

Veleučilište Marko Marulić u Kninu

Prehrambena tehnologija



Tehnologija vode

Laboratorijski praktikum

Senzorska svojstva i fizikalno-kemijski pokazatelji kakvoće vode

1

Dr. sc. Iva Ljubičić, v. pred.

Knin, 2019.

Recenzenti:

Doc. dr. sc. Mario Ostović, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Dr. sc. Andrijana Kegelj, v. pred., Veleučilište „Marko Marulić“ u Kninu

Objavljivanje skripte Tehnologija vode Laboratorijski praktikum Senzorska svojstva i fizikalno-kemijski pokazatelji kakvoće vode odobrilo je Stručno vijeće Veleučilišta „Marko Marulić“ u Kninu odlukom od 24. travnja 2019. klasa: 003-01/19-02/12, Ur. broj: 2182/1-12/3-2-19-1-18.

ISBN 978-953-7504-15-1

Predgovor

Skripta „Tehnologija vode Laboratorijski praktikum“ namijenjena je studentima preddiplomskog stručnog studija Prehrambena tehnologija.

Program laboratorijskih vježbi prilagođen je nastavnom planu predmeta “Tehnologija vode” koji se sluša na drugoj godini preddiplomskog stručnog studija Prehrambena tehnologija na Veleučilištu „Marko Marulić“ u Kninu.

Sadržaj skripte sastoji se od općeg dijela, gdje su iznesene opće napomene za rad u laboratoriju (uvod u laboratorijski rad te mjere sigurnosti pri radu). Drugi dio skripte sastoji se od laboratorijskih vježbi koje prate sadržaj predmeta.

Autor zahvaljuje recenzentima doc. dr. sc. Mariu Ostoviću i dr. sc. Andrijani Kegalj v. pred., koji su pregledali rukopis ovog izdanja i dali korisne primjedbe i sugestije.

Knin, 05. ožujka 2019. godine

Autor

Sadržaj

Predgovor	4
1. Osnove rada u laboratoriju.....	6
1.1. Opća načela dobre laboratorijske prakse.....	6
2. Uzorkovanje i analiza vode.....	8
2.1. Uzorkovanje vode.....	8
2.2. Analiza vode.....	11
3. Senzorska svojstva vode.....	13
3.1. Boja.....	13
3.2. Mutnoća.....	17
3.3. Okus	21
3.4. Miris.....	24
4. Fizikalno-kemijski pokazatelji kakvoće vode.....	26
4.1. Temperatura.....	26
4.2. Vodljivost	29
4.3. Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost).....	32
4.4. Alkalitet i aciditet vode.....	36
4.5. Tvrdoća vode	45
4.6. Kalcijevi i magnezijevi ioni.....	53
4.7. Klor	56
4.8. Kloridi.....	61
4.9. Željezo	63
4.10. Spojevi dušika.....	65
4.11. Fosfati	73
4.12. Organske tvari	75
4.12. Ukupne otopljene tvari (TDS)	80
Parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju.....	85
Priprema standardnih otopina.....	86
Literatura.....	89

1. Osnove rada u laboratoriju

Eksperimentalni rad u laboratoriju bitan je i obavezan dio u obrazovanju budućih prvostupnica/prvostupnika prehrambene tehnologije. Radom u laboratoriju usvajaju se tehnike laboratorijskog rada, razvijaju eksperimentalne vještine i kompetencije te pomaže u razumijevanju i usvajanju temeljnih principa i znanja, potrebnih za razumijevanje nastavnog sadržaja.

Rad u laboratoriju zahtijeva poštivanje propisa i pravila ponašanja propisanih Zakonom o zaštiti na radu, Zakonom o državnom inspektoratu, Zakonom o kemikalijama, Pravilnikom o dobroj laboratorijskoj praksi te ostalim zakonskim aktima s ciljem sigurnog izvršavanja radnih djelatnosti, bez narušavanja zdravlja, oštećivanja i uništavanja opreme te bez radnji koje mogu štetiti okolišu.

1.1. Opća načela dobre laboratorijske prakse

Za uspješan rad u laboratoriju potrebno je pridržavati se osnovnih pravila i napomena koje omogućavaju izvođenje vježbi na siguran način. Prije svake vježbe potrebno je dobro **proučiti predviđene upute za izvođenje eksperimenta** te mjere opreza koje se pri tome moraju poduzeti radi vlastite sigurnosti i sigurnosti ostalih studenata u laboratoriju. U slučaju nejasnoća vezanih za izvođenje eksperimenta potrebno je zamoliti voditelja vježbi da ih razjasni. Potrebno je razvijati samostalnost i sve eksperimente, osim onih koji zahtijevaju grupni rad, izvoditi **samostalno**.

Radi izbjegavanja mogućih nezgoda u kemijskom laboratoriju treba poštivati **osnovna pravila rada s opasnim tvarima i/ili uređajima**:

- Obvezno je nošenje radne kute – mantila i propisane zatvorene obuće.
- Upotrebljavati instrumente, kemikalije i pribor namijenjen za svaku vježbu. Predmete s kojima se radi čuvati od oštećenja.
- Kemikalije otvarati pažljivo, ne prinositi licu, po završenoj upotrebi zatvoriti svaku bocu s kemikalijama. Obratiti pažnju na koncentrirane kemikalije koje mogu oštetiti odjeću, izazvati opekotine ili požar.

- Prenositi samo potrebnu količinu kemikalije i ne vraćati višak kemikalije u reagens bocu nego u za to određene posude.
- Dodavati reagens polako. Nikada ne istresati naglo kemikaliju ili otopinu.
- Izlijevati koncentriraniju otopinu u manje koncentriranu otopinu ili u vodu, nikada obrnuto! Ovo je posebno važno kada razrjeđujemo sumpornu kiselinu, H_2SO_4 s vodom.
- Slučajno prosute reagense treba odmah ukloniti, a radnu površinu oprati i obrisati.
- U laboratoriju se ne smije pušiti, jesti niti piti.
- Pare i plinovi koje se razvijaju tijekom kemijske reakcije ne smiju se direktno mirisati, već podalje i sa strane pri čemu se pare rukom blago usmjeravaju prema nosu.
- Pri zagrijavanju tvari u epruvetama otvor epruvete treba okrenuti od sebe, ali i od ostalih sudionika u radu.
- Pri radu s koncentriranim kiselinama i lužinama i u svim slučajevima kada može doći do prskanja reagensa treba nositi zaštitne naočale i rukavice.
- Oštećeno stakleno laboratorijsko posuđe i pribor ne koristiti zbog mogućih ozljeda.
- Otrovne i korozivne kemikalije ne smiju se pipetirati ustima. Za njihovo pipetiranje koristiti propipete.
- Nakon završetka rada potrebno je dobro oprati ruke.
- Prije napuštanja laboratorija potrebno je spremati reagense i obrisati radni stol.

2. Uzorkovanje i analiza vode

2.1. Uzorkovanje vode

Svaka **analiza** vode započinje **uzorkovanjem**, stoga je vrlo važno pravilno uzeti **uzorak** vode.

»**Uzorak vode**« je količina vode uzeta jednokratno na jednom mjestu na propisani način u svrhu laboratorijske analize.

»**Uzorkovanje**« je postupak uzimanja uzorka vode za laboratorijsku analizu.

»**Analiza vode**« jest određivanje senzorskih, fizikalno-kemijskih, mikrobioloških i drugih svojstava vode radi utvrđivanja njene zdravstvene ispravnosti.

Nepravilno uzimanje uzorka vrlo često ima za posljedicu nemogućnost analize uzorka jer je nepravovremeno dostavljen na analizu ili nepravilno čuvan do analize. Vrlo je važno, naročito za mikrobiološku analizu, da analiza počne što prije nakon uzorkovanja kao i da je uzorak uzet u propisnu ambalažu.

Preduvjet za pouzdanu analizu je ispravno uzorkovanje.

Uzorak mora biti reprezentativan.

Terenski nadzor

Terenski nadzor ili uviđaj na licu mjesta obuhvaća pregled i prikupljanje podataka o podrijetlu vode, vrsti vodoopskrbnog objekta i njegovu stanju, o blizini mogućih zagađivača te broju potrošača. Svi značajni pregledom utvrđeni podaci upisuju se u Zapisnik o uzimanju uzoraka vode za pregled.

Svakako treba navesti:

- naziv ili ime vlasnika izvorišta, mjesto i adresu
- u koju svrhu se koristi voda iz izvorišta
- vrstu izvorišta i od čega je građeno
- da li postoji zaštitna zona oko izvorišta i udaljenost eventualnih zagađivača
- kapacitet vodovoda u litrama po sekundi, kod bunara promjer i dubina vode

- broj korisnika
- podatak da li se voda pročišćava, da li se dezinficira, da li se muti poslije kiše, da li mijenja boju i sl.
- treba izmjeriti temperaturu vode, navesti eventualne primjedbe,
- datum i potpis osobe koja uzorkuje vodu.

Dobiveni podaci terenskog nadzora smjernica su pri odabiru laboratorijskih analiza i njihove pravilne interpretacije.

Uzimanje uzoraka (uzorkovanje)

Razlikuju se tri vrste postupaka za uzimanje uzoraka vode:

- uzimanje jednostavnih uzoraka jednokratnim zahvaćanjem
- uzimanje mješovitih, kompozitnih uzoraka
- kontinuirano uzimanje uzoraka

Način uzimanja uzoraka ovisi o mjestu odakle se uzorak uzima. Može se definirati kao postupak uzimanja reprezentativnog uzorka za istraživanje.

Uzimanje uzoraka vode:

- **Voda za piće** iz zatvorenih izvorišta, vodovoda, pumpi, izljeva, crpki.
Boca se puni podmetanjem pod mlaz, tek nakon što je istjecala nekoliko minuta, a slavina bila prethodno opaljena plamenom, odnosno izravno uranjanjem boce u npr. zdence ini na istovjetan način kao što to čini potrošač.
- **Površinske vode** iz rijeka i potoka.
Boca se uranja na oko 0,2 m ispod površine s grlom okrenutim uzvodno.
- **Vode stajačice** iz jezera, ribnjaka i bara.
Boca se uranja u vodu 0,1 do 0,2 m ispod površine s grlom boce okrenutim prema gore.
- **Izvori**
Uzorak se uzima stavljanjem boce pod mlaz vode.

Vrste uzoraka

Razlikuju se:

- **Uzorci vode za bakteriološku analizu**

Uzorci se uzimaju u čiste sterilne boce, u količini koja je dostatna da se izvrši analiza. Boce su zatvorene čepom od pluta ili silikonske gume, preko kojega je stavljena aluminijska folija. Za uzimanje uzoraka klorirane vode dodaje se prije sterilizacije u boce dovoljno natrijeva tiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) za inaktivaciju aktivnog klora.

Za uzorke otpadnih voda za bakteriološku analizu stavlja se u bocu EDTA da bi se vezali teški metali.

Uzorci vode za bakteriološku analizu moraju se transportirati u rashladnim uređajima i dostaviti u laboratorij na obradu za najviše šest sati.

- **Uzorci vode za virusološku analizu**

Uzorci se uzimaju u plastične boce od 10 litara. U laboratorij se moraju dopremiti unutar šest sati u rashladnim uređajima.

- **Uzorci vode za biološku analizu**

Uzorci se uzimaju u staklene boce sa širokim grlom. Određivanje bioloških indikatora u vodi za piće ne spada u rutinske analize. Za biološku analizu se uglavnom uzimaju uzorci površinske vode.

- **Uzorci vode za fizikalnu i kemijsku analizu**

Uzorci se uzimaju u kemijski čiste boce od 1 litre ako se radi osnovna ili proširena analiza, a više od 1 litre ako se rade analize i za dodatne parametre. Za određivanje nestabilnih parametara uzorci vode se u posebne boce i konzerviraju ovisno o analitičkoj metodi.

Obavezno prilikom uzimanja uzorka na mjestu uzorkovanja treba izmjeriti temperaturu vode.

Nakon uzorkovanja uzorci se dopremaju na obradu u laboratorij i odmah se određuju parametri nekonzerviranog uzorka.

- **Uzorci vode za radiološku analizu**

Uzorci se uzimaju u čistu staklenu ili plastičnu bocu (najmanje 3 litre vode). U laboratorij se moraju dopremiti u roku od pet dana.

- **Uzorci vode za dokazivanje kisika otopljenog u vodi**

Uzorci se uzimaju u posebne tzv. Winklerove boce od 100 do 300 mL sa kosim i ubrušenim čepom. Boca se napuni do vrha te se dodaju kemikalije za fiksaciju kisika

(MnCl_2 i KJ u KOH). Stvara se talog, ovisno o sadržaju kisika, bijel (bez kisika) do tamnosmeđ (bogat kisikom). Boca se začepi pažljivo, da ne zaostanu mjehurići zraka.

Učestalost uzimanja uzoraka

Higijenska ispravnost vode za piće utvrđuje se **osnovnim, proširenim i periodičnim pregledom** vode, te **posebnim pregledom** za nova crpilišta. Ovi pregledi obuhvaćaju mikrobiološke, fizikalne i kemijske pokazatelje.

Voda za piće rutinski se pregledava tzv. malom sanitarnom analizom, a povremeno se provode i proširene analize.

Uzorci vode iz rijeka (ako rijeke nisu pod kontrolom) uzimaju se za vrijeme najvećih onečišćenja, za vrijeme niskih vodostaja i povišene temperature).

Uzorci vode iz jezera uzimaju sezonski, zbog kemijskih i bioloških promjena na raznim dubinama.

2.2. Analiza vode

Analiza vode jest određivanje senzorskih (organoleptičkih), fizikalno-kemijskih, mikrobioloških i drugih svojstava vode, radi utvrđivanja njezine zdravstvene ispravnosti.

Kontrola zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju važna je preventivna mjera u zaštiti zdravlja stanovništva zbog činjenice da zdravlje ljudi izravno ili neizravno ovisi o zdravstvenoj ispravnosti vode. Zdravstveno neispravna voda za ljudsku potrošnju i/ili za higijenske potrebe predstavlja značajan zdravstveni rizik za opću populaciju.

Voda ne smije biti štetna za zdravlje čovjeka!

Analiza svojstava vode

- **Senzorska svojstva** obuhvaćaju sljedeće parametre:
 - boja,
 - mutnoća,
 - okus i
 - miris.

- **Fizikalno-kemijska svojstva** obuhvaćaju određivanje sljedećih parametara:
 - temperatura,
 - elektrovodljivost,
 - koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost),
 - alkalitet i aciditet vode,
 - tvrdoća vode,
 - kalcijevi i magnezijevi ioni
 - klor,
 - kloridi,
 - željezo,
 - spojevi dušika,
 - fosfati,
 - organske tvari,
 - ukupne otopljene tvari (TDS).
- **Mikrobiološka svojstva** obuhvaćaju određivanje broja patogenih i drugih vrsta mikroorganizama prisutnih u vodi.

Pored navedenih svojstava, ispitivati se mogu udjeli drugih sastojaka vode, što ovisi o namjeni vode. Opseg ispitivanja kakvoće vode ovisi o prirodi vode te njezinoj namjeni. Ispitivanja treba ograničiti na sastojke koji su značajni za određenu namjenu.

U Republici Hrvatskoj kontrola zdravstvene ispravnosti vode provodi se prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe.

Laboratorijski nalazi ocjenjuju se usporedbom s graničnim vrijednostima.

Voda je zdravstveno ispravna kada su ustanovljene/dokazane vrijednosti ispitivanih svojstava ispod „maksimalno dopuštene koncentracije – MDK“ vrijednosti.

3. Senzorska svojstva vode

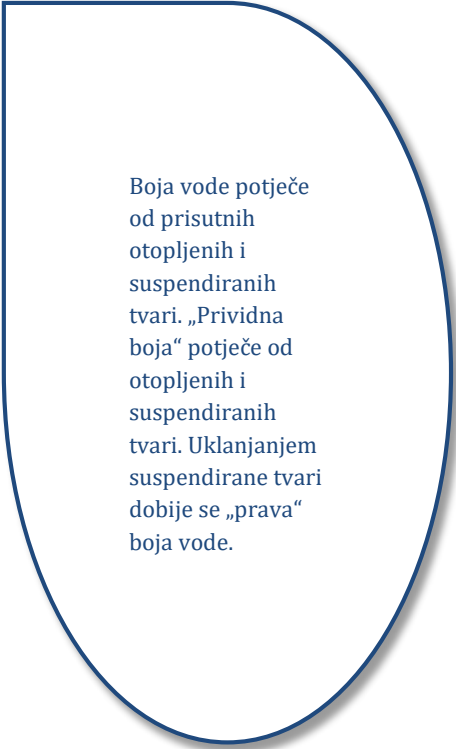
3.1. Boja

Teorijski dio

Boja predstavlja optičko svojstvo vode koje ukazuje na stupanj obojenosti. Posljedica je apsorpcije i refleksije svjetlosti određene valne duljine, bez skretanja valnih duljina. Potječe od različitih otopljenih ili koloidnih anorganskih i organskih spojeva. Boja vode može biti prava i prividna. **Prava boja** potječe od *otopljenih* tvari (posebice iona željeza i mangana, industrijskih boja i razgrađene organske tvari), a **prividna boja** od *raspršenih* (suspendiranih) tvari koje se mogu odstraniti filtriranjem.

Obojene vode uglavnom nisu upotrebljive za vodoopskrbu i neke druge namjene, a obojenje u tamnim tonovima bitno smanjuje prozirnost. Na intenzitet boje jako utječe pH vrijednost. Intenzitet boje nepovratno se povećava pri povećanju pH vrijednosti te je pri određivanju boje uvijek potrebno navesti i pH uzorka. Prije utvrđivanja boje potrebno je ukloniti i najmanju mutnoću koja može uzrokovati značajnu promjenu u odnosu na pravu boju. Boja mutne vode određuje se u nefiltriranom i filtriranom uzorku. Jačina (intenzitet) obojenja određuje se opisno, a intenzitet boje se označava izrazima: „slabo obojena“, „obojena“ i „jako obojena“. Pored intenziteta boje treba navesti i nijansu boje.

Standardna metoda za mjerenje boje je **platino-kobaltna metoda (Pt/Co skala – Platinum-Cobalt color scale/APHA)**, koja se na jedinici boje koju daje 1mg/L platine u obliku kloroplatinat iona.



Boja vode potječe od prisutnih otopljenih i suspendiranih tvari. „Prividna boja“ potječe od otopljenih i suspendiranih tvari. Uklanjanjem suspendirane tvari dobije se „prava“ boja vode.

Boju je moguće odrediti kolorimetrijski, vizualnom uspoređivanjem boje uzorka vode i standarda (obojena otopina poznate koncentracije). Za kolorimetrijsko određivanje upotrebljavaju se kolorimetri – komparatori npr. Helligeov komparator (Slika 1.).



Slika 1. Komparatori

(Izvor: <http://www.orbeco.com/>)

(Izvor: <https://www.lovibond.com/>)

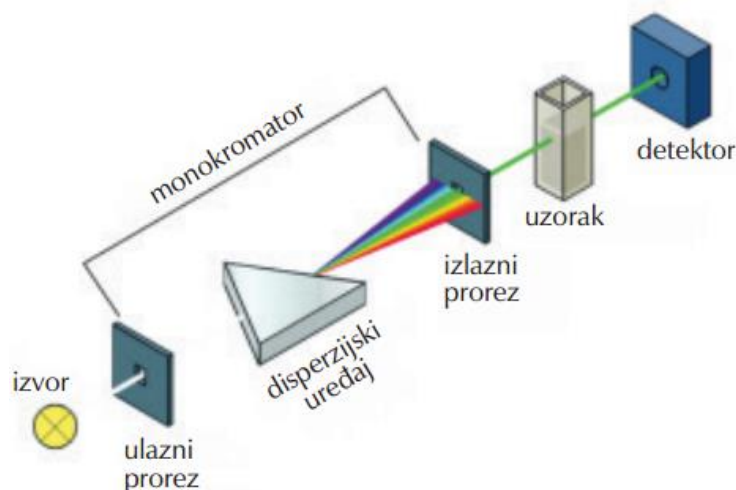
Za određivanje boje može se koristiti uređaj – **spektrofotometar** (Slika 2.) koji kvantitativno mjeri frakciju svjetla koja prolazi kroz mjerenu otopinu (Slika 3.).

14



Slika 2. Spektrofotometar (Izvor: <https://www.weberscientific.com/aquamate-8000-uv-vis-spectrophotometer-thermo-scientific-orion>)

Spektrofotometar mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih duljina vidljivog dijela spektra. Sastoji se od izvora svjetlosti, monokromatora (prizma ili optička rešetka), kivete (Slika 4.) i držača za kivete te detektora za mjerenje intenziteta propuštene svjetlosti.



Slika 3. Princip spektrofotometrije

(Izvor: <http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/Osvrti-683-685.pdf>)

Rad spektrofotometra temelji se na rastavljanju svjetla na pojedinačne valne duljine (pomoću monokromatora) kojima se zatim osvjetljavaju ispitivani uzorak i standard. Reflektirano svjetlo dolazi do detektora koji mjeri intenzitet propuštene svjetlosti. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spektrofotometrijska krivulja. Prilikom određivanja boja najčešće se primjenjuju spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 400 nm do 700 nm.

15



Slika 4. Kivete

(Izvor: <https://www.precisionlabware.com/cuvettes/751041-fluorescence-quartz-cuvette-10mm-35ml-ptfe-cover.html>)

Čistoća kiveta za mjerenje zamućenja vrlo je važna. Otisci prstiju, prljavština ili ogrebotine smetaju pri određivanju jer mogu uzrokovati dodatno raspršenje ili mogu apsorbirati dio zračenja.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe u vodi za ljudsku potrošnju MDK za boju je 20 mg/L Pt/Co skale.

Određivanje boje vode

- ***Određivanje boje platina-kobaltnom (Pt-Co) standardnom metodom***

Metoda

Kolorimetrija

Princip

Boja vode se određuje vizualno kolorimetrijskim komparatorom (s kivetama ili diskovima) uspoređivanjem boje uzorka s bojom standarda.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Komparator
- Kivete
- Diskovi
- Ragens

Postupak

Postupak određivanja boje zasniva se na promatranju i vizualnoj usporedbi boje uzorka i standarda.

1. U čistu kivetu uliti uzorak vode.
2. Dodati reagens u kivetu s uzorkom.
3. Vizualno usporediti boju uzorka vode s bojom na standardnoj skali.
4. Očitati vrijednost koja odgovara boji uzorka vode.

U vodi za ljudsku potrošnju **MDK boje vode je 20 mg/L Pt/Co skale.**

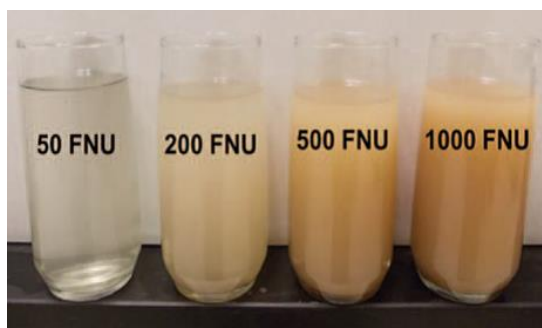
3.2. Mutnoća

Teorijski dio

Mutnoća (zamućenost) vode može se definirati kao smanjenje prozirnosti otopine zbog prisutnosti suspendiranih i koloidnih čestica (Slika 5.) koje uzrokuju da upadajuća svjetlost bude raspršena, reflektirana i oslabljena umjesto da bude odaslana u ravnoj liniji. Mutnoća vode uzrokovana je suspendiranim tvarima, kao što su mulj, pijesak, bakterije, spore i kemijski talog.

Mjerenje mutnoće se temelji na mjerenju raspršenja svjetla koje nastaje prolaskom svjetlosne zrake kroz određeni uzorak vode. Dakle, ne mjeri se izravno količina čestica, već efekt raspršenja svjetlosti koje spomenute čestice uzrokuju. Čimbenici koji utječu na vrijednost raspršenja su: koncentracija čestica u vodi, veličina čestica i valna duljina ulazne svjetlosti. Što je veći intenzitet skretanja svjetlosne zrake, što je veća interferencija, veća je i mutnoća uzorka.

Mjerenje mutnoće pomoću turbidimetra temelji se na raspršenju svjetlosti koje čestice u uzorku uzrokuju, a ne izravno na količina čestica. Mjeri se smanjenje intenziteta prolaznog zračenja ili jačine raspršenog zračenja kao posljedicu sraza s česticama.



Slika 5. Mutnoća vode

(Izvor: <https://www.usgs.gov/media/images/visualization-turbidity>)

Mjerni instrument kojim se mjeri mutnoća naziva se **turbidimetar (nefelometar)** (Slika 6.). Turbidimetar koji koristi nefelometrijsku metodu mjerenja mutnoće vode mjeri intenzitet raspršenja svjetlosti koja prolazi kroz uzorak. Zraka svjetlosti koja prolazi kroz uzorak raspršuje se u svim smjerovima. Optički sustav turbidimetra uključuje volfram lampu (početna zraka svjetlosti), detektor raspršenog svjetla (90°) i detektor transmitiranog svjetla (180°). Mjeri se smanjenje jačine (intenziteta) prolazne svjetlosti ili jačine raspršenja svjetlosti kao posljedicu sraza s česticama. Što je veći intenzitet raspršenosti i slabljenja svjetlosti to je veća vrijednost mutnoće.



18

Slika 6. Turbidimetar (Izvor: <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/ProcessParameters/Turbidimeters/Turbidimeters.html>)

Postoji više mjernih jedinica mutnoće. Češće od ostalih koristi se **NTU („Nephelometric Turbidity Unit“** – hrvatski prijevod „Nefelometrijska jedinica mutnoće“). Osim NTU koriste se i još neke druge jedinice, kao npr.: *FNU („Formazine Nephelometric Unit“)*, *FTU („Formazine Turbidity Unit“)*, *FAU („Formazine Attenuation Unit“)* itd. Mutnoća vode može se izražavati i u sadržaju SiO_2 u vodi izraženim u **mg/L („mg/L silikatne zemlje“)**. Mutnoća daje vodi neprozirnost. Povećana mutnoća smanjuje prodor svjetlosti u stupcu vode i ukazuje na stupanj (ne)čistoće vode.

Stupanj prozirnosti, tj. mutnoće izražavamo kao:

- prozirno
- jasno

- gotovo jasno
- slabo opalescentno
- opalescentno
- slabo zamućeno
- jako zamućeno.

U praksi je teško povući granicu između boje i mutnoće vode. U načelu svaka primjetna boja vode upućuje da ona sadrži veće koncentracije nepoželjnih tvari. Bistrina ili prozirnost vode je mjera koliko duboko svjetlost prodire kroz vodu. Što je dublje prodiranje svjetlosti to je voda bistrija.

U vodi za ljudsku potrošnju maksimalno dopuštena vrijednost mutnoće vode je 4 NTU.

Određivanje mutnoće vode

Mutnoća uzorka vode određuje se uspoređivanjem uzorka sa standardnim vodenim suspenzijama silikatne zemlje ili nefelometrijski pomoću turbidimetra.

- ***Određivanje mutnoće vode standardnim vodenim suspenzijama silikatne zemlje***

Metoda

Turbidimetrija

Princip

Mutnoća se određuje turbidimetrijski sa silikatnom zemljom uspoređivanjem s nizom uzoraka silikatne zemlje (SiO_2) različitih koncentracija. Standardne vodene suspenzije silikatne zemlje drže se u bezbojnim staklenim bocama i služe za uspoređivanje s uzorcima vode bez upotrebe optičkih instrumenata.

Pribor, oprema i reagensi

- Standardne vodene suspenzije silikatne zemlje
- Uzorak vode

Postupak

Uzorak vode promućkati i optički procijeniti kojoj koncentraciji SiO_2 odgovara koncentracija uzorka. Uspoređivanje se vrši bez upotrebe optičkih instrumenata.

- ***Određivanje mutnoće uzorka vode nefelometrijski pomoću turbidimetra***

Metoda

Nefelometrija (prema standardnom formazinskom polimeru pomoću turbidimetra)

Princip

Mjerenje mutnoće pomoću turbidimetra zasniva se na efektu raspršenja svjetlosti koje nastaje pri prolasku svjetlosne zrake kroz uzorak vode koji sadrži čestice u koloidnom, emulgiranom ili suspendiranom stanju. Mjeri se efekt raspršenja svjetlosti koje spomenute čestice uzrokuju, a ne izravno količina čestica. Mjerenje mutnoće se temelji na usporedbi raspršenja svjetla uzorka s raspršenjem svjetla standardne otopine pod istim mjernim uvjetima. Jačina raspršenja svjetlosti direktno je proporcionalna mutnoći otopine! Formazinski polimer (napravljen od hidrazina i heksametilentetramina) se koristi kao primarni standard za referentnu otopinu (Oprez! Za formazin postoji vjerojatnost da je kancerogen!), a vrijednosti mutnoće iskazuju se u nefelometrijskim jedinicama NTU. Količina od 1 NTU odgovara količini od 1g/L suspendiranog SiO₂ u čistoj vodi.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Turbidimetar
- Kivete

Postupak

1. Prije mjerenja uređaj kalibrirati standardnom otopinom.
2. Napuniti kivetu uzorkom vode do oznake te kivetu začepiti (očistiti vanjsku stranu kivete).
3. Kivetu staviti u kućište uređaja.
4. Očitati mutnoću u nefelometrijskim jedinicama izravno sa skale uređaja ili odgovarajuće krivulje.

Maksimalno dopuštena vrijednost mutnoće vode je 4 NTU.

3.3. Okus

Teorijski dio

Važno obilježje vode, naročito za ljudsku potrošnju je okus vode. Okus vode je kompleksan osjet i ovisi o nekoliko činitelja: koncentraciji i vrsti otopljenih mineralnih soli, mirisu, temperaturi i subjektivnom raspoloženju (intenzitet osjeta žeđi).

Osjeti okusa mogu biti:

- bez okusa (meke vode),
- slankasti (više koncentracije natrijeva klorida),
- gorkasti (više koncentracije magnezijevog sulfata),
- lužnati (više pH vrijednosti),
- kiselkasti (niže pH-vrijednosti),
- stežući (visok sadržaj željeza i aluminija),
- metalni (visoke koncentracije olova, bakra, cinka),
- truležni (okus onečišćenih voda),
- bez osobitosti.

21

Okus vode potječe također od otopljenih mineralnih soli. Okus vode za ljudsku potrošnju ne smije biti intenzivan, ali je pogodno da voda sadrži toliko otopljenih tvari da ne bude bljutava. Voda za ljudsku potrošnju u načelu mora biti bez okusa.

Okus vode određuje se izuzetno na terenu ili u laboratoriju, ako se ne sumnja na mikrobiološku i toksikološku ispravnost, odnosno samo ako je isključena mogućnost infekcije ili intoksikacije.

Provjera okusa vode obavlja se ukoliko je dezinficirana i kontrolirana. Da bi se okus vode odredio, usna šupljina mora biti „pripremljena“. Prije ocjenjivanja okusa ne smije se piti niti jesti ništa gorko, kiselo, ljuto ili bilo kojeg drugog intenzivnog okusa. Održavanje odgovarajuće temperature ključno je za postizanje ponovljivosti rezultata pri ocjeni okusa i mirisa. Također, klor u uzorcima vode može ometati osjet drugih okusa i mirisa, pa se prije ocjenjivanja okusa (i mirisa) vode preporučuje uklanjanje klora iz uzorka.

Tablica 1. Sustav bodovanja intenziteta okusa/mirisa od 0 do 5 (prilagođeno prema Kuleš i Habuda Stanić, 2000.)

Broj bodova	Intenzitet okusa/mirisa	Opisano određivanje okusa/mirisa
0	Bez	Ne osjeća se
1	Vrlo slab	Osjećaju samo iskusne osobe
2	Slab	Potrošači ne osjećaju sve dok im se ne skrene pažnja
3	Umjeren	Lako se osjeća i može biti povod za žalbu
4	Jak	Zapaža se i može izazvati nelagodu kod potrošača
5	Vrlo jak	Takav intenzitet da voda nije pogodna za piće

Dobra pitka voda je bez okusa.

Određivanje okusa vode

Metoda

Organoleptička na hladno (12 °C) ili na sobnoj temperaturi (25 °C)

Princip

Okus vode se može odrediti organoleptički na terenu ili u laboratoriju samo ukoliko se ne sumnja na toksikološku i mikrobiološku ispravnost vode (oprez zbog mogućnosti infekcije ili intoksikacije!). Provjera okusa vode se radi tako što usna šupljina mora biti pripremljena, a voda dezinficirana i kontrolirana. Prije određivanja okusa vode ne smije se piti niti jesti ništa gorko, kiselo, ljuto ili intenzivnog okusa. Pušenje i konzumiranje alkohola smeta pri određivanju okusa.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Čaša

Postupak za određivanje okusa

Prije određivanja okusa vode, vodu zagrijati do vrenja i ostavi da vrije 5 minuta, a zatim brzo ohladiti na oko 25 °C.

1. U čistu čašu uliti 10 do 20 mL ispitivane vode.
2. Uzeti gutljaj vode i zadržati u ustima 5 do 10 sekundi.
3. Odrediti vrstu (bljutav, opor, kiseo...) i intenzitet (skala od 0 do 5) okusa vode.

Okus vode izražava se opisno (po poznatim sličnim okusima), a intenzitet se boduje (Tablica 1.).

Dobra pitka voda je bez okusa.

3.4. Miris

Teorijski dio

Miris vode važno je obilježje vode. Promjena mirisa može nastati razgradnjom organskih tvari, naročito algi, od industrijskih otpadnih voda, od otopljenih plinova i otopljenih soli. Miris vode najčešće potječe od prisutnih plinova. Tako se susreću vode s mirisom po pokvarenim jajima (ako sadrže sumporovodik), mirisom po nafti, sadrže li metan ili neki drugi ugljikovodik, ili pak s mirisom po amonijaku.

Miris ima sanitarnu važnost jer je često prvi uočljiv pokazatelj da je voda onečišćena.

Voda za ljudsku potrošnju u načelu mora biti bez mirisa!



Na višim temperaturama se lakše određuje miris jer s porastom temperature raste i intenzitet mirisa.

Određivanje mirisa vode

Metoda

Organoleptička

Princip

Intenzitet mirisa se boduje, a kvaliteta mirisa se izražava opisno. Miris u vodi se određuje organoleptički na sobnoj temperaturi („na hladno“) i na temperaturi od 40 °C („na toplo“) neposredno po uzimanju, jer se neki mirisi gube vrlo brzo (npr. sumporovodik).

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Boca s brušenim čepom
- Erlenmeyerova tikvica
- Satno staklo

Postupak za određivanje mirisa

Miris vode u uzorku treba odrediti odmah po uzimanju uzorka, a najkasnije 2 sata nakon uzimanja.

- ***Određivanje mirisa na sobnoj temperaturi („na hladno“)***

1. Bocu s brušenim čepom napuniti vodom do polovine volumena.
2. Bocu začepiti, protresti i odmah po otvaranju pomirisati.

Kloriranoj vodi treba dodati malo natrijeva tiosulfata i tek tada pomirisati.

- ***Određivanje mirisa na 40 °C („na toplo“)***

1. Staviti 100 mL uzorka u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL.
2. Tikvicu poklopiti satnim staklom i zagrijati na 40 °C.
3. Kad se postigne zadana temperatura, tikvicu otklopiti i odmah pomirisati.

Miris vode izražava se kvalitativno tj. opisno (opisuje se vrsta mirisa po poznatim sličnim mirisima), a intenzitet se boduje (Tablica 1.). Opisni izrazi koji se koriste su:

- aromatičan (na cvijeće, voće i dr.);
- po bari (mahovini, mulju, tresetu);
- po travi, kupusu (bilju);
- po zemlji;
- po kloru;
- na plijesan (trulež);
- po kemikalijama (nafta, fenol);
- neodređen.

Intenzitet mirisa izražava se u stupnjevima: bez mirisa, vrlo slab, slab, jasan, upadljiv i vrlo jak.

Dobra pitka voda nema mirisa.

4. Fizikalno-kemijski pokazatelji kakvoće vode

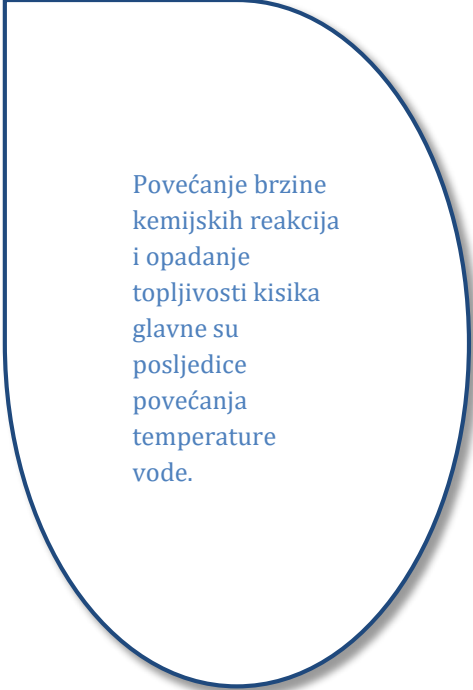
4.1. Temperatura

Teorijski dio

Temperatura vode je stupanj toplinskog stanja vode, odnosno mjera za količinu energije koju voda posjeduje. Temperatura vode povezana je s temperaturom okoliša i mijenja se tijekom godine. Dok je temperatura podzemnih voda približno konstantna tijekom cijele godine i kreće se od 8 do 12 °C, temperatura površinskih voda je vrlo promjenjiva. Povećanje temperature vode može nastati i pod utjecajem čovjeka, kad se voda korištena za rashlađivanje (elektrane, industrija) ispušta u vodotokove. Glavne posljedice povećanja temperature prirodnih voda su povećanje brzine kemijskih reakcija i opadanje topljivosti važnih plinova npr. kisika. Povećana temperatura vode olakšava razvoj patogenih mikroorganizama. Temperatura vode utječe na okus vode te je bitan pokazatelj u ocjeni pogodnosti vode za ljudsku potrošnju. Optimalna temperatura vode iznosi od 8 do 12 °C, a maksimalno dopuštena 25 °C.

Temperatura vode ima veliki utjecaj na količinu i raznolikost života u njoj pa je mjerenje temperature značajno za pravilno razumijevanje promjene zagrijanosti vode tijekom godine. Poznavanje temperature vode važno je pri kloriranju, jer se količina klora, potrebna za dezinfekciju, mijenja s temperaturom. Temperaturu vode potrebno je znati i kod određivanja otopljenih plinova u vodi, osobito kisika.

Pri mjerenju temperature vode koristimo se **termometrom** (Slika 7.), instrumentom koji je baziran na pojavi promjene volumena tekućine s promjenom temperature. Kao medij se obično upotrebljava živa ili alkohol, koji se oboji radi lakšeg očitavanja. Krhki su i lako lomljivi, pa se njima treba pažljivo rukovati. Radi zaštite od loma često se koriste



Povećanje brzine
kemijskih reakcija
i opadanje
topljivosti kisika
glavne su
posljedice
povećanja
temperature
vode.

termometri u zaštitnim (metalnim ili plastičnim) kućistima. Temperatura se izražava u °C (temperaturna ljestvica u Celzijevim stupnjevima).



Slika 7. Mjerenje temperature vode termometrom
(Izvor: http://www.chem.uiuc.edu/chem103/molar_mass/measuring.htm)

Maksimalna dopuštena temperatura vode za ljudsku potrošnju je 25 °C.

27

Određivanje temperature vode

Metoda

Mjerenje s termometrom

Princip

Temperatura vode mjeri se na mjestu uzorkovanja, termometrom za temperaturno područje od – 5 do 30 °C s podjelom skale od 0,5 °C ili digitalnim termometrima. Ukoliko je potrebna velika preciznost, koristi se termometar s podjelom skale od 0,1 °C.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Termometar

Postupak za određivanje temperature

Pri mjerenju temperature vode koristi se termometar koji se stavi direktno u vodu, a temperatura se očitava nakon vremenskog perioda koji osigurava konstantne vrijednosti.

Ako se temperatura vode ne može mjeriti direktno na mjestu uzimanja uzorka, onda se mjeri u boci s uzorkom vode. Volumen boce mora biti najmanje jedna litra, a temperatura boce, prije mjerenja, mora odgovarati temperaturi uzorka vode.

Maksimalna dopuštena temperatura vode za ljudsku potrošnju definirana zakonskim propisima je 25 °C.

4.2. Vodljivost

Teorijski dio

Vodljivost je mjera sposobnosti vode da provodi električnu energiju. Ta sposobnost ovisi o prisutnosti iona, o njihovoj ukupnoj koncentraciji, o pokretljivosti i valenciji iona i o temperaturi mjerenja. Proporcionalna je koncentraciji iona u vodi. Otopine većine anorganskih spojeva relativno su dobri vodiči. Nasuprot tome molekule organskih spojeva, koje ne disociraju u vodenoj otopini, struju provode vrlo slabo (ako je uopće provode).

Vodljivost je recipročna vrijednost otpora u omima (Ω) mjerenog između dvije suprotne strane kocke (elektrode) od jednoga kubičnog centimetra vodene otopine pri određenoj temperaturi. Standardna jedinica vodljivosti je **Simens po centimetru [S/cm]**. Zbog raspona vrijednosti u vodenim otopinama u upotrebi su i mS/cm i μ S/cm.

Tablica 2. Kategorizacija voda prema parametru vodljivosti (Izvor:

http://www.waterline.hr/Prirucnik_za_vodu.pdf)

Vrsta vode	Vodljivost μ S/cm
Ultračista	< 0,05
Pitka	< 1 000
Mineralna	1 000 – 3 000
Bočata	> 1 000
Morska	> 50 000

Vodljivost najviše ovisi o sadržaju iona koji se nalaze u vodi, odnosno o količini minerala koji su otopljeni u vodi (Tablica 2.).

Temperatura vode isto utječe na vodljivost. Porastom temperature vode za 1 °C električna vodljivost poraste za 2%. Standardna temperatura za određivanje vodljivosti je 25 °C. Određivanje treba biti na navedenoj ili što bližoj temperaturi. Uzorci s niskom pH vrijednošću također pokazuju veliku vodljivost zbog visoke ekvivalentne vodljivosti vodikovih iona.

Koncentracija otopljenih soli u vodi određuje vodljivost te služi kao mjera za količinu iona u vodi. Izmjerenom vrijednošću vodljivosti možemo procijeniti stupanj mineralizacije vode i tako ocijeniti o kojoj je vrsti vode riječ.

Uređaj za mjerenje vodljivosti je **konduktometar** (Slika 8.). Sastoji od sonde za direktno mjerenje vodljivosti. Vodljivost čiste vode je vrlo niska, ali ako voda sadrži ione otopljenih soli koji provode struju vodljivost je znatno veća.



Slika 8. Konduktometar

(Izvor: <https://hannainst.com/hi9033-multi-range-portable-conductivity-meter.html>)

Kako vrijednosti za vodljivost ovise o mineralizaciji vode, kod većine slatkovodnih i pročišćenih voda ona se kreće od 50 do 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Vrijednosti za mineralizirane vode dosežu i do 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe MDK za vodljivost je 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ uz napomenu da voda ne smije biti agresivna.

Određivanje vodljivosti

Metoda

Konduktometrija

Princip

Određivanje vodljivosti podrazumijeva mjerenje vodljivosti vode i njene recipročne vrijednosti, električnog otpora pomoću konduktometra.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Konduktometar
- Elektrode
- Termometar

Postupak za određivanje vodljivosti vode

Prije mjerenja vodljivosti standardnu elektrodu treba pažljivo oprati destiliranom vodom, a zatim uzorkom. Elektrodu treba uroniti okomito u uzorak tako da je temperaturni senzor u cijelosti uronjen u uzorak. Mjerenje se vrši u uzorku koji miruje da bi se izbjegao gubitak ugljikovog dioksida ili drugih hlapljivih sastojaka koji mogu izmijeniti vrijednosti vodljivosti. Po završetku mjerenja elektrodu treba isprati destiliranom vodom, posušiti i čuvati na zraku na sobnoj temperaturi.

1. U čistu staklenu čašu uliti 100 mL ispitivane vode.
2. Uroniti elektrodu konduktometra u uzorak vode.
3. Očitati dobivenu vrijednost sa skale instrumenta.

MDK za vodljivost definirana zakonskim propisima je $2500 \mu\text{S}/\text{cm}/20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.3. Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)

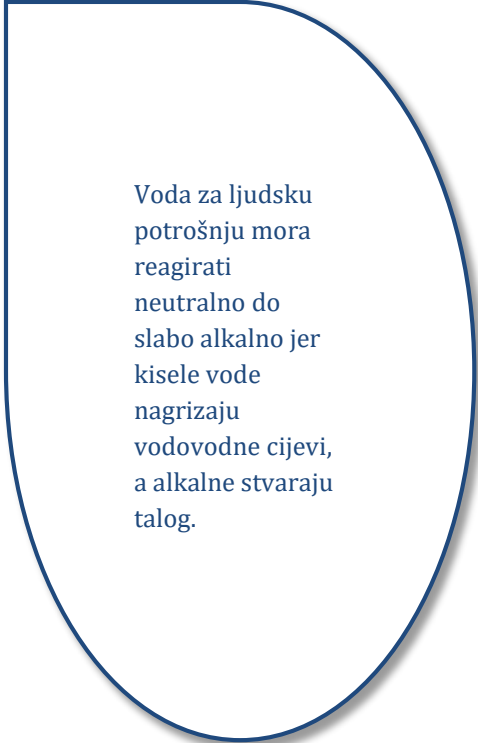
Teorijski dio

pH vrijednost predstavlja logaritamsku skalu za iskazivanje kiselosti ili lužnatosti otopine. Izražava se kao negativan logaritam koncentracije vodikovih iona u otopini $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$. Mjera je relativnog alkaliteta ili aciditeta vode te ovisno o koncentraciji vodikovih iona razlikujemo:

- Kiselost (višak H^+ iona)
- Lužnatost (manjak H^+ iona)

Za očitavanje pH vrijednosti koristi se skala u rasponu vrijednosti od 0 do 14. Neutralnom vrijednošću se smatra kada pH iznosi 7, jer tada tvar nije niti lužnata, niti kisela. Raspon od 0 do 7 odgovara kiselom karakteru mjerene tvari, dok raspon od 7 do 14 odgovara lužnatom karakteru određene tvari. Raspodjela na skali je eksponencijalna, pa svako povećanje pH jedinice za 1 uvjetuje deset puta veću koncentraciju vodikovih iona i obrnuto. Tako je neka tvar s pH vrijednošću 4 deset puta kiselija od tvari s pH vrijednosti 5.

Kiselost vode prvi je podatak koji govori o karakteru otopljenih tvari. U prirodnim vodama pH ovisi o koncentraciji slobodnog CO_2 , karbonata i hidrogenkarbonata. Prirodne vode imaju pH od 5,5 – 8,6. Destilirana voda ima pH vrijednost 7. Čista, obična kišnica ima pH vrijednost između 5,0 i 5,5. Voda za ljudsku potrošnju mora reagirati neutralno do slabo alkalno ($\text{pH} = 7,0 - 7,4$) jer kisele vode nagrizzaju cijevi, dok alkalne stvaraju talog. Otpadne i zagađene vode mogu imati niže ili više pH vrijednosti. Maksimalno dopuštena pH vrijednost, definirana zakonskim propisima, je 6,5 – 9,5 pH jedinica.



Voda za ljudsku potrošnju mora reagirati neutralno do slabo alkalno jer kisele vode nagrizzaju vodovodne cijevi, a alkalne stvaraju talog.

Određivanje pH vrijednosti treba obaviti u što kraćem roku, a najkasnije 24 sata nakon uzimanja uzorka jer se kao rezultat kemijskih, fizikalnih ili bioloških reakcija u uzorku vode pH vrijednost može brzo mijenjati.

Određivanje pH vrijednosti može se obavljati na više načina – **indikatorima** (mjernim trakama koje mijenjaju boju u ovisnosti o pH ili doziranim otopinama određenih koncentracija koje također mijenjaju boju uzorka u ovisnosti o pH) ili potenciometrijski pomoću uređaja **pH metra** (Slika 9.).



Slika 9. pH metar

(Izvor: <https://hannainst.com/hi9124-waterproof-portable-ph-meter.html>)

pH metar koristi dvije elektrode: jedna za mjerenje pH i jedna referentna elektroda. Pri tome staklena (indikatorska) elektroda djeluje kao polovica mjernog kruga, stvarajući razliku potencijala proporcionalnu množinskoj koncentraciji vodikovih iona $[H^+]$. Taj potencijal se mjeri relativno u odnosu na referentnu elektrodu koja je u kontaktu s uzorkom (npr. kalomelova). Danas se uglavnom koristi jedna elektroda, koja se naziva i kombinirana elektroda. Membrane elektrode mogu biti staklene, od termalne plastike te od titanija s kuglastim, konusnim ili ravnim vrhom. Membrane s kuglastim vrhom koriste se u tekućim ili vodenim otopinama. Membrane s konusnim vrhom koriste se za

polutvrde i tvrde produkte, a membrane s ravnim vrhom preporučuju se za direktno mjerenje na površini kože, papira.

Određivanje koncentracije vodikovih iona

Metoda

Potenciometrija pomoću pH metra

Princip

pH-metar pomoću kombinirane pH elektrode mjeri pH vrijednost.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- pH metar
- Staklena čaša volumena 500 mL
- Termometar s podjelom skale od 0,5 °C
- Standardna puferka otopina, referentni elektroliti (elektrolitne otopine koje odgovaraju referentnoj elektrodi)
- Destilirana voda

34

Postupak za određivanje koncentracije vodikovih iona

Mjerenju pH vrijednosti prethodi **kalibracija** uređaja (provjera instrumenta na određenu vrijednost – standard) puferom poznate pH vrijednosti.

1. Izabrati standardnu puferku otopinu s pH vrijednošću približnoj vrijednosti pH uzorka vode, te izmjeriti temperaturu pufera.
2. Izvršiti korekciju temperature na pH metru, te pomoću pufera regulirati pH metar na pH pufera na toj temperaturi.
3. U čašu staviti uzorak vode (uz prethodno ispiranje čaše uzorkom vode). Izbjegavati vrtloženje uzorka, a mjehuriće zraka ukloniti laganim protresanjem čaše.
4. Prije mjerenja pH vrijednosti ispitivanog uzorka, elektrodu pažljivo isprati destiliranom vodom, a zatim uzorkom.
5. Izmjeriti temperaturu uzorka i podesiti pH metar prema izmjerenoj temperaturi.

6. Elektrodu okomito uroniti u uzorak, tako da je potpuno uronjena u uzorak. Sustav se treba stabilizirati prije početka očitavanja, a mjerenje treba obaviti najmanje dva puta.
7. Na kraju mjerenja elektrodu je potrebno isprati destiliranom vodom i čuvati u referentom elektrolitu.

pH vrijednost se izražava na dvije decimale, uz obvezatno naznačivanje temperature pri kojoj je izvršeno određivanje.

Maksimalno dopuštena pH vrijednost, definirana zakonskim propisima, je 6,5 –9,5 pH jedinica. Za vode koje se pune u boce ili drugu ambalažu, minimalna vrijednost se može smanjiti do 4,5 pH jedinica.

Rezultati pH vrijednosti nam olakšavaju daljnja mjerenja „m“ i „p“ – alkaliteta budući da nam govore u kojem području alkaliteta se nalazimo.

4.4. Alkalitet i aciditet vode

Alkalitet vode

Teorijski dio

Alkalitet vode je mjera kapaciteta vode za neutralizaciju jakih kiselina. Što je alkalitet vode veći, to je veći kapacitet vode za neutralizacijom kiseline. Alkalitet čine koncentracije aniona: hidroksidnih (OH^-), karbonatnih (CO_3^{2-}) i hidrogenkarbonatnih (HCO_3^-). Navedeni anioni čine kompleksan puferski sustav u vodi. Vrijednost alkaliteta vode definirana je i kao količina kiseline ili vodikovih iona (H^+) koja je potrebna za neutralizaciju navedenih aniona u vodi.

Alkalitet daje vodi sposobnost da ostane rezistentna na promjene pH vrijednosti, jer puferski sustav vode djeluje u oba smjera, ako dolazi do povećanja ili smanjenja pH vrijednosti.

Osnovno svojstvo puferskih sustava je da sadrže slabu kiselinu i njoj odgovarajuću sol, odnosno slabu bazu i njoj odgovarajuću sol. Zbog efekta zajedničkog iona puferske otopine održavaju konstantan pH, te se dodatkom lužina ili kiseline toj otopini njen pH ne mijenja.

Puferski sustav uključuje baze i kiseline u visokim koncentracijama koje su u međusobnoj ravnoteži. Baze djeluju kao akceptori H^+ , a kiseline kao donori H^+ .

Voda je amfiprotično otapalo, odnosno u prisutnosti proton donora ponaša kao baza, a u prisutnosti proton akceptora se ponaša kao kiselina.

Puferski sustav u vodi uključuje interakcije ugljične (karbonatne) kiseline (H_2CO_3), hidrogenkarbonata (HCO_3^-), karbonata (CO_3^{2-}) i hidroksida (OH^-).

Puferi su dvokomponentni sustavi u ravnoteži koji se sastoje od smjese slabih kiselina i njihovih soli ili slabih baza i njihovih soli.

Osnovno svojstvo i svrha pufera je zaštita otopine od utjecaja koji bi proizveli promjenu pH.

Alkalitet vode određuje se titracijom kiselinom uz pH indikatore – metiloranž („m“ – alkalitet) ili fenolftalein („p“ – alkalitet). Ovisno o upotrijebljenom pH indikatoru razlikuje se „p“ i „m“ alkalitet. Naziv „m“ – alkalitet dolazi zbog indikatora metiloranž (pH 4,2 – 4,4), a „p“ alkalitet zbog indikatora phenolphthalein (fenolftalein) (pH 8,2 – 8,4). Uvijek se prvo određuje „p“ – alkalitet pa zatim „m“ – alkalitet ako se pretpostavlja da je riječ o prirodnim vodama. „p“ – alkalitet predstavlja djelomični alkalitet (udio svih hidroksida i polovica udjela karbonata u vodi), a „m“ – alkalitet predstavlja ukupni alkalitet (udio svih karbonata, hidrogenkarbonata i hidroksida u vodi). „p“ je kvantitativna mjera za alkalitet do pH vrijednosti 8,3. Kod ove titracije, kloridna kiselina reagira s hidroksidnim i karbonatnim ionima pri čemu karbonati prelaze samo u hidrogenkarbonate. Kraj reakcije karakteriziran je promjenom boje indikatora fenolftaleina iz ružičaste u bezbojnu. Ukupni alkalitet vode određuje se uz metiloranž koji indicira promjenu pri pH vrijednosti 4,3. Pri određivanju ukupnog alkaliteta („m“ – alkalitet) u vodi s kiselinom reagiraju svi hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati pri čemu i karbonati i hidrogenkarbonati prelaze u CO_2 i H_2O . Kraj reakcije karakteriziran je promjenom boje iz žute u narančasto crvenu.

Iz rezultata titracije („p“ i „m“ – alkaliteta) određuju se tri moguća oblika alkaliteta prisutna u vodi i to: alkalitet hidrogenkarbonata, alkalitet karbonata i alkalitet hidroksida, uz pretpostavku da u vodi nema drugih anorganskih ili organskih kiselina. Pri računanju alkaliteta hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u vodi (na temelju „p“ i „m“ – vrijednosti) pretpostavlja se da hidroksidi i hidrogenkarbonati ne mogu biti prisutni u vodi u isto vrijeme. Alkalitet vode se izražava kao sadržaj CaCO_3 u mg/L vode. Ovisno o odnosu „m“ i „p“ – alkaliteta moguće je zaključivati o sadržaju pojedinih vrsta alkaliteta (Tablica 3.).

„p“- alkalitet
predstavlja
djelomični alkalitet
(udio svih
hidroksida i
polovica udjela
karbonata u vodi).

„m“- alkalitet
predstavlja ukupni
alkalitet (udio svih
karbonata,
hidrogenkarbonata
i hidroksida u
vodi).

Tablica 3. Određivanje sadržaja hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata na osnovu p i m vrijednosti (Izvor: Habuda-Stanić i Stjepanović, 2019.).

Rezultat titracije	Koncentracija iona		
	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
p = 0	0	0	m
p < m/2	0	2 p	m - 2 p
p = m/2	0	2 p = m	0
p > m/2	2 p - m	2 (m - p)	0
p = m	m	0	0

Određivanje alkaliteta vode titracijom s kloridnom kiselinom

Alkalitet se određuje titracijom vode otopinom kloridne kiseline uz indikatore metiloranž i fenolftalein. Alkalitet se izražava kao sadržaj CaCO₃ u mg/L vode.

Ukupni alkalitet („m“ – alkalitet) se određuje titracijom s kloridnom kiselinom do promjene boje indikatora metiloranža iz žute u narančastu. Tom se titracijom određuju u vodi prisutni hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati, a izražava se utroškom kloridne kiseline (c = 0,1 mol/L) potrebne za neutralizaciju 100 mL uzorka vode uz metiloranž kao indikator.

Fenolftaleinski alkalitet („p“ – alkalitet) obuhvaća ukupne hidrokside i karbonate, a određuje se titracijom uz fenolftalein kao indikator do nestanka ružičaste boje. Izražava se kao volumen utrošene kloridne kiseline (c = 0,1 mol/L) za neutralizaciju 100 mL uzorka vode.

Metoda

Titrimetrija

Princip

„p“ – alkalitet i „m“ – alkalitet vode mjere se utroškom kloridne kiseline.

Alkalitet vode određuje se titracijskom metodom koja se zasniva na postupnoj neutralizaciji alkalnih soli pomoću kiselina, u prisutnosti indikatora fenolftaleina i metiloranža. Neutralizacija alkaliteta provodi se kloridnom kiselinom. Ako se voda s

većim pH od 8 postupno neutralizira u prisutnosti fenolftaleina, kod pH 8,3 on će promijeniti boju. Ako se neutralizacija nastavlja dalje u prisutnosti metiloranža, otopina će promijeniti boju kod pH 4,5. Završna točka titracije može se odrediti vizualno promjenom boje indikatora. Na osnovi toga može se pomoću dva indikatora odrediti vrsta alkaliteta. Uz fenolftalein se određuju prisutni hidroksidi, a karbonati prevode u hidrogenkarbonate, jer se točka ekvivalentnosti nalazi pri pH 8,3. Pri titraciji uz metiloranž određuju se hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati s obzirom na to da do promjene boje dolazi pri pH oko 4.

Istovremeno se u vodi mogu naći hidroksidi i karbonati ili karbonati i hidrogenkarbonati jer je zbog međusobne reaktivnosti istovremena prisutnost hidroksida i hidrogenkarbonata nemoguća.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Erlenmeyerova tikvica od 250 mL
- Bireta volumena 10 mL

Reagensi

1. Kloridna kiselina, HCl standardna otopina ($c = 0,1 \text{ mol/L}$)
2. Fenolftalein, indikator
3. Metiloranž, indikator

Postupak

Za uzorke kod kojih je početni pH $> 8,3$ titracija se izvodi u dva stupnja, a za uzorke kod kojih je početni pH $< 8,3$ određuje se samo „m“ – alkalitet.

Određivanje djelomičnog „p“ – alkaliteta vode

„p“ – alkalitet se mjeri utroškom kloridne kiseline.

1. Biretu napuniti standardnom otopinom HCl.
2. U Erlenmeyerovu tikvicu od 250 mL staviti 100 mL uzorka vode i dodati 1-2 kapi indikatora fenolftaleina.

- Ukoliko nakon dodavanja fenolftaleina uzorak **ne promijeni svoju boju** (nema pojave ružičaste boje!), znači da imamo vodu čija pH vrijednost ne prelazi 8,2, odnosno nema „p“ – alkalitet te u vodi imamo hidrogenkarbonate. Zabilježiti „p“ – alkalitet do 8,3 kao nula.
- Ukoliko uzorak dodavanjem fenolftaleina **promijeni svoju boju** u ružičastu (boja kore crvenog luka), voda je ipak dovoljno lužnata ($\text{pH} > 8,3$) i uzorak treba titrirati standardnom otopinom HCl do nestanka boje (prijelaz iz ružičaste u bezbojnu).

Očitati volumen kloridne kiseline utrošen za titraciju (p – vrijednost).

Isti uzorak koristiti za određivanje „m“ – alkaliteta (ukupnog alkaliteta) vode!

Određivanje ukupnog „m“ – alkaliteta vode

Ukupan utrošak kloridne kiseline predstavlja „m“ – alkalitet.

1. U istu Erlenmeyerovu tikvicu (s istim uzorkom vode, poslije određivanja „p“ – alkaliteta!), dodati 1 – 2 kapi metiloranža.
Metiloranž uzrokuje promjenu boje uzorka u žutu.
2. Titrirati sa standardnom otopinom HCl do promjene boje iz žute u narančasto crvenu (prelazna točka oko $\text{pH} = 4$).

40

Izračun

Djelomični alkalitet „p“ – alkalitet:

$$\text{„p“- alkalitet} = \frac{c_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \times 1000}{V_{\text{uzorka}}}$$

$c(\text{HCl})$ – množinska koncentracija kloridne kiseline korištene za titraciju u mol/L

$V(\text{HCl})$ – volumen kloridne kiseline u mL korištene za titraciju do pH 8,3

V_{uzorka} – volumen uzorka u mL

Ukupni alkalitet „m“ – alkalitet:

$$\text{„m“- alkalitet} = \frac{c_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \times 1000}{V_{\text{uzorka}}}$$

$c(\text{HCl})$ – množinska koncentracija kloridne kiseline korištene za titraciju u mol/L

$V(\text{HCl})$ – volumen kloridne kiseline u mL korištene za titraciju do pH 4,5.

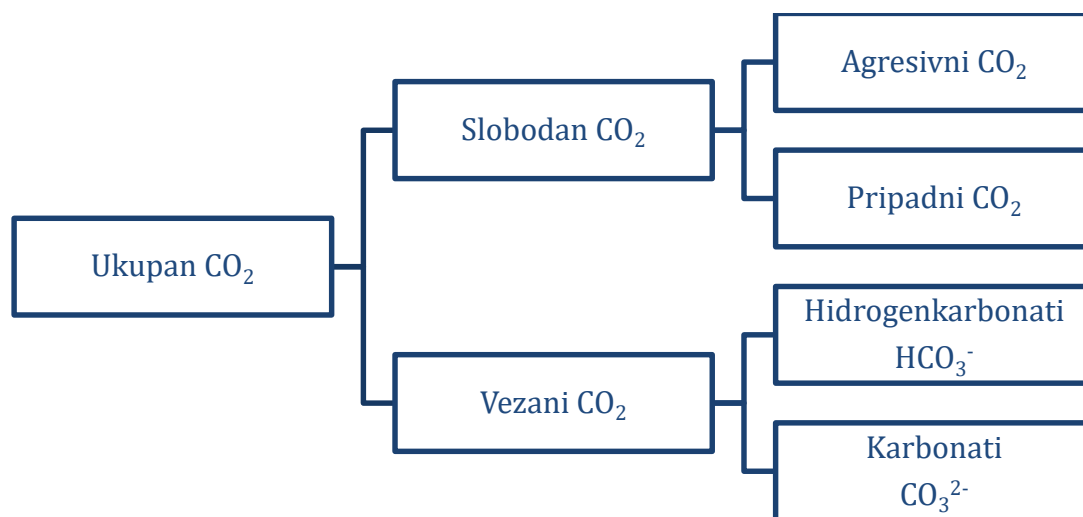
V_{uzorka} – volumen uzorka u mL

Aciditet vode

Teorijski dio

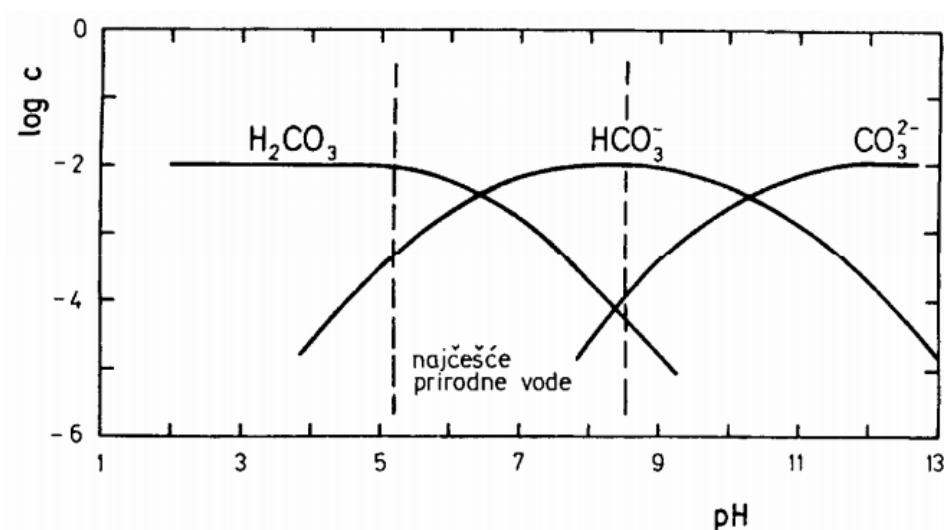
Aciditet (kiselost) prirodnih voda potiče od ugljične (karbonatne) kiseline. Ugljična kiselina (H_2CO_3) nastaje otapanjem ugljikovog dioksida u vodi.

Grafikon 1. Ugljični dioksid u vodi



Ugljična kiselina disocira otapanjem u vodenim otopinama i stvara dvije vrste iona: najprije hidrogenkarbonatni ion, a zatim i karbonatni ion. Ovisno o pH sredine prisutne su različite forme karbonatne kiseline. Slobodna karbonatna kiselina predstavlja nedisociranu karbonatnu kiselinu, pripadni dio CO₂ i agresivni dio CO₂.

Grafikon 2. Grafički prikaz karbonatne ravnoteže prema Bjerumu (Levačić, 1977.)



- Kad je $\text{pH} < 8$ u otopini su prisutni karbonatna kiselina i hidrogenkarbonatni ioni dok je sadržaj karbonata zanemariv.
- Kad je $8 < \text{pH} < 9$ u otopini su prisutni hidrogenkarbonatni ioni dok je sadržaj karbonatnih iona i slobodne karbonatne kiseline skoro zanemariv.
- Kad je $\text{pH} > 9$ u otopini su prisutne samo ionske vrste karbonatne kiseline, odnosno hidrogenkarbonatni i karbonatni ioni.

Određivanje ukupne slobodne karbonatne kiseline

Ukupna slobodna karbonatna kiselina određuje se titracijom s natrijevom lužinom (NaOH) uz fenolftalein kao indikator (prijelaz boje pri $\text{pH } 8,3$) pri čemu reakcija neutralizacije ide samo do NaHCO_3 .

Metoda

Titracija

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Staklena čaša
- Pipeta od 100 mL
- Boca s brušenim čepom

Reagensi

1. Natrijeva lužina, NaOH standardna otopina ($c = 0,1 \text{ mol/L}$)
2. Fenolftalein, indikator

Postupak

1. Odmjeriti 100 mL uzorka vode i prenijeti u bocu s brušenim čepom.
2. Dodati 3 – 4 kapi fenolftaleina.
3. Titrirati u obrocima (3 – 4 kapi) s NaOH do prve primjetne pojave slabe ružičaste boje.

Izračunavanje

Izračunavanje ukupne slobodne karbonatne kiseline:

$$CO_2 \text{ mg/L} = V_{NaOH} \times c_{NaOH} \times M_{CO_2} \times 10$$

V(NaOH) – volumen natrijevog hidroksida korištenog za titraciju u mL

c(NaOH) – množinska koncentracija natrijevog hidroksida korištenog za titraciju u mol/L

M(CO₂) – relativna molekulska masa CO₂

4.5. Tvrdća vode

Teorijski dio

Tvrdća vode jedan je od značajnijih parametra zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju. Voda kao dobro otapalo otapa minerale u tlu i tako se obogaćuje otopljenim solima. Soli kalcija (Ca^{2+}) i magnezija (Mg^{2+}) obično su prisutne u značajnim koncentracijama u prirodnim vodama, pa je tvrdća vode mjera za sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli u vodi. Ioni kalcija (Ca^{2+}) i magnezija (Mg^{2+}) u prirodnim se vodama nalaze u ravnoteži s hidrogenkarbonatima, sulfatima i kloridima.

Tvrdća vode izražava se u mg/L CaCO_3 , iako se koriste i stupnjevi ($^\circ$) i to njemački, francuski i engleski stupanj tvrdoće.

1 njemački stupanj tvrdoće = 10 mg CaO u 1 litri vode

1 francuski stupanj tvrdoće = 10 mg CaCO_3 u 1 litri vode

1 engleski stupanj tvrdoće = 10 mg CaCO_3 u 0,7 litara vode.

Najzastupljenije je iskazivanje tvrdoće vode u njemačkim stupnjevima ($^\circ\text{nj}$ ili $^\circ\text{dH}$).

S obzirom na tvrdoću, odnosno sadržaj CaCO_3 u mg/L, vode se kategoriziraju kao vrlo meke, meke, srednje tvrde, tvrde i vrlo tvrde vode (Tablica 4.).

Tablica 4. Kategorizacija voda prema parametru tvrdoća (Izvor:

http://www.waterline.hr/Prirucnik_za_vodu.pdf)

Kategorija vode	mg/L CaCO_3	Njemački stupanj tvrdoće ($^\circ\text{dH}$)
Vrlo meka voda	< 71,4	0 – 4
Meka voda	71,4 – 142,8	4 – 8
Srednje tvrda voda	142,8 – 321,4	8 – 12
Tvrda voda	321,4 – 535,7	12 – 18
Vrlo tvrda voda	> 535,7	18 – 30

Tvrdća vode može se izraziti na više načina s ciljem mjerenja i uspoređivanja voda različitih tvrdoća uz mogućnost pretvorbe mjernih jedinica i načina izražavanja tvrdoće (Tablica 5.).

Tablica 5. Pretvorba mjernih jedinica tvrdoće (Izvor:<http://www.varkom.hr/default.asp>)

Mjerne jedinice	mmol/L	mekv/L	1mg/L CaCO_3	1°d	1°e	1°f
1 mmol/L	1	2	100	5,6	7,02	10
1 mekv/L	0,5	1	50	2,8	3,51	5
1mg/L CaCO_3	0,01	0,02	1	0,056	0,0702	0,1
1 °dH	0,18	0,357	17,8	1	1,25	1,78
1°e	0,14	0,285	14,3	0,798	1	1,43
1°f	0,1	0,2	10	0,56	0,702	1

Razlikuju se nekoliko različitih tvrdoća vode i to ukupna tvrdoća (UT), karbonatna (prolazna) tvrdoća (KT), nekarbonatna (stalna) tvrdoća (NT), kao i kalcijeva tvrdoća (CaT) te magnezijeva tvrdoća (MgT) (Tablica 6).

Tablica 6. Tvrdoća vode (Ljoljo, 2012.)

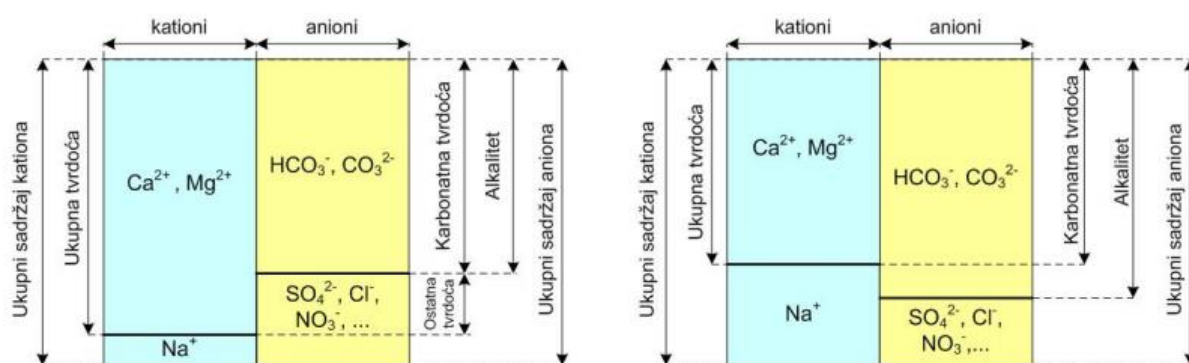
Karbonatna tvrdoća (KT)	Nekarbonatna tvrdoća (NT)	Kalcijeva tvrdoća (CaT)	Magnezijeva tvrdoća (MgT)
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	MgSO_4	CaSO_4	MgSO_4
	CaCl_2	CaCl_2	MgCl_2
	MgCl_2		

Ukupna tvrdoća vode (UT) je zbroj svih kalcijevih i magnezijevih soli (ne samo one koje su vezane s hidrogenkarbonatima i karbonatima, već i one koje su vezane sa sulfatima, kloridima, nitratima i silikatima). Jednaka je zbroju kalcijeve i magnezijeve tvrdoće ($\text{UT} = \text{CaT} + \text{MgT}$), te karbonatne (prolazne) i nekarbonatne (stalne) tvrdoće ($\text{UT} = \text{KT} + \text{NT}$). Ukupna tvrdoća određuje se titracijom s EDTA (natrijev etilen diamin tetra acetat, još poznata pod nazivom komplekson III) uz indikator Eriokrom crno T.

Karbonatna (prolazna) tvrdoća (KT), predstavlja sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli u obliku karbonata, hidrogenkarbonata i hidroksida („m“ – alkalitet) kao dio ukupne tvrdoće. Međutim, količina kalcijevog i magnezijevog karbonata u vodi vrlo je mala zbog njihove slabe topljivosti pa se karbonatna tvrdoća uglavnom sastoji od hidrogenkarbonata. Može se ukloniti zagrijavanjem vode duže vrijeme na 90 do 100 °C,

pri čemu se raspadaju u vodi topljivi kalcijevi i magnezijevi hidrogenkarbonati na teško topljive karbonate i slobodnu karbonatnu kiselinu, odnosno ugljikov dioksid i vodu. Stoga se karbonatna tvrdoća (može se otkloniti kuhanjem vode!) naziva i prolazna tvrdoća, a tvrdoća koja ostaje i nakon kuhanja vode stalna (ostatna, neprolazna) tvrdoća.

Određivanje karbonatne tvrdoće provodi se mjerenjem „m“ – alkaliteta vode (titracijom s kloridnom kiselinom uz indikator metiloranž). Karbonatna tvrdoća (KT) jednaka je „m“ – alkalitetu ako vrijednost ukupne tvrdoće (UT) premašuje vrijednost „m“ – alkalitet. Ukoliko je vrijednost „m“ – alkaliteta veća od ukupne tvrdoće (UT) tada je karbonatna tvrdoća (KT) po iznosu jednaka ukupnoj tvrdoći (Slika 10.).



Slika 10. Odnos tvrdoće i alkaliteta (Ljoljo, 2012.)

Nekarbonatna (stalna, ostatna) tvrdoća (NT), koju čine preostale kalcijeve i magnezijeve soli, tj. sulfati, kloridi, nitrati i silikati vezani za kalcij i magnezij, ne može se ukloniti zagrijavanjem vode na temperaturu vrenja. Izračunava se iz razlike ukupne i karbonatne tvrdoće, i to samo onda kada je ukupna tvrdoća veća od karbonatne. Ako se u vodi nalaze veće količine karbonata i hidrogenkarbonata alkalijskih metala (Na, K) karbonatna tvrdoća može biti veća od ukupne. U tom slučaju se uzima da je karbonatna (prolazna) tvrdoća jednaka ukupnoj, a da je nekarbonatna tvrdoća jednaka nuli.

Ukupna tvrdoća

Teorijski dio

Ukupnu tvrdoću vode sačinjavaju sve kalcijeve i magnezijeve soli sadržane u vodi (one koje su vezane s hidrogenkarbonatima, karbonatima, sulfatima, kloridima, nitritima i silikatima).

Određivanje ukupne tvrdoće

Princip

Za određivanje ukupne tvrdoće vode koristi se kompleksometrijska titracija. To je volumetrijska metoda u kojoj je titrant kompleksirajuće sredstvo koje s analitom gradi stabilan helatni kompleks. Kao titrant se koristi EDTA koja sudjeluje u reakciji kompleksiranja metala i gradnji stabilnih kompleksa samo u lužnatoj sredini (puferska otopina održava pH vrijednost) uz indikator Eriokrom crno T koji se koristi za detekciju završne točke titracije (promjene iz vinsko-crvene u plavu boju otopine). Jednostavnim očitavanjem utroška otopine EDTA dolazimo do iznosa ukupne tvrdoće.

- Dodavanjem indikatorske boje (Eriokrom crno T) u vodenu otopinu koja sadrži kalcijeve i magnezijeve ione otopina pocrveni (vinsko-crvena boja).
- Titracijom te otopine s EDTA kalcijevi i magnezijevi ioni kompleksiraju, uz pojavu plave boje.

Određivanje ukupne tvrdoće titracijom uz EDTA i Eriokrom crno T kao indikator, jedno je od najtočnijih i najbržih postupaka za određivanje ukupne tvrdoće.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica od 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 300 mL
- Pipeta od 25 mL

Reagensi

1. Eriokrom crno T, indikator
2. Amonijak, pufer otopina
3. EDTA, standardna otopina ($c = 0,1 \text{ mol/L}$)

Postupak

1. Odmjeriti 100 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL.
2. Dodati 2 mL pufer otopine amonijaka (pH 10).
3. Dodati "na vrhu noža" indikator Eriokrom crno T, nakon čega otopina postane vinsko crvene boje.
4. Titrirati (dodavati iz birete kap po kap otopinu EDTA) sa standardnom otopinom EDTA, uz stalno miješanje do promjene boje indikatora iz vinsko crvene u plavu boju.
5. Očitati volumen EDTA utrošen za titraciju.

Izračunavanje

Ukupna tvrdoća vode određena kompleksometrijskom titracijom izračunava se prema volumenu EDTA utrošenom za titraciju.

$$\text{mL EDTA} \times 0,561 = ^\circ\text{dH}$$

$$1 \text{ mL } 0,01 \text{ M otopine EDTA} = 1,00 \text{ mg CaCO}_3$$

$$\text{ml EDTA} \times \frac{1000}{100} = \text{mg/L CaCO}_3$$

Napomena: $^\circ\text{dH}$ = njemački stupanj tvrdoće (deutche Hartness)

Maksimalno dopuštena vrijednost ukupne tvrdoće nije definirana Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe. Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije.

Karbonatna tvrdoća

Teorijski dio

Karbonatnu tvrdoću vode čine hidrogenkarbonatni ioni (HCO_3^-) i karbonatni ioni (CO_3^{2-}) kao dio ukupne tvrdoće. Karbonati su netopljivi u čistoj vodi. Međutim, polako se otapaju u prirodnim vodama koje sadrže otopljeni ugljikov dioksid pri čemu prelaze u vodi topljive hidrogenkarbonate. Hidrogenkarbonati su vrlo nepostojani i u topljivoj su formi tako dugo dok se u vodi nalazi odgovarajuća količina ugljične kiseline, tzv. pripadajući CO_2 .

Uklanjanjem dijela pripadajućeg CO_2 (npr. iskuhavanjem vode) dolazi do oslobađanja ugljikovog dioksida i ponovnog taloženja karbonata.

Određivanje karbonatne tvrdoće

Karbonatna tvrdoća se određuje isto (kao i alkalitet) prema metiloranžu.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica od 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 300 mL
- Pipeta od 25 mL

Reagensi

1. Metiloranž, indikator
2. Kloridna kiselina, HCl standardna otopina ($c = 0,1 \text{ mol/L}$)

Postupak

1. Odmjeriti 100 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL.
2. Dodati 2 – 3 kapi metiloranža (ako voda požuti, u njoj ima hidroksida, karbonata ili hidrogenkarbonata).
3. Titrirati standardnom otopinom HCl uz stalno miješanje do promjene boje indikatora iz žute u narančastu boju.

Izračunavanje

$$KARBONATNA\ TVRDOĆA\ (°dH) = \frac{V_{HCl} \times c_{HCl} \times M_{CaO} \times 1000}{V_{uzorka}}$$

V(HCl) - volumen otopine HCl utrošen za titraciju u mL

c(HCl) - množinska koncentracija otopine HCl korištene za titraciju u mol/L

M(CaO) - relativna molekulska masa CaO

V_{uzorka} - volumen uzorka u mL

Nekarbonatna tvrdoća

Teorijski dio

Nekarbonatnu tvrdoću čine preostale kalcijeve i magnezijeve soli, tj. kloridi, sulfati, , nitrati i silikati.

Određivanje nekarbonatne tvrdoće vode

Nekarbonatna tvrdoća određuje se neizravno računskim putem.

Nekarbonatna tvrdoća jednaka je razlici ukupne i karbonatne tvrdoće.

Izračunavanje

$$\text{NEKARBONATNA TVRDOĆA} = \text{UKUPNA TVRDOĆA} - \text{KARBONATNA TVRDOĆA}$$

4.6. Kalcijevi i magnezijevi ioni

Kalcijeva tvrdoća

Teorijski dio

Kalcijevu tvrdoću čine sve otopljene kalcijeve soli u vodi.

Određivanje sadržaja kalcija

Za određivanje kalcijeve tvrdoće koristi se kompleksometrijska titracija sa standardnom otopinom EDTA pri pH 12. Kao indikator se koristi mureksid – K.

Metoda

Kompleksometrijska titracija

Princip

Kalcijeva tvrdoća određena kompleksometrijskom titracijom izračunava se na temelju utrošenog volumena EDTA i izražava se u mg CaO/L. Utrošak EDTA odgovara sadržaju kalcija. Magnezij pri vrijednosti pH 12 ne stvara stabilan kompleks s EDTA jer je uglavnom vezan kao $Mg(OH)_2$ tako da je utrošak EDTA proporcionalan koncentraciji otopljenog kalcija.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica od 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 250 mL
- Pipeta od 25 mL

Reagensi

1. EDTA, standardna otopina ($c = 0,1 \text{ mol/L}$)
2. Mureksid – K, indikator
3. Natrijev hidroksid, NaOH 8% otopina (za postizanje pH = 12)

Postupak

1. Odmjeriti 100 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL.
2. Uzorku dodati 1 – 2 mL otopine NaOH.

3. Dodati „na vrh noža” indikatora mureksida – K (0,20 g).
4. Titrirati uz stalno miješanje otopinom EDTA do promjene boje indikatora iz crveno-ružičaste u izrazito ljubičastu.

Utrošak EDTA odgovara sadržaju kalcija.

Izračunavanje

Količina kalcija, izraženog u obliku CaO u mg/L, iznosi:

$$\text{UDIO KALCIJA (mg/L CaO)} = \frac{V_{\text{EDTA}} \times c_{\text{EDTA}} \times M_{\text{CaO}} \times 1000}{V_{\text{uzorka}}}$$

V(EDTA) – volumen EDTA utrošen za titraciju u mL

c(EDTA) – množinska koncentracija otopine EDTA korištene za titraciju u mol/L

M(CaO) – relativna molekulska masa CaO

V_{uzorka} – volumen uzorka u mL

Magnezijeve tvrdoća

Teorijski dio

Udio magnezija određuje se računskim putem.

Određivanje sadržaja magnezija

Razlika između ukupne i kalcijeve tvrdoće predstavlja vrijednost magnezijeve tvrdoće.

Izračunavanje

Od ukupne tvrdoće, izražene u njemačkim stupnjevima, treba oduzeti udio kalcija, izražen također u njemačkim stupnjevima, te se razlika pomnoži s 10 (MMgO/MCaO) = 7,19.

Količina magnezija izražena u obliku MgO izračuna se pomoću izraza:

$$\text{UDIO MAGNEZIJA (mg/L MgO)} = \left(\text{UKUPNA TVRDOĆA} - \frac{m_{\text{CaO}}}{10} \right) \times \frac{10M_{\text{MgO}}}{M_{\text{CaO}}}$$

$m(\text{CaO})$ – masa CaO

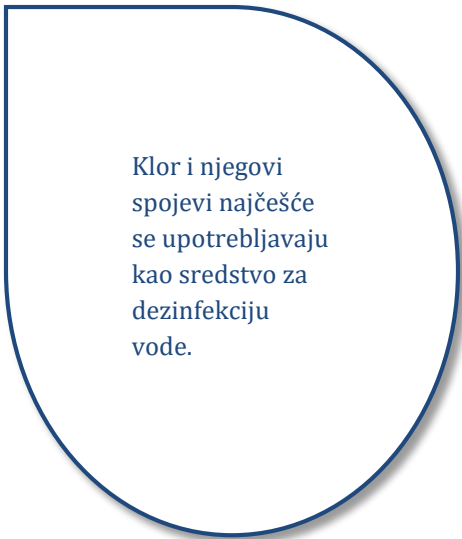
$M(\text{CaO})$ – relativna molekulska masa CaO

$M(\text{MgO})$ – relativna molekulska masa MgO

4.7. Klor

Teorijski dio

Prisutnost klora u prirodnim vodama je minimalna, ali sirova voda obavezno u procesu obrade ili pripreme vode za piće prolazi kroz proces smanjenja broja mikroorganizama u vodi ispod infekcijske doze – dezinfekciju, a najčešće se obavlja putem kontinuiranog kloriranja. Dezinfekcija vode je završna, ali obavezna faza u obradi vode za piće kojoj se podvrgava voda koja je već prošla ostale faze pročišćavanja. Dezinfekcijom se voda u bakteriološkom smislu dovodi u stanje zdravstveno ispravne vode.



Klor i njegovi spojevi najčešće se upotrebljavaju kao sredstvo za dezinfekciju vode.

Dezinfekcija klorom i njegovim spojevima najrašireniji je postupak dezinfekcije vode, a provodi se elementarnim klorom (Cl_2), klornim dioksidom (ClO_2), kalcijevim i natrijevim hipokloritom ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$, NaClO), kalcijevim klorid-hipokloritom ($\text{CaCl}(\text{ClO})$) te kloraminom (NH_2Cl).

Proces dezinfekcije klorom ovisi o pH vrijednosti, temperaturi vode i vremenu kontakta klora s vodom. Pri nižim pH vrijednostima dezinfekcija je učinkovitija. Što je viša temperatura, uspješnija je dezinfekcija. Vrijeme kontakta je vrlo bitno jer klor ne djeluje trenutno, nego je potreban određeni period kontakta klora s vodom, najmanje 30 minuta. Prilikom dodavanja klora i njegovih spojeva vodi, određena količina klora troši se u oksidacijskim procesima (organske tvari prisutne u vodi, mikroorganizmi, željezo i mangan i sl.), to je tzv. potreba vode na kloru, a određena količina zaostaje kao višak - slobodni rezidualni klor (SRK). Pojava viška klora nakon obavljene dezinfekcije i uspostavljene ravnoteže znak je uspješno obavljene dezinfekcije.

Dezinfekcijska sposobnost spojeva na bazi klora ovisi o količini aktivnog klora u njima. Pod pojmom **aktivni klor** podrazumijeva se količina hipokloritne kiseline koja se oslobađa dodatkom dezinfekcijskog sredstva u vodu.

Doza klora koju je potrebno dodati vodi da bi se izvršili postupci dezinfekcije predstavlja zbroj potrebe vode za klorom i rezidualnog klora. Doza klora se izražava u mg/L klora kojeg je potrebno dodati vodi.

$$\text{DOZA KLORA} = \text{POTREBA ZA KLOROM} + \text{REZIDUALNI KLOR}$$

Pod pojmom **potreba vode za klorom** podrazumijeva se količina klora (mg/L) kojeg je potrebno dodati vodi do pojave rezidualnog klora.

Rezidualni klor predstavlja koncentraciju klora izraženu u mg/L koja je zaostala u vodi kao višak nakon reakcije klora s tvarima koje se mogu oksidirati u vodi, tj. nakon završenog procesa dezinfekcije vode.

Kontrola koncentracije slobodnog rezidualnog klora provodi se DPD (dietil-p-fenilen-diamin) metodom pomoću kolorimetra (Slika 11.) ili komparatora, odnosno priručno pomoću kalijevog jodida i škroba.

Zakonski dozvoljena koncentracija rezidualnog klora u vodi kreće se do 0,5 mg/L.



Slika 11. Džepni kolorimetar za analizu slobodnog klora i reagens (DPD metoda) (Izvor: <https://hr.hach.com/dzepni-kolorimetar-pocket-colorimeter-ii-komplet-za-testiranje-kolorimetrom-za-analizu-slobodnog-klora/product?id=25113354694&callback=qs#>)

Rezidualni klor je garancija da je proces dezinfekcije dobro izvršen i štiti vodu od naknadne kontaminacije. Postupak uklanjanja viška klora zaostalog nakon procesa dezinfekcije vode kada je koncentracija rezidualnog klora veća od dozvoljene (0,5 mg/L) naziva se dekloriranje.

Određivanje slobodnog rezidualnog klora

- ***Određivanje rezidualnog klora DPD indikator testom***

Metoda

Kolorimetrija (DPD indikator test)

Princip

Metoda određivanja rezidualnog slobodnog klora pomoću DPD indikator testa temelji se na izravnoj reakciji slobodnog klora u vodi s N,N-dietil-1,4-fenilendiaminom (DPD-om) i stvaranju ružičasto obojenog spoja te vizualnom uspoređivanju podudarnosti boje uzorka vode i standarda (obojene otopine poznate koncentracije).

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Kivete
- Komparator

Reagensi

- Reagens – DPD (N,N-dietil-1,4-fenilendiamin)

Dodavanjem reagensa DPD-a u vodu, uzorak promijeni boju u ružičastu. Mjeri se jačina boje, u usporedbi sa standardnim bojama prikazanim na grafikonu za određivanje koncentracije klora. Veća obojenost uzorka znači i veću koncentraciju klora u uzorku

Postupak

Postupak određivanja boje zasniva se na promatranju i vizualnoj usporedbi boje uzorka i standarda.

1. U čistu kivetu uliti uzorak vode.
2. Dodati reagens u kivetu s uzorkom.

3. Vizualno usporediti boju uzorka vode s bojom na standardnoj skali.
4. Očitati vrijednost koja odgovara boji uzorka vode.

- ***Određivanje slobodnog rezidualnog klora jodometrijski***

Metoda

Titracija (jodometrija)

Princip

Metoda se temelji na oksidaciji jodida u jod u reakciji s klorom. Količina izlučenoga joda određuje se titrimetrijskiacijom s natrijevim tiosulfatom, uz otopinu škroba kao indikator. Završna točka titracije se vidi kao promjena boje otopine u intenzivno plavu obojenost.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Erlenmeyerova tikvica od 300 mL
- Bireta volumena 10 mL

Reagensi

- Natrijev tiosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ standardna otopina
- Kalijev jodid, KI
- Škrob, indikator

Postupak

1. Odmjeriti 100 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu s brušenim čepom od 300 mL.
2. Dodati 1 g KI.
3. Pričekati 30 minuta.
4. Dodati škrob (indikator).
5. Titrirati s $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, do promjene boje otopine iz žućkasto-smeđe u intenzivno modru.
6. Očitati utrošak $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ na bireti.

Izračunavanje

Sadržaj klora, u mg/L, se izračunava koristeći izraz:

$$\text{KOLIČINA REZIDUALNOG KLORA U VODI (mg/L)} = V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \times 3,55 \times 10$$

$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ - volumen $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utrošen za titraciju u mL

U izračunu se koristi 3,55 kao faktor za preračunavanje, jer je 1 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ekvivalentan 3,55 mg klora.

4.8. Kloridi

Teorijski dio

Skoro sve vode u prirodi sadržavaju izvjesnu količinu klorida u obliku NaCl, CaCl₂, MgCl₂, itd. Većina pitkih voda sadrži do 30 mg/L klorida i ne smije imati više od 250 mg/L klorida, jer u tom slučaju ima slan okus. Voda koja sadrži kloride izaziva koroziju cijevi i kotlova pa ispitivanje sadržaja klorida u vodi ima i tehnološko značenje.

Određivanje klorida

Metoda

Titracija (Mohrova metoda – taložna titracija – argentometrija)

Princip

Prisutnost klorida određuje se titrimetrijski otopinom srebrovog nitrata (AgNO₃) uz dodatak kalijeva kromata (K₂CrO₄) kao indikatora. Na početku titracije dodavanjem srebrovog nitrata nastaje netopljivi srebrov klorid (bijeli talog), a završnu točku titracije označava promjena boje analita, tj. pojava crveno-smeđe boje koja potječe od srebrovog kromata nastalog reakcijom suviška srebrovih iona s kromatnim ionima.

61

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Erlenmeyerova tikvica od 300 mL
- Bireta volumena 10 mL

Reagensi

- Kalijev kromat, K₂CrO₄ 10% otopina
- Srebrov nitrat, AgNO₃ standardna otopina (c = 0,1 mol/L)

Postupak

1. Odmjeriti 100 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL.
2. Dodati 2 mL otopine kalijevog kromata (indikator).
3. Titrirati s AgNO₃, do promjene boje otopine iz žuto-bijele u crveno-smeđu.
4. Očitati utrošak AgNO₃ na bireti.

Izračunavanje

Sadržaj klorida, u mg/L, se izračuna se iz utrošenih mL AgNO₃ za titraciju:

$$\text{mL AgNO}_3 = \text{mL Cl}^-$$

$$\text{mL AgNO}_3 \times \frac{1000}{100} = \text{mg Cl}^-/\text{L}$$

4.9. Željezo

Teorijski dio

U vodama željezo postoji u dva oksidacijska stanja, kao (Fe^{2+}) i (Fe^{3+}). Reducirano željezo je divalentno i u otopljenom stanju, a oksidacijom prelazi u trovalentni netopljivi oblik. Povećana koncentracija željeza ima negativan učinak na organoleptička svojstva vode, otopljeno željezo u vodi u doticaju sa zrakom izaziva zamućenje, a pri većim koncentracijama daje metalan odnosno gorko-sladunjav i opor okus. Željezo se u vodoopskrbnim sustavima najčešće pojavljuje kao posljedica korozije cijevi.

Određivanje ukupnog željeza

Ukupno željezo predstavlja sumu otopljenog i neotopljenog željeza.

Metoda

Spektrofotometrija

Princip

Dodatkom otopine 1,10-fenantrolina u uzorak, nastaje obojeni kompleks čiji se intenzitet mjeri fotometrijski pri 510 nm..

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica volumena 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 100 mL
- Kivete
- Spektrofotometar

Reagensi

- Hidroksilamonijev klorid, otopina
- Acetatni pufer, otopina
- 1,10-fenantrolin, otopina
- Destilirana voda

Postupak

1. Odmjeriti 50 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu od 100 mL.
2. Dodati 1 mL hidroksilamonijevog klorida i dobro promiješati.
3. Dodati 2 mL otopine acetatnog pufera, te podesiti pH između 3,5 i 5,5 (optimalno 4,5).
4. U otopinu dodati 2 mL otopine 1,10-fenantrolina i ostaviti na tamnom mjestu 15 minuta.
5. Mjeriti na spektrofotometru apsorbanciju otopine na 510 nm.

Usporedo raditi i slijepu probu (50 mL destilirane vode i navedeni reagensi).

Maksimalno dopuštena koncentracija željeza u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 200 µg/L.

4.10. Spojevi dušika

Teorijski dio

Određivanje dušika koji se u vodi pojavljuje u različitim oblicima kao amonijak, nitrit, nitrat ili organski dušik, ima veliki sanitarni značaj, jer ovi spojevi nastaju raspadom organske tvari i ukazuju na organsko onečišćenje vode koja je uz to redovito i mikrobiološki onečišćena. Svi ovi oblici, kao i elementarni dušik (N_2) u plinovitom stanju sastavni su dijelovi ciklusa dušika i biokemijski se mogu prevesti iz jednog oblika u drugi. Raspadanje organske tvari može nastupiti pod djelovanjem bakterija ili kemijskih reakcija. Svi oblici dušičnih spojeva mogu dospjeti u vodu preko otpadnih voda industrije i domaćinstava.

Od dušikovih spojeva, u vodi se određuju amonijak (NH_4^+), nitrati (NO_3) i nitriti (NO_2).

Amonijak u pravilu nije prisutan u čistoj vodi. Njegova prisutnost u površinskim vodama upućuje na „svježe“ organsko onečišćenje. U podzemnim vodama amonijak se može pojaviti kao produkt prirodnih mikrobioloških procesa redukcije nitrita i nitrata, pa se tada ne ocjenjuje loše. Nitriti se pojavljuju kao međustupanj kod biološke razgradnje organske tvari koja sadrži dušik. Nitriti mogu nastati procesom nitrifikacije i denitrifikacije. U procesu nitrifikacije pod aerobnim uvjetima nitrificirajuće bakterije oksidiraju amonijak u nitrite, a u procesu denitrifikacije u anaerobnim uvjetima nastaju bakterijskom redukcijom nitrata. Nitriti se ne nalaze često u površinskim vodama jer se tu lako oksidiraju u nitrata. U podzemne vode najčešće dopijevaju ispiranjem iz tla. U čistoj vodi nitriti se ne nalaze, ili pak samo u tragovima. Vode onečišćene nitritima upućuju na prisutnost djelomično razgrađene organske otpadne tvari. Nitrati su najviše oksidirano stanje dušika koje se nalazi u vodi. Nitratne bakterije pretvaraju nitrite u nitrata u

Prisutnost **amonijaka** u vodi ukazuje na „**svježe**“ onečišćenje, a prisutnost **nitrata** pokazatelj je „**starog**“ onečišćenja organskom tvari.

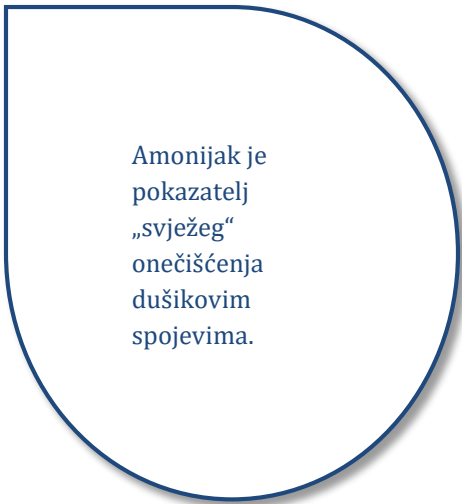
aerobnim uvjetima i pod utjecajem svjetlosti. Visoki sadržaj nitrata upućuje na prisutnost biološke otpadne tvari u krajnjem stupnju stabilizacije ili pak na ispiranje iz gnojnih poljoprivrednih površina.

Organska onečišćenja u vodi se mogu dokazati u obliku amonijaka, nitrita, nitrata, a u rezultatu se iskazuju u mg/L vode.

Amonijak

Teorijski dio

Amonijak je kemijski spoj dušika i tri atoma vodika. Nastaje dekompozicijom organskog materijala koji u sebi sadrži dušik. Bezbojan je plin, oštrog mirisa i lako topljiv u vodi. Otopljen kao plin u vodi se nalazi u ravnoteži s amonijevim ionom (NH_4^+), što ovisi o pH-vrijednosti i temperaturi vode. Prisutnost amonijevih iona i amonijaka u vodi smatra se indikatorom mikrobne razgradnje organskih tvari koje sadržavaju dušik. Amonijak je pokazatelj „svježeg“ onečišćenja dušikovim spojevima, a pod aerobnim uvjetima prelazi u nitrite i nitrate. Nije poželjan u vodi jer troši kisik za svoju oksidaciju, te može biti toksičan za vodene organizme, ali i korozivan za pojedine materijale. U površinskim vodama amonijak se pojavljuje u malim količinama u vrijeme vegetacije. Ako u vodi postoje nitrificirajuće bakterije, one pod aerobnim uvjetima oksidiraju amonijak u nitrite (međustupanj razgradnje), a nitrite zatim nitratne bakterije u aerobnim uvjetima pretvaraju u nitrate (najviše oksidirano stanje dušika u vodi). U takvim vodama opada sadržaj amonijaka, a raste sadržaj nitrata. Naglo povećanje amonijaka u vodi znak je da je ona onečišćena industrijskim vodama koje su „bogate“ raznim amonijevim solima i amonijevim hidroksidom. Za određivanje amonijaka u vodi služi kolorimetrijski postupak s Nesslerovim reagensom.



Amonijak je pokazatelj „svježeg“ onečišćenja dušikovim spojevima.

Maksimalno dopuštena koncentracija iznosi 0,50 mg NH_4^+ /L.

Određivanje amonijaka

Metoda

Spektrofotometrija s Nesslerovim reagensom

Princip

Amonijev ion u alkalnoj otopini s Nesslerovim reagensom daje žuto-smeđu ili crvenkasto-smeđu boju. Intenzitet boje proporcionalan je koncentraciji amonijevog iona i mjeri se spektrofotometrom na 425 nm. Uzorak vode je potrebno prethodno tretirati sa Seignetteovom soli da bi se spriječilo taloženje kalcija i magnezija.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica volumena 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 100 mL
- Kivete
- Spektrofotometar

Reagensi

- Nesslerov reagens, otopina
- Seignetteova sol, $\text{KNa}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) \times 4\text{H}_2\text{O}$, kalij-natrij-tartarat-tetrahidrat
- Destilirana voda

68

Postupak

Postojanje amonijaka dokazuje se uz pomoć Seignetteove soli i Nesslerova reagensa.

1. Uzorku vode od 25 mL dodati 1 mL Seignetteove soli i 1 mL Nesslerova reagensa.
2. Pričekati pet minuta da se razvije žuta boja. Ukoliko u uzorku ima amonijaka, javlja se žuto obojenje.
3. Mjeriti na spektrofotometru na 425 nm valne duljine.

Usporedo se radi i slijepa proba (25 mL destilirane vode i navedeni reagensi).

Nitriti

Teorijski dio

Nitriti su spojevi dušika s dva atoma kisika. Prirodno se pojavljuju kao dio dušičnog ciklusa, odnosno međustupanj su u biokemijskom procesu oksidacije amonijaka u nitrate. Pojavljuju se u vrlo malim količinama jer su vrlo nepostojani i u aerobnim uvjetima lako oksidiraju u nitrate. U anaerobnim uvjetima nastaju bakterijskom redukcijom nitrata procesom denitrifikacije.

Vode onečišćene nitritima upućuju na prisutnost djelomično razgrađene organske otpadne tvari.

Maksimalno dopuštena koncentracija nitrita u vodi iznosi 0,50 mg/L.

Određivanje nitrita

Metoda

Spektrofotometrija

Princip

Postupak dokazivanja nitrita zahtjeva otopinu EDTA dinatrijeve soli, sulfanilnu kiselinu, i α – naftilaminklorid. Ukoliko u uzorku ima nitrita, pojavljuje se ružičasto obojenje čiji je intenzitet proporcionalan koncentraciji nitrita u uzorku.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica volumena 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 100 mL
- Kivete
- Spektrofotometar

Nitriti mogu uzrokovati *methemoglobinemiju* - hematološki poremećaj kod kojega je željezo u hemoglobinu u oksidiranom obliku i nema sposobnost prenošenja kisika.

Reagensi

- EDTA, standardna otopina dinatrijeve soli ($c = 0,1 \text{ mol/L}$)
- Sulfanilna kiselina, $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$ otopina
- α – naftilaminklorid, otopina

Postupak

1. Odmjeriti u Erlenmeyerovu tikvicu 50 mL uzorka vode i dodati 1 mL EDTA i 1 mL sulfanilne kiseline. Ostaviti da odstoji 10 minuta.
2. Nakon toga dodati 1 mL α - naftilaminklorida.
3. Ostaviti stajati 10-30 minuta dok se ne razvije ružičasta boja. Ukoliko u uzorku ima nitrita, javlja se ružičasto obojenje.
4. Mjeriti na spektrofotometru na 520 nm valne duljine.

Usporedo raditi i slijepu probu (50 mL destilirane vode i navedeni reagensi).

Nitrati

Teorijski dio

Nitrati su krajnji proizvod oksidacije, odnosno mineralizacije organske tvari koja sadrži dušik. Prisutnost nitrata u vodi znak je „starog“ onečišćenja vode organskim tvarima. Mogu biti i anorganskog podrijetla. Prirodni izvori povećanja koncentracije nitrata u vodi su kiša, snijeg, magla ili raspad organske tvari u tlu i u sedimentu, dok su antropogeni izvori primjena umjetnih gnojiva u poljoprivredi. Mjerenje količine nitrata je važan korak u određivanju kvalitete vode. Nitrati su štetni za organizam ukoliko ih u vodi ima u većoj koncentraciji od dozvoljene. U organizmu se reduciraju u nitrite koji su uzrok nastanka *methemoglobinemije*.

Dozvoljena količina nitrata u pitkim vodama iznosi 50 mg/L.

Određivanje nitrata

Metoda

Spektrofotometrija

Princip

Postojanje nitrata dokazuje se mjerenjem apsorbancije uzorka na 220 nm.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica volumena 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 100 mL
- Kivete
- Spektrofotometar

Reagensi

- Kloridna kiselina, HCl 1 M

Postupak

1. U Erlenmeyerovu tikvicu od 100 mL odmjeriti 50 mL uzorka, dodati 1 mL HCl i promiješati.

2. Izmjeriti apsorbanciju na spektrofotometru na 220 nm valne duljine.

Usporedo se radi i slijepa proba (50 mL destilirane vode i navedeni reagensi).

4.11.Fosfati

Teorijski dio

Prirodne vode sadrže fosfor u vrlo niskim koncentracijama i to uglavnom u obliku fosfata. Oni se mogu podijeliti na ortofosfate (PO_4^{3-} - P), kondenzirane fosfate i organski vezane fosfate. Jedini oblik koji se može direktno odrediti je ortofosfat, dok drugi oblici zahtijevaju prethodnu konverziju u ortofosfate.

Fosfati u vodama potječu iz različitih izvora. Velike količine polifosfata mogu potjecati iz sredstava za čišćenje, koja sadrže fosfor u svojim glavnim komponentama. Ortofosfati koji se koriste u poljoprivredi kao umjetna gnojiva, također ispiranjem dospijevaju u površinske vode. Organski fosfor dospijeva u vodene sustave ekskrecijom vodenih organizama te otpadnim vodama.

Određena količina fosfata neophodna je za rast i razvoj biljaka i životinja. Također, fosfati su limitirajući čimbenici (faktor minimuma) primarne produkcije. No, previše fosfata u vodi dovodi do pojave eutrofikacije (cvjetanje algi, sniženje sadržaja otopljenog kisika, pomor riba), posebno kada su istovremeno prisutne i velike količine nitrata.

Dozvoljena količina fosfata u pitkim vodama iznosi 300 $\mu\text{gP/L}$.

Određivanje fosfata

Metoda

Spektrofotometrija

Princip

Reaktivni fosfor reagira s molibdatom u kiseloj sredini ($\text{pH} < 1$) stvarajući fosfomolibdatni kompleks koji se reducira kositar-kloridom i nastaje plavo obojenje čiji se intenzitet boje mjeri fotometrijski na 690 nm.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Odmjerna tikvica volumena 100 mL
- Erlenmeyerova tikvica od 50 mL
- Kivete

- Spektrofotometar

Reagensi

- Amonijev molibdat, reagens
- Kositrov (II) klorid, otopina

Postupak

1. Odmjeriti 25 mL uzorka u Erlenmeyerovu tikvicu od 50 mL.
2. Dodati 1 mL reagensa amonijevog molibdata i promiješati.
3. Dodati 3 kapi kositrovog klorida i promiješati.
4. Pričekati 10 minuta do pojave plave boje.
6. Mjeriti na spektrofotometru na valnoj duljini 690 nm.

Usporedo se radi i slijepa proba (50 mL destilirane vode i navedeni reagensi).

4.12.Organske tvari

Teorijski dio

Organske tvari su kompleksna smjesa organskih spojeva. U vodi se nalaze otopljene ili suspendirane. Nastaju biološkom razgradnjom biljnog ili životinjskog materijala u okolišu (npr. biljke, alge i mikroskopski organizmi) ili su posljedica antropogenih unosa, a u vodu dospijevaju najčešće ispiranjem tla ili iz otpadnih voda industrije i domaćinstava. Organske se tvari dijele na biološki razgradive i nerazgradive tvari. U vodi s dosta otopljenog kisika odvijaju se aerobni procesi razgradnje organske tvari, a u suprotnom anaerobni. Kisik u vodu ulazi iz atmosfere, a nastaje i procesom fotosinteze vodenih algi i viših biljaka. Koncentracija slobodnog kisika u vodi ovisi o prisutnosti organskih i anorganskih tvari. U prisutnosti organske tvari koncentracija slobodnog kisika u vodi se smanjuje jer dolazi do razgradnje organske tvari i biokemijske potrošnje kisika. Topljivost kisika u vodi ovisi o parcijalnom tlaku zraka i temperaturi. Smanjuje se pri padu tlaka i porastu temperature, odnosno više kisika otopit će se u hladnijoj vodi. Otopljeni kisik može se nalaziti u vodi u različitim koncentracijama i važan je za disanje mnogih životinja i aerobnih bakterija koje žive u vodi. Za normalan život riba koncentracija kisika mora biti u rasponu od 8 do 15 mg O₂/L. Količina otopljenog kisika ispod 3 mg/L je opasna za većinu vodenih organizama. Mjerenje količine otopljenog kisika od esencijalne je važnosti i u biotehnološkim procesima. Primjerice, u kontroli kvalitete vode u akvakulturi i

Razgradnjom organske tvari povećava se količina ugljikovog dioksida čime se snižava pH vrijednost i povećavaju koncentracije iona željeza i mangana.

Topljivost kisika u vodi vezana je uz temperaturu. Što je voda hladnija, topljivost kisika je veća.

ribnjacima, razina otopljenog kisika mora biti visoka. Ako koncentracija otopljenog kisika padne ispod dozvoljene granice, ribe će se ugušiti. Za tretiranje otpadnih voda, bakterije razgrađuju organsku tvar. Ako je količina otopljenog kisika preniska, bakterije ugibaju i razgradnja prestaje. U vodi su organske tvari nepoželjne zbog negativnog utjecaja na boju, miris i okus vode. Nisu poželjne jer mogu izazvati biološko kvalitativne promjene u sustavima za opskrbu vodom, smetaju u procesima kondicioniranja vode (npr. pri uklanjanju željeza i mangana iz vode), vežu anorganske i organske kontaminante (teške metale, pesticide i sl.), prekursori su u nastajanju štetnih halogeniranih organskih spojeva prilikom procesa dezinfekcije vode, te mogu biti toksične ili kancerogene. Ako se u vodi koja se koristi za ljudsku potrošnju nalaze humusne tvari i ukoliko se takva voda dezinficira s klorom dolazi do stvaranja lako hlapljivih halogenih ugljikovodika poznatih kao trihalometani.

Pokazatelji pomoću kojih se može odrediti sadržaj organske tvari u vodi:

- potrošnja oksidacijskog sredstva (kisik kao pokazatelj):
 - biološka (biokemijska) potrošnja kisika, BPK (*engl. Biochemical Oxygen Demand, BOD*),
 - kemijska potrošnja kisika, KPK (*engl. Chemical Oxygen Demand, COD*)
- izravno mjerenje organskog ugljika (ugljik kao pokazatelj):
 - ukupni organski ugljik (*engl. Total Organic Carbon, TOC*).

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) je pokazatelj količine biorazgradive organske tvari prisutne u vodi. Određuje količinu kisika potrebnog za biološku razgradnju organske tvari. BPK₅ je test kojim se određuje relativna potreba za kisikom, odnosno količina kisika koji se utroši u procesu razgradnje organske tvari u uzorku kroz 5 dana pri temperaturi od 20 °C. Izražava se u mg/L O₂. Temelji se na razlici vrijednosti početne i završne koncentracije O₂. Uzorci se uzimaju u Winklerove boce za određivanje kisika. U jednoj se kisik odredi odmah, dakle kisik se fiksira odmah nakon uzorkovanja, a drugi se se uzorak stavlja na tamno mjesto na 20 °C tijekom 5 dana, nakon čega se kisik fiksira i određuje.

$$\text{BPK}_5 \text{ mgO}_2/\text{L} = \text{O}_2 \text{ "odmah"} - \text{O}_2 \text{ nakon 5 dana}$$

Kemijska potrošnja kisika (KPK) predstavlja količinu kisika koja je potrebna za oksidaciju ukupnog organskog opterećenja (biološki razgradive i nerazgradive organske tvari) u uzorku. Izražava se u mg/L O₂. Važan je pokazatelj kvalitete vode. Izračunava se iz potrošnje oksidacijskog sredstva, a kao oksidans se može koristiti kalijev permanganat, KMnO₄. Voda koja sadrži organske tvari troši određenu količinu KMnO₄ za njihovu oksidaciju, a utrošak KMnO₄ ovisi o količini organskih tvari u vodi, ali i o strukturi navedenih tvari. Međutim, osim organskih tvari oksidirati se mogu i neke anorganske tvari. Iz tog se razloga, određivanje sadržaja organske tvari u vodi oksidacijom organskih sastojaka pomoću KMnO₄ može samo uvjetno uzeti kao mjerilo sadržaja organske tvari u vodi.

KPK ima redovito veće vrijednosti od BPK₅, jer se većina tvari može kemijski oksidirati, a manje biološki razgraditi!

Iako se za provjeru kvalitete vode metode KPK i BPK koriste već nekoliko desetljeća, zbog dugog vremena koje je potrebno za analizu i primjene kemikalija štetnih za okoliš sve više ih zamjenjuje metoda određivanja ukupnog organskog ugljika (TOC).

Ukupni organski ugljik (TOC) izraz je za mjeru organskog opterećenja uzorka (na bazi ugljika) i predstavlja važan pokazatelj kvalitete vode. Iz testa ukupnog organskog ugljika mogu se odrediti nerazgradive i razgradive organske tvari. Može se primjenjivati i kao linijsko mjerenje koje omogućuje učinkovito otkrivanje i kontinuirano praćenje manjih količina organskog opterećenja jer daje rezultate u stvarnom vremenu što je posebno značajno u slučajevima kad je nužan brži odgovor nego što ga pružaju laboratorijske metode.

Dokazano je da je TOC u dobroj korelaciji s KPK i BPK te je, za razliku od KPK i BPK, mjera prisutnosti svih oblika organskih spojeva u vodi. Usto, metoda je puno brža i omogućuje brzo djelovanje u slučaju detekcije onečišćenja.

Određivanje kemijske potrošnje kisika iz utroška kalijeva permanganata (KMnO₄)

Postupak određivanja sadržaja organske tvari u vodi temelji se na oksidaciji organskih sastojaka pomoću otopine kalijeva permanganata (KMnO₄). Utrošak KMnO₄ smatra se relevantnim pokazateljem količine organske tvari u vodi.

Metoda

Titracija (oksidimetrija) – permanganometrija

Princip

Metoda za određivanje utroška kalijeva permanganata, tj. permanganatnog indeksa bazira se na određivanju količine kisika koja je potrebna da se oksidiraju otopljene organske tvari u vodi nekim jakim oksidacijskim sredstvom (KMnO_4). Uzorak vode se zagrijava u kipućoj vodenoj kupelji s poznatom količinom kalijeva permanganata i sumporne kiseline u fiksnom vremenskom periodu (10 minuta). Redukcija dijela permanganata s oksidirajućim tvarima u uzorku i određivanje utrošenog permanganata dodatkom viška oksalne kiseline, praćena je retitracijom s permanganatom.

Pribor i oprema

- Uzorak vode
- Erlenmeyerova tikvica od 300 mL
- Satno staklo
- Pipeta od 100 mL
- Bireta
- Grijača ploča

Reagensi

- Sumporna kiselina, H_2SO_4 razrijeđena (1:3)
- Kalijev permanganat, KMnO_4 standardna otopina ($c = 0,002 \text{ mol/L}$)
- Natrijev oksalat, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

Postupak

1. U Erlenmeyerovu tikvicu odmjeriti 100 mL uzorka vode.
2. Dodati 10 mL H_2SO_4 .
3. Dodati 15 mL KMnO_4 .
4. Kuhati na vodenoj kupelji 20 minuta.
5. Dodati 15 mL $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (da bi se reducirao sav preostali KMnO_4)
6. Reducirati s KMnO_4 do pojave slabe, ali zamjetljive ružičaste boje
7. Odmah retitrirati otopinom KMnO_4 do pojave ružičaste boje.

Izračunavanje

Rezultat se izražava u mg/L utrošenog KMnO_4 , a određuje se prema jednadžbi:

$$\text{KMnO}_4 \text{ mg/L} = \frac{((15 + a) \times (f - 15)) \times 0,316 \times 1000}{b}$$

a - ml utrošenog KMnO_4 za retitraciju

f - faktor KMnO_4 i $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ iznosi 1

b - volumen uzorka u mL

1 mL n/100 KMnO_4 odgovara 0,316 mg KMnO_4

$$\frac{a \times 0,316 \times 1000}{100} = \text{mg/L KMnO}_4 \rightarrow a \times 0,316 = \text{mg/L KMnO}_4$$

ili

$$\frac{\text{mg/L KMnO}_4}{4} \approx \text{O}_2 \text{ mg/L}$$

Maksimalna dopuštena koncentracija za utrošak KMnO_4 iznosi 5,0 O_2 mg/L.

4.12. Ukupne otopljene tvari (TDS)

Teorijski dio

Tvari (krutine) organskog i anorganskog (mineralnog) podrijetla u vodi se mogu nalaziti raspršene (suspendirane) i otopljene (Tablica 7.). *Raspršene tvari* su krupnije čestice *od otopljenih tvari* koje se u vodi nalaze u obliku iona i molekula. Prijelaz između raspršenih i otopljenih tvari čine *koloidi*.

Tablica 7. Dimenzije čestica u vodi (prilagođeno prema Mijatović i Matošić, 2007.)

Tvari	Dimenzija čestica
Otopljene tvari	$<1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-9} \text{ m}$
Koloidi	od 1 nm do $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^3 \text{ nm} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$
Raspršene tvari	$> 1 \text{ }\mu\text{m}$

Čestice raspršene tvari veličine do $10 \text{ }\mu\text{m}$ su netaložive, a preko $10 \text{ }\mu\text{m}$ su taložive. Koncentracija čestica u vodi određuje se razdvajanjem krute faze filtriranjem kroz pore filtra veličine $2 \text{ }\mu\text{m}$. Veličina od $2 \text{ }\mu\text{m}$ je granična jer razlikuje otopljenu od čestične faze. Razdvajanje otopljene od suspendirane faze postiže se kombinacijom filtriranja i isparavanja.

Ukupna koncentracija krutine (engl. Total Solids, TS) – određuje se na način da se poznatom volumenu uzorka vode i krutine koji se upari na $103 \text{ }^{\circ}\text{C}$, vaganjem odredi ukupna masa krutine i podijeli s volumenom uzorka, koncentracija se izrazi kao mg/L.

Ukupno otopljena krutina (engl. Total Dissolved Solids, TDS) i **ukupno suspendirana krutina (engl. Total Suspended Solids, TSS)** određuju se filtriranjem uzorka otopine poznatog volumena kroz stakleni filter veličine pora $2 \text{ }\mu\text{m}$. Zaostale čestice na filteru su suspendirane čestice u vodi (TSS), njihova koncentracija odredi se sušenjem i vaganjem i izrazi kao mg/L. Koncentracija ukupno otopljene krutine (TDS) odredi se tako da se filtrat upari na $103 \text{ }^{\circ}\text{C}$, preostala krutina se izvaže i izrazi kao mg/L.

$$\text{TS} = \text{TDS} + \text{TSS}$$

Ukupno otopljena krutina koristi se kako bi se opisale anorganske soli i male količine organskih tvari, koje su prisutne i otopljene u vodi. Glavninu soli čine kationi kalcija, magnezija, natrija i kalija, te anioni karbonata, hidrogenkarbonata, klorida, sulfata i nitrata. O njihovoj količini zavisi okus i kvaliteta vode, te prihvatljivost određene vode za piće (Tablica 8.).

Vode s velikom količinom otopljenih tvari osim što su neugodnog okusa mogu izazvati i neželjene fiziološke reakcije kod korisnika, nepoželjne su za industrijsku primjenu (korozivnost vode). Voda s izuzetno niskim koncentracijama ukupno otopljenih tvari zbog svog neukusnog, bljutavog okusa može također biti neprihvatljiva.

Mjerna jedinica za ukupne otopljene tvari je miligram na litru (mg/L).

Količina suspendiranih i otopljenih tvari u vodi može se odrediti preko ostataka.

Ukupni ostatak (ukupne krutine, mg/L) dobiva se isparavanjem nefiltrirane vode.

Isparni (suhi) ostatak (otopljene krutine, mg/L) ili DW (engl. *Dry Weight*) ostaje nakon isparavanja filtrirane vode, a odnosi na količinu tvari koji zaostaje u posudi nakon isparavanjem uzorka na 103 °C, a sadrži organsku i anorgansku tvar (uglavnom ga čine otopljene soli).

Ostatak žarenjem (mg/L, mg/m³) je količina tvari koji zaostaje nakon žarenja suhog (isparnog) ostatka na 550 °C (na toj temperaturi izgara organska tvar), a ostatak sadrži anorgansku tvar.

Razlika suhog i žarenog ostatka je **količina organske tvari** (mg/L, mg/m³) ili AFDW (engl. *Ash Free Dry Weight*).

Ukupni ostatak predstavlja ukupnu količinu suspendiranih i otopljenih tvari, **isparni ostatak** predstavlja količinu otopljenih tvari, a **ostatak nakon žarenja** predstavlja količinu mineralnih tvari koje se ne mogu ukloniti žarenjem.

Gornja granica količine isparnog ostatka za pitke vode iznosi <1000 mg/L/105 °C.

Tablica 8. Kategorizacija voda prema parametru ukupno otopljene tvari (TDS) (Izvor: http://www.waterline.hr/Prirucnik_za_vodu.pdf)

Ukusnost vode	TDS (mg/L)
Odlična	< 300
Dobra	300 – 600
Dovoljna	600 – 900
Loša	900 – 1200
Neprihvatljiva	> 1200

Dobra procjena količine ukupnih otopljenih tvari u vodi može se dobiti i pomoću električne vodljivosti.

Određivanje ukupnog ostatka, isparnog ostatka i ostatka nakon žarenja

Metoda

Gravimetrija

Princip

Isparavanjem nefiltrirane vode dobiva se **ukupni ostatak**, nakon isparavanja filtrirane vode ostaje **isparni ostatak**. Žarenjem isparnog ostatka na temperaturi 550 °C dobiva se **ostatak žarenjem**. Razlika između isparnog ostatka i ostatka žarenjem predstavlja **gubitak žarenjem**, a nastaje spaljivanjem eventualno prisutnih organskih tvari i raspadanjem nekih soli.

Pribor, oprema i reagensi

- Uzorak vode
- Porculanski lončić
- Analitička vaga
- Menzura 50 ili 100 mL
- Eksikator
- Sušionik (termostat)

- Peć za žarenje (Mufolna peć)

Postupak

Pripremni postupak

1. Žarenje lončića u peći pri temperaturi ispitivanja do konstantne mase.
2. Hlađenje lončića u eksikatoru do sobne temperature otprilike 1 sat.
3. Vaganje na analitičkoj vagi.

Određivanje ukupnog ostatka

1. U lončić staviti 50 mL vode i isparavati.
2. Ostatak sušiti u sušioniku 1 sat na 105 °C.
3. Ohladiti u eksikatoru i vagati.

Izračunavanje

Rezultat se izrazi kao masa isparnog ostatka u mg/L.

$$\text{UKUPNI OSTATAK mg/L} = \frac{(a - b) \times 10\,000}{V_{\text{uzorka}}}$$

a - masa porculanskog lončića s ostatkom (g)

b - masa praznog porculanskog lončića (g)

V_{uzorka} - volumen uzorka u mL

Određivanje isparnog ostatka

1. Uzorak vode profiltrirati kroz filter.
2. Staviti 100 mL uzorka vode u porculanski lončić i isparavati u vodenoj kupelji.
3. Nakon isparavanja, uzorak u porculanskom lončiću sušiti u sušioniku na 105 °C do konstantne mase.
4. Nakon što se ohladi izvagati uzorak sa zdjelicom.

Isparni ostatak je mjera udjela anorganskih i organskih tvari koje su otopljene ili suspendirane u vodi. Rezultat se izražava u mg/L.

Određivanje ostatka žarenjem

Postupak

1. Isparni ostatak u porculanskom lončiću žariti jedan sat u peći za žarenje (mufolna peć) na temperaturi od 600 do 700 °C.
2. Nakon hlađenja keramičke zdjelice s uzorkom u eksikatoru zdjelica se izvaže.

Ostatak nakon žarenja treba biti potpuno bijel, no bit će manje ili više žućkast ako je voda sadržavala željezove soli.

Određivanje gubitka žarenjem

Gubitak žarenjem daje grub uvid u sadržaj organskih tvari u vodi, iako pri žarenju isparavaju i određene mineralne tvari. Gubitak žarenjem predstavlja razliku između isparnog ostatka i ostatka nakon žarenja.

Izračunavanje

$$\text{GUBITAK ŽARENJEM} = \text{ISPARNI OSTATAK} - \text{OSTATAK NAKON ŽARENJA}$$

Parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju

Tablica 9. Parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju (Izvor: Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe)

Pokazatelj	Jedinice	M.D.K.	Napomena
Boja	mg/PtCo skale	20	
Fosfati	µgP/L	300	
Kalcij	mg/l		Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije.
Kloridi	mg/L	250,0	Voda ne smije biti agresivna.
Koncentracija vodikovih iona	pH jedinica	6,5-9,5	- Voda ne smije biti agresivna. - Za vode koje se pune u boce ili drugu ambalažu, minimalna vrijednost se može smanjiti do 4,5 pH. Za vodu koja se puni u boce ili drugu ambalažu, a koja je prirodno ili umjetno bogata ili obogaćena ugljičnim dioksidom, minimalna vrijednost može biti niža.
Miris		bez	
Mutnoća	NTU	4	U slučaju obrade površinskih voda potrebno je postići vrijednost koja ne prelazi 1,0 NTU (jedinice nefelometrijske mutnoće) u vodi neposredno nakon postrojenja za obradu.
Nitrati	mg/L	50	M.D.K. vrijednost iznosi za $[\text{nitrat}]/50 + [\text{nitrit}]/3 \leq 1$, gdje uglate zagrade označavaju koncentraciju u mg/l za nitrat (NO₃-) i nitrit (NO₂-). Za nitrite granična vrijednost iznosi 0,10 mg/l u vodi na izlasku iz uređaja za preradu vode za ljudsku potrošnju.
Nitriti	mg/L	0,50	M.D.K. vrijednost iznosi za $[\text{nitrat}]/50 + [\text{nitrit}]/3 \leq 1$, gdje uglate zagrade označavaju koncentraciju u mg/l za nitrat (NO₃-) i nitrit (NO₂-). Za nitrite granična vrijednost iznosi 0,10 mg/l u vodi na izlasku iz uređaja za preradu vode za ljudsku potrošnju.
Okus		bez	
Temperatura	°C	25	
Ukupna tvrdoća	CaCO ₃ mg/l		Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije.
Utrošak KMnO ₄	O ₂ mg/l	5,0	Ovaj parametar nije potrebno mjeriti ako je parametar TOC analiziran, s iznimkom ako to nalažu stručni razlozi.
Vodljivost	µS/cm /20 °C	2500	Voda ne smije biti agresivna.
Željezo	µg/l	200,0	

Priprema standardnih otopina

- **1,10-fenantrolin**, otopina, otopiti 0,5000 g 1,10-fenantrolin klorida monohidrata ($C_{12}H_9ClN_2 \cdot H_2O$) u destiliranoj vodi i nadopuniti do 100 mL.
- **Acetatni pufer**, otopiti 40 g amonijevog acetata (CH_3COONH_4) i 50 mL glacijalne octene kiseline (CH_3COOH), $\rho = 1,06$ g/mL, u destiliranoj vodi i razrijediti vodom do 100 mL.
- **Amonijev molibdat**, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, 25 g amonijeva molibdata otopiti u 175 mL destilirane vode. U odmjerne tikvici od 1 L pažljivo dodati 280 mL koncentrirane H_2SO_4 u 400 mL destilirane vode. U ohlađenu otopinu sumporne kiseline dodati otopinu molibdata i nadopuniti do litre destiliranom vodom.
- **Brucin reagens**, otopiti 1 g brucin sulfata i 0,1 g sulfanilne kiseline u 70 mL vruće destilirane vode. U ohlađenu otopinu dodati 3 mL koncentrirane klorovodične kiseline i nadopuni vodom do 100 mL.
- **EDTA**, standardna volumetrijska otopina EDTA ($c = 0,1$ mol/L), osušiti određenu količinu dinatrijeve soli EDTA dihidrata ($C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$) na 80 °C, dva sata, te 3,7250 g osušene soli otopiti u vodi i razrijediti do 1000 mL. Otopinu EDTA čuvati u polietilenskoj boci.
- **Eriokrom crno T**, suhi indikator, pomiješati s NaCl p.a. u omjeru 1:100. Umjesto suhog indikatora može se koristiti i indikatorska otopina, 0,5000 g eriokrom crnog T otopiti u 100 mL 99%-tnog izopropilnog alkohola.
- **Fenolftalein**, indikatorska otopina, otopiti 1,0000 g fenolftaleina u 100 mL etanola, razrijediti vodom do 200 mL.
- **Hidroksilamonijev klorid**, otopina 100 g/L, otopiti 10 g hidroksilamonijeva klorida ($NH_2OH \cdot HCl$) u destiliranoj vodi i razrijediti do 100 mL. Otopina je stabilna tjedan dana.
- **Kalijev permanganat**, otopina $KMnO_4$ ($c = 0,02$ mol/L), otopiti 3,1600 g $KMnO_4$ u 200 mL destilirane vode, te dopuniti do volumena od 1000 mL.
- **Kalijev permanganat**, otopina $KMnO_4$ ($c = 0,002$ mol/L), pripremiti svježu otopinu s 0,02 M $KMnO_4$.
- **Kloridna kiselina**, otopina HCl ($c = 0,10$ mol/L), razrijediti 8,6 mL kloridne kiseline s destiliranom vodom do 1000 mL.

- **Kositrov (II) klorid**, otopina, 2,5 g $\text{SnCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ otopiti u 100 mL glicerola i ostaviti odstajati oko 1 dan.
- **Mureksid – K**, kalijev purpurat pomiješati s NaCl u omjeru 1:100.
- **Natrijev hidroksid**, (8% otopina, za postizanje pH = 12), otopiti 80 g natrijevog hidroksida (NaOH) u odmjernoj tikvici od 1000 mL destiliranom vodom i dopuniti do oznake.
- **Natrijev hidroksid**, standardna otopina NaOH ($c = 0,1 \text{ mol/L}$) otopiti 4,5 – 5,0 g NaOH u 1 litri hladne, destilirane vode. Standardizirati s kiselinom ($c = 0,1 \text{ mol/L}$) točno poznatog faktora uz metiloranž i čuvati u dobro zatvorenoj boci da ne veže CO_2 iz zraka.
- **Natrijev tiosulfat**, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, ($c = 0,1 \text{ mol/L}$), otopina se priprema jednom tjedno zbog razlaganja natrijeva tiosulfata. Otopi se 6 g ($\pm 0,01\text{g}$) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ sa svježeg prokuhanom, deioniziranom vodom i razrijedi do 250 mL (potresati dok se ne otopi).
- **Nesslerov reagens**, u 100 mL vode otopiti 50 g živinog (II) jodida (HgI_2) i 35 g kalij-jodida (KI). U 250 mL vode otopiti 80 g NaOH i ohlađenu otopinu pomiješati s otopinom KI i HgI_2 i nadopuniti do 500 mL. Smjesa stoji dok se talog ne slegne, nakon čega otopinu oddekantirati.

OPREZ! Radi se s otrovnim živinim spojevima i koncentriranim kiselinama i bazama. Potrebno je koristiti rukavice i kutu. Kemikalije nakon pokusa treba propisno odložiti!
- **Oksalna kiselina**, otopina $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ($c = 0,05 \text{ mol/L}$), otopiti 6,3033 g oksalne kiseline ($\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) u destiliranoj vodi, te dodati 50 mL sulfatne kiseline (H_2SO_4), razrijeđene 1:3, radi konzerviranja, te dopuniti do 1000 mL destiliranom vodom.
- **Oksalna kiselina**, otopina $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ($c = 0,005 \text{ mol/L}$), priprema se svježom razrjeđivanjem 0,05 mol/L otopine.
- **Puferska otopina amonijaka**, 54 g amonijevog klorida (NH_4Cl) otopiti u 200 mL destilirane vode, dodati 350 mL koncentrirane otopine amonijaka i dopuniti vodom do 1000 mL.
- **Seignettova sol**, 250 g kalijevog natrijevog tartarata otopiti u 400 mL destilirane vode, zagrijavati dok se volumen ne smanji na polovinu. Otopina se ohladi i nadopuni destiliranom vodom do 500 mL.

- **Sulfanilna kiselina**, 600 mg sulfanilne kiseline otopiti u 70 mL tople vode, ohladiti i dodati 20 mL koncentrirane HCl i dobro promiješati.
- **Sulfatna kiselina**, razrijeđena 1 : 3, (H₂SO₄) *pro analysi*.
- **α – naftilaminklorid**, otopiti u destiliranoj vodi 600 mg α – naftilaminklorida uz dodatak 1 mL koncentrirane klorovodične kiseline, zatim nadopuniti vodom do 100 mL, dobro promiješati i čuvati u tamnoj boci na hladnom.

Literatura

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (1999): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Bonacci, O. (2016): Hidrološka analiza pojave mutnoće na izvorima u kršu: interpretacija podataka mjerenih na izvoru Omble. Hrvatske vode 24 (95), 47-57.
- Dabić, P. (2010): Sigurnost pri radu - Laboratorijske vježbe. Interna skripta. Zavod za anorgansku tehnologiju. Kemijsko - tehnološki fakultet. Sveučilište u Splitu. Split.
- Damjanović, M. (2018): Validacija analitičke metode za određivanje ukupnog organskog ugljika u vodi (diplomski rad). Odjel za kemiju. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.
- Dietrich, A.M., G.A. Burlingame, R.C. Hoehn (2003): Strategies for Taste-and-Odor Testing Methods. American Water Works Association. 10-14. (https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjRroGBvdvgAhUM6qQKHTk-BrAQFjAAegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F230887657_Strategies_for_Taste-and-Odor_Testing_Methods&usg=AOvVaw24rRYLMZxCr2bNXAzlNXMn, 27.02.2019.)
- Džankić, N., A. Budimlić (2004): Skripta za izvođenje vježbi iz tehnologije vode i goriva. Biotehnički fakultet. Univerzitet u Bihaću. Bihać.
- Generalić, E., S. Krka (2012): Analiza realnih uzoraka. Vježbe. Zavod za analitičku kemiju. Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu. Split.
- Građevinski fakultet (2010): Kvalitet voda. Laboratorijski priručnik. Odsek za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo. Građevinski fakultet. Univerzitet u Beogradu. Beograd. (<http://www.sraspopovic.com/Baza%20znanja%20dokumenti/Polj.i%20prehr/II%20razred/Praktikum%202010%20voda.pdf>, 05.12.2018.)
- Kuleš, M., M. Habuda-Stanić (2000): Analiza vode. Prehrambeno-tehnološki fakultet. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.

- Habuda Stanić, M., B. Kalajdžić, M. Nujić (2012): Tehnologija vode i obrada otpadnih voda (upute za laboratorijske vježbe). Prehrambeno-tehnološki fakultet. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.
- Habuda-Stanić, M., M. Stjepanović (2019): Tehnologija vode i obrada otpadnih voda. Upute za laboratorijske vježbe. Katedra za tehnologiju vode i ekologiju. Prehrambeno-tehnološki fakultet. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.
- Horvat, A., S. Babić, D. Mutavdžić Pavlović (2013): Uvod u kemiju okoliša. Vježbe. 2. dio. Interna skripta. Zavod za analitičku kemiju. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Jakaša, I., I. Đapić (2012): Uvod u kemiju i kemijsku analizu. Laboratorijske vježbe. II. dio. Interna skripta. Laboratorij za analitičku kemiju. Prehrambeno-biotehnološki fakultet. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Kalajdžić, B. (2012): Primjena naprednih oksidacijskih postupaka na bazi fentonovog procesa za oksidaciju prirodnih organskih tvari u podzemnoj vodi (doktorski rad). Prehrambeno-tehnološki fakultet. Sveučilište u Osijeku. Osijek.
- Kuleš, M., M. Habuda-Stanić (2009): Kondicioniranje voda. Upute za laboratorijske vježbe. Građevinski fakultet. Zavod za hidrotehniku i zaštitu okoliša. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.
- Levačić, E. (1977): Osnove geokemije vode. Geotehnički fakultet u Varaždinu. Varaždin.
- Lovrić, J., S. Abdović: pH i puferi. Nastavni tekst. Zavod za kemiju i biokemiju. Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Medicinar. Znanost, 20-2. (http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/PUFERI-FINAL.pdf, 08.02.2019.)
- Ljoljo, Dinko (2012): Usporedba različitih postupaka za uklanjanje karbonatne tvrdoće vode (diplomski rad). Fakultet strojarstva i brodogradnje. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Ljubas, Davor (2010): Tehnološka primjena sunčeva zračenja za razgradnju organskih tvari površinskih voda (magistarski rad). Fakultet strojarstva i brodogradnje. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Mayer, D. (2004): Voda od nastanka do upotrebe. Prosvjeta, Zagreb.

- Mihoci, M. (2015): Spektrofotometrijsko određivanje boje. Osvrti. Kem. Ind. 64 (11-12), 681–694.
- Mijatović, I., M. Matošić (2007): Tehnologija vode (interna skripta). Prehrambeno-biotehnološki fakultet. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije (2017): Zdravstvena ispravnost vode za ljudsku potrošnju na području Primorsko-goranske županije u 2016. godini. Zdravstveno-ekološki odjel. Odsjek za kontrolu voda za piće i voda u prirodi. Rijeka.
- Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (Narodne novine 125/2017).
- Pravilnik o dobroj laboratorijskoj praksi (Narodne novine 38/08).
- Prirodoslovno-matematički fakultet. Praktikum iz primijenjene limnologije. Vježba 1.
([http://www.kemija.unios.hr/wpcontent/uploads/2015/04/PAK2-skripta.pdf](https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjzN6jnuDeAhWDTcAKHeVaBHkQFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.pmf.unizg.hr%2F_download%2FRepository%2FVJEZBA_1.DOC&usg=AOvVaw14ORmF5X_tvYU44WtQfBIIn, 09.01.2019.))
• Sakač, N., N. Matešić-Puač (2015): Praktikum analitičke kemije 2. Kvantitativna analiza. Za studente preddiplomskog studija kemije na Odjelu za kemiju. Odjel za kemiju. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.
(<a href=), 10.02.2019.)
- Šimunić, I. (2013): Uređenje voda. Hrvatska sveučilišna naklada. Zagreb.
- Vučemilo, M., A. Tofant (2009): Praktikum – Okoliš i higijena držanja životinja. Naklada Slap, Jastrebarsko.
- Zakon o državnom inspektoratu (Narodne novine 115/180).
- Zakon o kemikalijama (Narodne novine 18/2013).
- Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine NN 56/13, 64/15, 104/17, 115/18)
- Zakon o zaštiti na radu (Narodne novine 71/14, 118/14, 154/14 , 94/18, 96/18).

Mrežni izvori:

- http://www.waterline.hr/Prirucnik_za_vodu.pdf (10.02.2019.).
- <http://zzjzbpz.hr/index.php/component/content/article/2-sluzbe/ekologija/19-upute-i-ispitivanja> (12.02.2019.).
- <http://www.inovativnaskola.eu/uploads/ekolaboratorij-drugi.pdf> (23.01.2019.).
- [https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/upute-za-uzimanje-uzorka-vode/\(03.12.2018.\)](https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/upute-za-uzimanje-uzorka-vode/(03.12.2018.)).
- https://helpdesk.uniri.hr/system/resources/docs/000/007/293/original/Vodogradnje_-_strucni_-_12_pred.pdf?1451510905 (12.02.2019.).
- <http://www.varkom.hr/default.asp?SubItemID=14085&FlashID=14014&ParentID=13713&title=tvrdoce> (12.02.2019.).