zdravstveno sigurne, a naknadnim testiranjima je utvrđeno da postoje patogeni organizmi u tim vodama. Na temelju ispitivanja za utvrđivanje patogenih organizama u vodi, bakteriofagi (virusi određenih vrsta bakterija) su dobri pokazatelji stoga se smatra da bi se njihovom primjenom mogli postići bolji rezultati utvrđivanja zdravstvene povoljnosti vode u situacijama kada postoji manji broj patogenih organizama ili ih nije moguće izdvojiti u redovnim ispitivanjima.

2.4. ZAKONSKA REGULATIVA

Temeljni dokumenti zaštite voda u Republici Hrvatskoj su *Zakon o vodama NN 153/09, 130/11, 53/13, 14/14* i *Strategija upravljanja vodama NN 91/2008*,kojima se na nacionalnoj razini definiraju mjere zaštite voda od onečišćenja te planiranje i gospodarenje vodom kao resursom. Kako Hrvatska obiluje podzemnim i površinskim vodama, potrebno je osigurati da institucije zadužene za upravljanje vodama imaju ovlasti i obvezu osmisliti kvalitetna rješenja za očuvanje vodnog sustava, koja proizlaze iz koncepta održivog razvoja.Održivi razvoj u Republici Hrvatskoj počiva na:

- racionalnom upravljanju prirodnim resursima,
- očuvanju ekoloških sustava o kojima ovisi ukupna kakvoća života sadašnjih i budućih naraštaja uz očuvanje bioraznolikosti,
- uklanjanju nejednakosti koje štete socijalnoj koheziji, pravdi i sigurnosti,
- ostvarenju predviđenog gospodarskog rasta,
- integriranju u globalno društvo, uz egzistenciju vlastitog identiteta.

Prema *Strategiji upravljanja vodama* (NN 91/2008) [28], prioritetni zadatak vodnog gospodarstva jest izrada planskih dokumenata svih razina za upravljanje i gospodarenje vodama, uključujući i one koji proizlaze iz procesa približavanja Europskoj uniji. Također, od vodnog gospodarstva traži se odgovarajuća razina usluga u funkciji zdravlja i sigurnosti stanovništva, proizvodnje hrane i razvoja drugih gospodarskih

djelatnosti, te zaštite ekosustava i vodnog okoliša u cjelini. To podrazumijeva brigu za prostorni raspored i stanje količina i kakvoće voda i izgrađenost vodnoga sustava na način koji odgovara potrebama ukupnoga državnog prostora i svakoga vodnog i slivnog područja. Potrebno je uskladiti pojedinačne zahtjeve raznih korisnika (stanovništvo, gospodarstvo, okoliš) i pomiriti ih s mogućnostima prirodne, izgrađene i upravljačke komponente vodnog sustava [28].

Prema *Zakonu o vodama* (NN 153/09, *Upravljanje vodama,* članak 4.) [29], upravljanje vodama čine svi poslovi, mjere i radnje koje na temelju ovoga Zakona i zakona kojim se uređuje financiranje vodnoga gospodarstva poduzimaju Republika Hrvatska, Hrvatske vode, jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave radi postizanja ciljeva iz članka 4. ovoga Zakona, osim poslova, mjera i radnji u djelatnostima detaljne melioracijske odvodnje, javnoga navodnjavanja i vodnih usluga.Ciljevi upravljanja vodama su:

1. osiguranje dovoljnih količina kvalitetne pitke vode za vodoopskrbu stanovništva,

2. osiguranje potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za različite gospodarske i osobne potrebe,

3. zaštita ljudi i njihove imovine od poplava i drugih oblika štetnog djelovanja voda

4. postizanje i očuvanje dobrog stanja voda radi zaštite života i zdravlja ljudi, zaštite njihove imovine, zaštite vodnih i o vodi ovisnih ekosustava.

Zaštita i korištenje voda temelji se na načelu predostrožnosti, poduzimanja preventivnih mjera, otklanjanja štete nanijete vodnom okolišu na mjestu njezinog nastanka te načelima "onečišćivač plaća", odnosno "korisnik plaća" [29].Ostvaruje se donošenjem propisa, nadzorom kakvoće voda i izvorima onečišćivanja, kontrolom onečišćenja, zabranom ispuštanja onečišćujućih tvari u vodu i drugih radnji koje mogu uzrokovati onečišćenje vodnog okoliša, gradnjom i upravljanjem građevinama odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda te drugim mjerama očuvanja i poboljšanja kakvoće vode. Vlada Republike Hrvatske propisuje standard kakvoće vode za površinske, podzemne,

priobalne vode i vode teritorijalnog mora. Za potrebe *Direktive kakvoće vode za piće* (1998.) [31], 'voda namijenjena za ljudsku potrošnju' označava:

- svu vodu, u njenom izvornom stanju ili nakon obrade, koja je namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge potrebe domaćinstava, neovisno o njezinom podrijetlu te o tome opskrbljuju li se ljudi njome iz distribucijske mreže, cisterne ili u bocama odnosno posudama za vodu,
- svu vodu koja se rabi u bilo kojim poduzećima za proizvodnju hrane u svrhe proizvodnje, obrade, očuvanja ili stavljanja na tržište proizvoda ili tvari namijenjenih za ljudsku potrošnju osim ukoliko nadležne nacionalne vlasti nisuuvjerene kako kakvoća vode ne može utjecati na zdravlje prehrambenih proizvoda u njihovome konačnom obliku.

Države članice EUmoraju poduzeti sve neophodne mjere kako bi osigurale provedbu redovnog praćenja kakvoće vode namijenjene za ljudsku potrošnju s ciljem provjere udovoljava li voda dostupna potrošačima zahtjevima ove Direktive te posebice vrijednostima parametara koji se redovito prate: aluminij, amonijak, boja, vidljivost, *Clostridium perfingens*, *E. Coli*, koncentracija vodikovih iona, željezo, nitriti, miris i okus, *Pseudomonas aeruginosa*, broj kolonija pri temperaturi od 22°C i 37°C, koliformne bakterije i mutnoća. Uzorci bi se trebali uzimati na taj način da predstavljaju kakvoću vode koja se troši tijekom cijele godine. K tomu, države članice poduzimaju sve neophodne mjere kako bi osigurale, kada dezinfekcija čini dio pripreme ili distribucije vode namijenjene za ljudsku potrošnju, provjeru učinkovitosti dezinfekcijske obrade koja se primjenjuje te da bilo kakvo zagađenje prouzrokovano nusproizvodima dezinfekcije bude što je manje moguće, bez dovođenja u opasnost dezinfekcije [31].

Svrha praćenja kakvoće vode ocjena je opće ekološke uloge voda, koja se temelji na Uredbi o klasifikaciji voda te se kategorizira u 5 vrsta. Svrstavanje se obavlja na temelju uspoređivanja izračunate mjerodavne vrijednosti, u skladu s člankom 8. Uredbe o klasifikaciji voda, i dopuštene granične vrijednosti pojedinog pokazatelja. Obavezni pokazatelji koji se ispituju su režim kisika, hranjive tvari, mikrobiološki i biološki pokazatelji, dok u dodatne pokazatelje spadajumetali, organski spojevi i radioaktivnost. Najveće upravne ovlasti u upravljanju vodama ima Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, unutar kojega se nalaze Uprava gospodarenja vodama i Uprava vodne politike i međunarodnih projekata.Uz Ministarstvo regionalnog

razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, primar primarnog nositelja upravnih poslova, neki su poslovi stavljeni i u djelokrug drugih državnih upravnih tijela kao što su: Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Ministarstvo prometa i infrastrukture, Ministarstvo kulture, te Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi.
Jedinice lokalne i regionalne (područne) samouprave imaju ovlasti i obveze vezane za vodnu problematiku unutar njihovog područja [28].

Hrvatske vode predstavljaju pravnu osobu za upravljanje vodama, a osnovane su Zakonom o vodama zbog trajnog i nesmetanog obavljanja javnih službi i drugih poslova kojima se ostvaruje upravljanje vodama u skladu sa sredstvima. Prema *Strategiji upravljanja vodama* (NN 91/08) [28], važna mjera zaštite vodonosnika vode za piće jest donošenje i provođenja odluka o zonama sanitarne zaštite. Provođenje mjera zaštite vode za piće otežano je na svim crpilištima u kršu i aluviju zbog urbanizacije, industrijalizacije, poljoprivrede, neuređenih odlagališta otpada i otpadnih voda. Dezinfekcija je obavezan postupak kod osiguravanja kakvoće vode za piće na svim sustavima javne vodoopskrbe, ali se po potrebi provodi i kondicioniranje/prerada vode ovisno o karakteristikama sirove vode. Najčešći uzroci neispravne kakvoće vode su mikrobiološki pokazatelji, amonijak, nitrati, organski spojevi i mutnoća.

Europski parlament i vijeće 2000. godine donose *Okvirnu direktivu EU o vodama 2000/60/EC*[33]kojom se uspostavlja okvir za djelovanje zajednice na području politike voda. Europski parlament i Vijeće donijet će posebne mjere protiv onečišćenja voda zagađivalima ili grupama zagađivala koja predstavljaju značajnu opasnost za vodni okoliš, uključujući i opasnost za vode koje se koriste za zahvaćanje vode za piće. Kod takvih zagađivala, mjere će biti usmjerene na postupno smanjivanje i, za prioritetne opasne tvari, na prestanak ili postupno isključivanje ispuštanja, emisije i gubitaka [34]. *Zakon o vodi za ljudsku potrošnju* (NN 56/2013) [34] definira zdravstveno ispravnu vodu kao vodu koja:

- ne sadrži mikroorganizme, parazite i njihove razvojne oblike u broju koji predstavlja opasnost za zdravlje ljudi,
- ne sadrži štetne tvari u koncentracijama koje same ili zajedno s drugim tvarima predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi,
- ne prelazi vrijednosti parametara zdravstvene ispravnosti vode.

Sva vodocrpilišta vode koja su namijenjena ljudskoj potrošnji, kao i vodoopskrbni objekti, moraju biti zaštićeni od slučajnog ili namjernog onečišćenja i drugih utjecaja koji mogu ugroziti zdravstvenu ispravnost vode za ljudsku potrošnju. U postupku uzorkovanja vode za ljudsku potrošnju u svrhu provedbi monitoringa i drugih službenih kontrola, uzimaju se uzorci vode nakon procesa obrade, odnosno dezinfekcije; u spremniku vode za ljudsku potrošnju,u razvodnoj mreži,na mjestu potrošnje,u vodocrpilištu, ako se direktno koristi kao voda za ljudsku potrošnju te na mjestu punjenja u boce ili drugu ambalažu [34].

3. ZAKLJUČAK

Kakvoća vode vrlo je bitan faktor kvalitetnog i zdravog života svih živih organizama, pogotovo danas, kada je onečišćenje vode uslijed urbanizacije, industrijalizacije i porasta životnog standarda ljudi, na vrhuncu. Antropogeno onečišćenje znatno nadmašuje onečišćenje uzrokovano prirodnim putem čime se zalihe pitke i čiste vode smanjuju. Voda se koristi u raznim industrijskim procesima, poljoprivredi, proizvodnji energije, građevinarstvu i rudarstvu uslijed čega dolazi do velikih količina otpadne vode koja ne nestaje nego se vraća u vodeni sustav čime narušava kakvoću vode.

Kakvoća vode određuje se u laboratorijskim uvjetima različitim metodama koje određuju fizikalni, kemijski, biološki i mikrobiološki pokazatelji.Određivanje pokazatelja kakvoće vode od velike je važnosti zbog sprečavanja onečišćenja vode koja se koristi za vodoopskrbu, industrijske proces, poljoprivredu i razonodu. Od vitalne je važnosti procijeniti stanje kakvoće vode i kvantitete raspoloživih zaliha vode zbog nadzora i upravljanja vode kao resursom.

Zbog porasta populacije na Zemlji raste i potreba za vodom, koja nije obnovljivi resurs, stoga je od značajne važnosti ekološki osvijestiti pojedince o kontroliranom odlaganju otpada, korištenju agrotehničkih sredstava poput pesticida, obradi otpadnih voda i očuvanju voda i okoliša.

4. LITERATURA

[1] Briški F. *Zaštita okoliša* 1. izdanje Zagreb: Element, 2016.

[2] dr. sc. Sonja Tolić *Povodom Svjetskog dana voda, 22. ožujka 2015. – Značaj vode i vodnih resursa za opstanak planete Zemlje* Dostupno na:http://www.stampar.hr/hr/povodom-svjetskog-dana-voda-22-ozujka-2015-znacaj-vode-i-vodnih-resursa-za-opstanak-planete-zemljeDatum pristupa: 11.2.2019.

[3] Ahuja S. *Chemistry and Water*United States: Elsevier, 2017.

[4] Orešić D. *Voda kao tvar* [PowerPoint prezentacija], Zagreb: Prirodoslovno – matematički fakultet u Zagrebu

[5] Mayer D. *Voda – Od nastanka do upotrebe* Zagreb: Prosvjeta, 2004.

[6] Tedeschi S. *Zaštita voda* Zagreb: HDGI, 1997.

[7] Kemijski rječnik Dostupno na: https://glossary.periodni.com/rjecnik.phpDatum pristupa: 15.2.2019.

[8] Hrvatsko strukovno nazivlje *Struna* Dostupno na: http://struna.ihjj.hr/Datum pristupa: 16.2.2019.

[9] Proleksis enciklopedija Dostupno na: http://proleksis.lzmk.hr/Datum pristupa: 16.2.2019.

[10] Leksikografski zavod Miroslava Krleže *Hrvatska enciklopedija* Dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=18018 Datum pristupa: 17.2.2019.

[11] V.B *Zašto dolazi do onečišćenja zraka* Dostupno na: https://www.ekologija.com.hr/ Datum pristupa: 12.3.2019.

[12] Tušar B. *Pročišćavanje otpadnih voda* Zagreb: Kigen, 2009.

[13] AGM – Eco solutions *Karakteristike otpadnih voda* Dostupno na: https://www.ag-metal.net/Datum pristupa: 12.3.2019.

[14]Varkomd.d. Dostupno na: http://www.varkom.hr/default.asp?SubItemID=14085&FlashID=14014&ParentID=13713&title=tvrdoceDatum pristupa: 3.4.2019.

[15] Štrkalj A. (2014). *Onečišćenje i zaštita vode* (Skripta). Sisak: Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet

[16] TebbuttT.H.Y.*Principles of Water Quality control*5. izdanje Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.

[17] Tepeš P. (2011). *Laboratorijske vježbe iz analitičke kemije okoliša* (Skripta). Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet

[18]Capak K., Dadić Ž. *Dezinfekcija vode* Dostupno na: http://www.pliva-sept.hr/dezinfekcija-vode.html Datum pristupa: 25.4.2019.

[19] Hrvatski zavod za norme HR ISO 5667-4:2016 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2Fcd07510acb630f47c1256d2c006ec863%2F4123b719cbdc491cc125804b002a20ef%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[20] Hrvatski zavod za norme HR ISO 5667-5:2011 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2F66011c0bda2bd4dfc1256cf300764c2d%2Ffdf274ef035f8b1dc125764f00450ef9%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[21] Hrvatski zavod za norme HR ISO 5667-10:2000 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2F66011c0bda2bd4dfc1256cf300764c2d%2Fc1256c8f003565d5c1256d29003d95db%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[22] Hrvatski zavod za norme HR ISO 5667-11:2011 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2Fcd07510acb630f47c1256d2c006ec863%2F0ea73852dc769728c125764f00458d33%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[23] Hrvatski zavod za norme HR EN ISO 10523:2012 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2F66011c0bda2bd4dfc1256cf300764c2d%2Fb90192a2d27928d2c125796c004bd67d%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[24] Hrvatski zavod za norma HR EN ISO 7887:2012 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2Fcd07510acb630f47c1256d2c006ec863%2F7fb53571bfdff7dcc125778500426320%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[25] Potvrda o akreditaciji HR EN ISO 27888:2008 Dostupno na: https://hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/1041.pdf Datum pristupa: 26.4.2019.

[26] Hrvatski zavod za norme HR EN ISO 11885:2010 Dostupno na: http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2?OpenFrameSet&Frame=Down&Src=%2FHZN%2FTodb.nsf%2F66011c0bda2bd4dfc1256cf300764c2d%2Fd60e62ebdab8c0fbc125764f0047cdab%3FOpenDocument%26AutoFramed Datum pristupa: 26.4.2019.

[27] Svijet kvalitete *Kvaliteta vode* Dostupno na: http://www.svijet-kvalitete.com/index.php/ispitivanje/793-kvaliteta-vode Datum pristupa: 26.4.2019.

[28] Narodne novine (2008.) *Strategija upravljanja vodama* (NN 91/2008) Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_08_91_2900.html Datum pristupa: 30.4.2019.

[29] Narodne novine (2009.) *Zakon o vodama* (NN 153/09) Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_12_153_3744.html Datum pristupa: 30.4.2019.

[30] Hrvatske vode *Propisi i obrasci* Dostupno na: https://www.voda.hr/hr Datum pristupa: 30.4.2019.

[31] Direktiva vijeća Europske unije (1998.) *Direktiva o kakvoći vode za piće – 98/83/EC*Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/direktiva_o_kakvoci_vode_za_pice_-_98_83_ec_-_1998.pdf Datum pristupa: 30.4.2019.

[32] Narodne novine (1998.) *Uredba o klasifikaciji voda* (NN 107/95) Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1998_06_77_1037.html Datum pristupa: 30.4.2019.

[33] Hrvatske vode (2001.) *Okvirna direktiva EU o vodama* 2000/60/EC Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/04_-_okvirna_direktiva_o_vodama_-_2000_60_ec_-_2000.pdf Datum pristupa: 30.4.2019.

[34] Narodne novine (2013.) *Zakon o vodi za ljudsku potrošnju* (NN 56/2013) Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_05_56_1138.htmlDatum pristupa: 30.4.2019.

[35] Krenkel P.A., Novotny V. *Water Quality Management* Academic Press, 1980. p. 3

5. POPIS SLIKA

Slika 1. Kruženje vode u prirodi

Slika 2. Raspodjela naboja u molekuli vode

Slika 3. Ionizacija molekule vode

Slika 4. pH ljestvica

Slika 5. Mutnoća vode

Slika 6. Boja vode

Slika 7. Taloženje kamenca na cijevima

Slika 8. Sedrena barijera na Plitvičkim jezerima

Slika 9. Tijek razgradnje ugljikovih i dušikovih spojeva kod BPK

Slika 10. Eutrofikacija vode

Slika 11. Bakterije

Slika 12. Plijesni

Slika 13. Virusi

Slika 14. Imhoffov stožac

Slika 15. a.) Turbidimetar

b.) Kolorimetar

Slika 16. Termometar

Slika 17. Žarenje u porculanskom lončiću

Slika 18. Stolni pH metar

6. POPIS TABLICA

Tablica 1. Ukusnost vode za piće na temelju izmjerenih vrijednosti

Tablica 2. Podjela vode prema tvrdoći

Tablica 3. Pokazatelji eutrofikacije Jadranskog mora

Tablica 4. Bolesti koje se prenose vodom

Tablica 5. Odnos stupnja saprobnosti i indeksa saprobnosti