

# Određivanje ukupnih suspendiranih čestica u prirodnim i otpadnim vodama

---

**Bekavac-Basić, Ivica**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:699405>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET

## ZAVRŠNI RAD

Određivanje ukupnih suspendiranih čestica u prirodnim i  
otpadnim vodama

Ivica Bekavac Basić

Zagreb, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET  
Zavod za primjenjenu kemiju

## ZAVRŠNI RAD

Određivanje ukupnih suspendiranih čestica u prirodnim i  
otpadnim vodama

Mentor:

Prof.dr.sc. Branka Vojnović

Student:

Ivica Bekavac Basić  
(10355/TTI)

Zagreb, rujan 2019.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Institucija u kojoj je izrađen završni rad: Sveučilište u Zagrebu  
Tekstilno–tehnološki fakultet  
Zavod za primijenjenu kemiju

Jezik teksta: hrvatski

Broj stranica: 45

Broj slika: 12

Broj tablica: 16

Broj matematičkih formula: 4

Broj kemijskih formula: 4

Broj literaturnih izvora: 19

Voditelj završnog rada: prof. dr. sc. Branka Vojnović

Članovi povjerenstva: prof. dr. sc. Tanja Pušić, predsjednica  
prof. dr. sc. Branka Vojnović, članica  
prof. dr. sc. Mario Cetina, član  
prof. dr. sc. Snježana FirštRogale, zamjenik člana

Datum predaje:

Datum obrane rada:

## PREDGOVOR:

Ovaj završni rad sam izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i pomoću navedene literature.

Posebno se zahvaljujem profesorici dr.sc. Branki Vojnović na pomoći i savjetima tijekom pisanja ovoga rada.

Također se zahvaljujem svojoj majci na potpori, razumijevanju i strpljenju tijekom mog studiranja.

## SAŽETAK:

Suspendirane čestice u prirodnim vodama uglavnom potječu od humusnih tvari, glina i prirodnih organskih tvari (npr. mikroorganizama) dok se u otpadnim vodama tekstilne industrije vrlo često susreću suspendirane čestice koje potječu od raznih suspenzija, otpadnih vlakna, od otpuštenih čestica mikroplastike ali i suspendiranih čestica anorganskih tvari (mangan, željezo, nitrati itd.). Prisutnost suspendiranih čestica u otpadnim vodama značajno smanjuje kvalitetu vode te ih je postupcima pročišćavanja potrebno ukloniti, uz njihovu prethodnu kvantifikaciju. U ovome radu je određena ukupna suspendirana tvar u realnom uzorku površinske vode kao i u vodi za ljudsku potrošnju. Suspendirane čestice su određene filtracijom kroz membranski filter od staklenih vlakana definirane veličine pora, 0,7  $\mu\text{m}$ . Pri definiranju kvalitete navedenih uzoraka voda, određene su ukupno otopljene i ukupno suspendirane čestice kombinacijom procesa filtracije, isparavanja i vaganja. Opisani su i pokazatelji kvalitete vode kao i procesi obrade otpadnih voda sa ciljem uklanjanja suspendiranih čestica iz voda.

**Ključne riječi:** suspendirane čestice, otopljena tvar, otpadne vode, kvaliteta vode,

# SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	3
2.1 Voda za ljudsku potrošnju i otpadne vode .....	4
2.2. Procesi obrade voda i procesna oprema .....	5
2.3. Fizikalni procesi .....	7
2.4. Kvaliteta vode .....	10
2.5 Fizikalni pokazatelji kvalitete vode .....	10
2.5.1. Sadržaj čvrste tvari .....	11
2.5.2. Suspendirane tvari .....	13
2.5.3. Mutnoća .....	15
2.5.4. Boja .....	16
2.5.5. Miris i okus .....	17
2.5.6. Temperatura .....	17
2.6. Kemijski pokazatelji kakvoće vode .....	19
2.6.1. Ukupno otopljene tvari i elektrovodljivost .....	20
2.6.2. Koncentracija vodikovih iona .....	21
2.6.3. Alkalitet .....	21
2.6.4. Tvrdoća vode .....	22
2.6.5. Otopljeni plinovi .....	23
2.6.6. Organske tvari .....	24
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	26
3.1. Kemikalije .....	26
3.2. Pribor .....	26
3.3. Uređaji i aparature .....	26
3.4. Uzorci vode .....	27
3.4.1. Uzorkovanje .....	27
3.4.2. Predodradba uzorkai filtera .....	28
3.4.3. Priprema suspenzije celuloze .....	28
3.4.3.1. Suspenzija primarnog standarda, $0,5000 \text{ g/dm}^3$ .....	28
3.4.3.2. Suspenzija radnog standarda, $50 \text{ mg/dm}^3$ .....	28
3.4.4. Određivanje taloživih tvari u vodama .....	29

3.4.4.1. Princip metode određivanja taloživih tvari.....	29
3.4.4.2. Priprema uzorka vode i određivanje volumena taloživih tvari i dinamike taloženja .....	29
3.4.5. Određivanje suspendiranih tvari u vodama (TSS) .....	30
3.4.5.1. Princip metode određivanja suspendiranih tvari.....	30
3.4.5.2. Priprema uzorka vode i određivanje ukupne suspendirane tvari.....	30
3.4.6. Određivanje ukupno otopljenih krutina u vodama (TDS).....	31
3.4.6.1. Princip metode određivanja ukupno otopljenih krutina (tvari) .....	31
3.4.6.2. Priprema uzorka vode i određivanje ukupne otopljene tvari .....	32
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	34
4.1. Rezultati određivanja taloživih tvari .....	34
4.2. Rezultati određivanja ukupne suspendirane tvari.....	35
4.3. Rezultati određivanja ukupne otopljene tvari.....	37
5. ZAKLJUČAK .....	43
6. LITERATURA.....	44



## **1.UVOD**

Voda je temeljni životni uvjet i kao takav jedinstven i nezamjenjiv prirodni resurs ograničenih količina i neravnomjerne prostorne i vremenske raspodjele. Iz činjenice da su svi oblici života i sve ljudske aktivnosti više ili manje vezane uz vodu jasno proizlazi važnost odnosa prema vodi. Gospodarski razvoj i urbanizacija dovode, s jedne strane, do velikog porasta potreba za vodom, a s druge, do ugrožavanja vodnih resursa i vodnoga okoliša. Voda tako može postati ograničavajući čimbenik razvoja, te prijetnja ljudskom zdravlju i održivosti prirodnih ekosustava. Hrvatska se ubraja u skupinu vodom relativno bogatih zemlja u kojoj problemi s vodom i oko vode još nisu zaoštrjeni i vodni resursi zasad nisu ograničavajući čimbenik razvoja. Prema istraživanjima UNESCO-a iz 2003. godine, Hrvatska je po dostupnosti i bogatstvu vodenih izvora na vrlo visokom 5. mjestu u Europi, a na 42. u svijetu. Bilance površinskih i podzemnih voda pokazuju da Hrvatska raspolaže velikim nejednoliko prostorno i vremenski raspoređenim količinama površinskih i podzemnih voda [1].

Voda je javno dobro i u Republici Hrvatskoj ima potpunu zaštitu. Prema važećem Zakonu o vodama [2], voda (podzemna ili površinska) ne može biti objektom prava vlasništva niti drugih stvarnih prava. Ovo je izričito navedeno u spomenutom Zakonu i postalo je sastavni dio zakonodavstva pristupanjem Hrvatske u EU. Stoga se vode neće i ne mogu privatizirati, a treba reći kako niti vodne građevine (građevine u sustavima javne vodoopskrbe i odvodnje) također ne mogu biti privatizirane i uvijek ostaju u vlasništvu jedinica lokalne samouprave. Zbog izuzetnog značaja vode za svakodnevni život, potrebno je kontinuirano pratiti kvalitetu vode, koja će se koristiti kako u kućanstvu, tako i u gospodarskoj djelatnosti. Ovisno o namjeni vode, potrebno je kontinuirano provoditi praćanja kvalitete i količine vode tj. monitoring vode. Monitoring je proces opetovanog promatranja jednog ili više pokazatelja kvalitete i količine voda, prema utvrđenom programu.

Jedan od pokazatelja koji opisuju fizikalno-kemijske karakteristike vode su i suspendirane čestice. Suspendirane čestice u prirodnim vodama uglavnom potječu od humusnih tvari, glina i prirodnih organskih tvari (npr. mikroorganizama) dok se u otpadnim vodama tekstilne industrije vrlo često susreću suspendirane čestice koje

potječu od raznih suspenzija, otpadnih vlakna, od otpuštenih čestica mikroplastike ali i čestica anorganskih tvari (mangan, željezoid.). Prisutnost suspendiranih čestica u otpadnim vodama značajno smanjuje kvalitetu vode te ih je postupcima pročišćavanja potrebno ukoniti, uz njihovu prethodnu kvantifikaciju.

Culj ovoga rada je bio odrediti ukupnu suspendiranu tvar i ukupnu otopljenu tvar u realnom uzorku površinske vode a dobivene vrijednosti usporediti s vrijednostima dobivenim određivanjem suspendirane tvari uvodi za ljudsku potrošnju.

## **2. TEORIJSKI DIO**

Svakome je dopušteno korištenje voda za osobne potrebe, na način i u količinama koje ne isključuju druge od jednakog korištenja (opće korištenje voda). Opće korištenje voda obuhvaća zahvaćanje površinske i podzemne vode iz prvoga vodonosnoga sloja i to za: piće, kuhanje, grijanje, održavanje čistoće, sanitarne i druge potrebe u kućanstvu i korištenje površinskih voda za kupanje, sport i rekreaciju i druge slične namjene. Opće korištenje voda ne obuhvaća korištenje voda za navodnjavanje neovisno o veličini površine koja se navodnjava.

Uporaba vode, odnosno njihova namjena je za:

1. Zahvaćanje površinskih i podzemnih voda, uključujući i izvorske, mineralne, termalne i termo mineralne vode za različite namjene (opskrba vodom za piće, stavljanje na tržište u izvornom ili prerađenom obliku u bocama ili drugoj ambalaži, sanitarne i tehnološke potrebe, zdravstvene i balneološke potrebe, grijanje, navodnjavanje i druge namjene)
2. Vodne snage za proizvodnju električne energije i pogonske namjene
3. Uzgoj slatkovodnih riba i drugih vodnih organizama
4. Plovidbu
5. Sport, kupanje i rekreaciju
6. Postavljanje plutajućih ili plovećih objekata na vodama [2]

Pri tome je važno napomenuti da je voda namijenjena za ljudsku potrošnju:

a) sva voda, bilo u njezinu izvornome stanju bilo nakon obrade (kondicioniranja), koja je namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge potrebe kućanstava, neovisno o njezinu podrijetlu te o tome potječe li iz sustava javne vodoopskrbe, iz cisterni ili iz boca odnosno posuda za vodu i

b) sva voda koja se rabi u industrijama za proizvodnju hrane u svrhu proizvodnje, obrade, očuvanja ili stavljanja na tržište proizvoda ili tvari namijenjenih za ljudsku potrošnju, osim ako nadležno tijelo ne smatra da kakvoća vode ne može utjecati na zdravstvenu ispravnost prehrambenih proizvoda u njihovu konačnom obliku

Da bi se voda mogla koristiti u određene svrhe, potrebno je poznavati njezinu kvalitetu. Kvaliteta vode za kućanstvo i industriju definirana je Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju [3]. U industriji se voda rabi u različitim procesima, pa se i dodatni zahtjevi za kvalitetom vode razlikuju u usporedbi s kvalitetom vode za piće.

Voda za industrijsku uporabu može se razvrstati na:

a) procesnu vodu – voda koja ulazi u proizvodni proces i ugrađuje se u proizvod ili je značajna za odvijanje procesa (otapanje rekreacijskih smjesa, ispiranje, vođenje procesa u kupeljima itd.).

b) rashladnu vodu – voda za izmjenjivače topline (specifični zahtjevi za kvalitetom rashladne vode uključuju: nisku temperatura, malu tvrdoća, ne smije biti korozivna i ne smije sadržavati mikroorganizme jer se njihovim razvojem može smanjiti protok vode u cijevima i posljedično hlađenje); rashladne vode su industrijske otpadne vode koje se koriste za odvođenje topline iz procesa ili uređaja, a mogu biti u zatvorenom ili otvorenom rashladnom krugu

c) energent – voda za pripremu pare u parogeneratorima za proizvodne procese, za turbine u termoelektranama i nuklearnim elektranama [4].

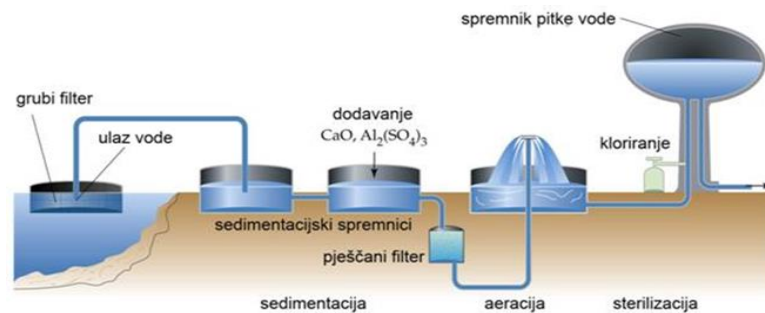
## 2.1 Voda za ljudsku potrošnju i otpadne vode

U prirodi ne postoji kemijski čista voda. Voda prolazi kroz tlo i stijene, te na svom putu otapa brojne minerale. Osim otopljenih tvari, u vodi mogu biti prisutne i suspendirane tvari, primjerice različite vrste gline. Voda za piće crpi se iz vodnih resursa u blizini naselja, a to mogu biti vrela, zdenci, rijeke, jezera i akumulacije. Ovisno o fizikalno-kemijskim pokazateljima zahvaćene vode, odabiru se odgovarajući procesi pročišćavanja (kondicioniranja). Kondicioniranje je postupak obrade zahvaćene vode da bi postala prikladna za ljudsku potrošnju.

Procesi filtracije i dezinfekcije primjenjuju se za vode koje se crpe iz kaptiranih zdenaca ili izvora. Kod zahvaćanja površinske vode procesom koagulacije i flokulacije izdvajaju se suspendirane čestice, koloidne čestice i humusne tvari, koje uzrokuju

mutnoću i obojenost, a nakon taloženja se voda filtrira i po potrebi dezinficira, kao što je prikazano na slici 1.

Geološka formacija izvorišnog područja utječe na sastav vode, pa tako u nekim zdenecima mogu biti prisutni ioni željeza, mangana ili arsena, koji se moraju ukloniti iz vode prije upuštanja u vodoopskrbni sustav.



Slika 1. Shematski prikaz procesa za pripremu industrijskih voda i pročišćavanje prirodnih voda [5]

Otpadne vode su sve potencijalno onečišćene industrijske, sanitarne, oborinske i druge vode, koje je prije ispuštanja u prirodne prijemnike potrebno odgovarajuće pročititi. Odgovarajuće pročišćavanje otpadnih voda uključuje obradu otpadnih voda bilo kojim postupkom i/ili načinom ispuštanja, koja omogućava da prijamnik zadovoljava odgovarajuće ciljeve kvalitete za vode prema Zakonu o vodama [2] i prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda [6].

## 2.2. Procesi obrade voda i procesna oprema

Ovisno o namjeni vode, vodu je nakon zahvaćanja iz prirode, potrebno prije upotrebe pročititi/kondicionirati ili odgovarajuće prireditiza određeni tehnološki proces ili tip industrije (npr. omekšati, slika 1.), a nakon upotrebe ju pročititi do odgovarajućeg stupnja čistoće, definiranog Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda [6].

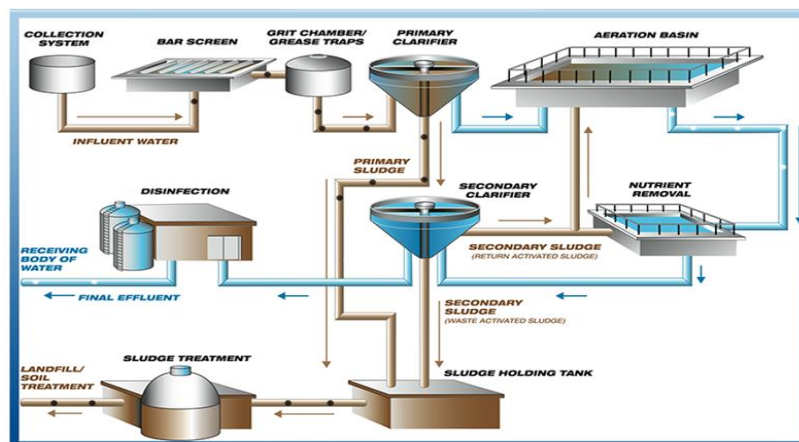
Voda za javnu vodoopskrbu gradova i naselja crpi se iz kaptiranih zdenaca i pročišćava procesom filtracije pri čemu se uklanjaju suspendirane čestice. Nakon filtracije voda se po potrebi dezinficira kako bi se uništili vodom prenosivi patogeni mikroorganizmi.

Kada voda u zdenču, površinska voda ili voda iz akumulacije sadrže i druga anorganska i organska onečišćenja (mutnoća, željezo, mangan, arsen, humusne tvari, nitrati), tada se ovisno o prisutnoj vrsti neželjene ili štetne tvari, primjenjuju i procesi koagulacije/flokulacije, oksidacije, adsorpcije, membranske filtracije, reverzne osmoze i ionske izmjene.

Tablica 1. Veličine čestica koje se uklanjaju u pojedinom stupnju otpadne vode

Veličina čestica	Stupanj obrade	Primjer
10 cm, 1cm	prethodni	Kamenje, šljunak
1 mm, 100 $\mu$ m, 10 $\eta$ , 1 $\eta$	Prvi (primarni)	Pahuljice (flokule), <b>suspendirane tvari</b> , suprakoloidne tvari, koloidne tvari
0,1 $\eta$ , 10 nm	Drugi (sekundarni)	Subkoloidne tvari, <b>otopljene tvari</b>
1 nm	Treći (tercijarni)	<b>Otopljene tvari</b>
1nm	napredni	Postojane otopljene organske i bionerazgradive tvari

Pri obradi otpadne vode primjenjuju se mehanički, fizikalni, kemijski, fizikalno-kemijski i biološki procesi, kao što je prikazano u tablici 2. Uklanjanje suspendiranih i koloidnih čestica biorazgradivih organskih tvari, postojanih organskih tvari i otopljenih anorganskih tvari iz otpadne vode provodi se u četiri stupnja, slika 2. U svakom stupnju obrade uklanja se samo određena vrsta onečišćujućih tvari iz otpadne vode, pa tako u prethodnom stupnju krupne čestice šljunka i kamenja, dok u posljednjem, naprednom stupnju, bionerazgradive postojane otopljene organske tvari.



Slika 2. Prikaz tijeka klasične obrade otpadne vode s obradom mulja [7]

Tablica 2. Klasifikacija procesa obrade otpadne vode [4]

Redosljed stupnja obrade	Svrha stupnja obrade	obrada	Glavna onečišćenja	Klasifikacija mehanizma obrade
PRETHODNI (preliminarni)	Zaštita procesa koji slijede	- Uklanjanje otpada (rešetke, pjeskolovi)	- Drvo, kamenje, papir, šljunak, lišće	- fizikalni
PRVI (primarni)	Ispuštanje efluenta u neosjetljiv recipient i priprema za sekundarnu obradu	- Taloženje u primarnom taložniku; - taloženje uz flokulante	- susp. tvar, metali, fosfor; - biorazgradljive organske tvari	- Fizikalni; - Fizikalno-kemijski
DRUGI (sekundarni)	Obrada za ispuštanje većinu prirodnih prijemnika	- Aktivni mulj, biološki filtri, anaerobno; - koagulacija/flokulacija	- Organska tvar; - Susp.tvar, N i P	- Biološki - Fiz.-kem., fizikalni, biološki, kemijski
TREĆI (tercijarni)	Ispuštanje „osjetljive vode”	- filtracija, - dezinfekcija (klor, ozon)	- susp.tvari, - patogeni mikroorganizmi	- Fizikalni - Kemijski
NAPREDNI	Uklanjanje specifičnih onečišćenja	- Ionska izmjena, membranska filtracija, adsorpcija - fotooksidacija	- N, metali, anorganske tvari, - postojane org. tvari	- Fizikalni - Kemijski

U ovome radu, opisan će se i procesi uklanjanja suspendirane tvari iz voda.

### 2.3. Fizikalni procesi

**Rešetke** u prethodnom stupnju obrade otpadne vode zadržavaju krupne inertne frakcije taloživih tvari. Ova operacija služi za zaštitu opreme u daljnjim stupnjevima obrade od oštećenja ili začepljenja. Učinkovitost procesa ovisi o razmaku rešetaka pa je razmak rešetaka kod prethodnog cijedenja 30-100 mm, srednje finog cijedenja 10-25 mm i kod finog cijedenja 3-10 mm. Prema izvedbi se rešetke mogu podijeliti na nagnute pod

kutom, sa zupčanicima, s grabljama, s četkom na beskonačnoj traci, te s češljevima na beskonačnoj traci.

**Pjeskolov** se primjenjuje u prethodnoj obradi otpadne vode. U ovoj operaciji uklanjaju se čestice veličina većih od 0,2 mm poput pijeska, šljunka i sitnih čestica minerala. Uređaji kanalskog oblika mogu biti izvedeni s promjenjivim protokom ili konstantnim protokom otpadne vode. Vrijeme zadržavanja otpadne vode u pjeskolovu je 1-2min.

Pjeskolovi mogu biti izvedeni i kao kružni s tangencijalnim napajanjem otpadnom vodom s mehaničkim miješanjem ili s upuhavanjem zraka. Istaloženi se pijesak uklanja mehaničkim struganjem k rubu okna ili usisnom pumpom.

**Mastolov** se također primjenjuje u prethodnoj obradi otpadne vode, a svrha je ove operacije ukloniti masti i ulja prije sljedećeg stupnja obrade. Mehanizam uklanjanja osniva se na prirodnom svojstvu masnoća da kao lakša frakcija plivaju na površini vode. Separatori ulja i masti proizvode se za različite protoke, od malih pogona pa sve do velikih postrojenja za obradu otpadnih voda gradova s milijunskim stanovništvom.

Kod ovih posljednjih, u prethodnoj obradi otpadne vode istovremeno se uklanjaju pijesak, te ulja i masti. Kod manjih jedinica za obradu otpadne vode u mastolove se može dodati prilagođena imobilizirana miješana kultura mikroorganizama. Mikroorganizmi sintetiziraju lipolitičke enzime koji razgrađuju ulja i masti, pa se masnoća ne mora odvajati i zbrinjavati.

**Filtracija** je fizikalni proces kojim se uklanjaju suspendirane i koloidne čestice iz vode. Proces filtracije vode kroz sloj zrnatog sredstva tradicionalno se koristi i u širokoj je primjeni diljem svijeta. U ovom procesu iz vode se uklanjaju suspendirane čestice veće od 1mm i to: čvrste taložive ili lebdeće tvari anorganskog ili organskog podrijetla, koloidno raspršena mutnoća i mikroorganizmi. Za pročišćavanje vode odabiru se različite izvedbe filtara.

U fizikalne procese obrade otpadne vode ubrajaju se sedimentacija (taloženje), flotacija i adsorpcija. **Sedimentacija** je proces uklanjanja čvrstih čestica iz otpadne vode gravitacijskim taloženjem. Proces se odvija u sedimentacijskim bazenima (taložnicima) odnosno u izbistrivačima ili u ugušćivačima. Sedimentacijom se uklanjaju organske i anorganske čvrste čestice iz neobrađenog ili obrađenog toka.



Na proces taloženja utječu, osim karakteristike čestice, površina taložnika i protok otpadne vode. Pri gravitacijskom ugušćivanju kod razrijeđenih suspenzija u diskontinuiranim se uvjetima čestice talože slobodno, dok ne dospiju do dna taložnika. Porastom koncentracije čestica u suspenziji dolazi do veće interakcije među česticama, pa se smanjuje brzina taloženja. Brzina taloženja ovisi o koncentraciji, pa se gustoća toka čestica mijenja s dubinom bazena. Ugušćivanje se nastavlja prema dnu, pa se stvara područje kompresije, a novo istaložene čestice djelomično podupire sloj koji se nalazi ispod njih.

**Taložnic**ise primjenjuju u prvom stupnju obrade za selektivno uklanjanje taloživih čestica iz otpadne vode, te nakon drugog stupnja za odvajanje(separaciju) biološkog mulja ili kemijskih taloga.

**Flotacija**je fizikalni proces i primjenjuje se za ugušćivanje mulja pri čemu se u suspenziju uvode mjehurići plina za destabilizaciju koloidnih čestica. Mjehurići plina se prilijepi oko čestica mulja pa stvarna gustoća čestice postaje manja od vode. Proces flotacije otopljenim zrakom zasniva se na dovodu zraka tlačnom pumpom u retencijski i flotacijski bazen. Čestice mulja iz suspenzije se izdvajaju na površinu i uklanjaju zgrtačem, a izbistreni tok otpadne vode otječe preko pregradnih kanala i prilagodljivih rešetki.

Flotacija se odabire umjesto sedimentacije u sustavima obrade otpadne vode kada je brzina taloženja čestica mala pa se vrlo sporo talože ili se ne mogu istaložiti. Flotatori se primjenjuju u prvom stupnju obrade za ugušćivanje kemijskih muljeva nastalih nakon koagulacije ili u drugom stupnju za ugušćivanje aktivnog mulja nakon biološke obrade nekih industrijskih otpadnih voda (mljekarska industrija, proizvodnja pekarskog kvasca), zatim za uklanjanje celuloznih vlakana iz otpadne vode industrije celuloze i papira, za uklanjanje ulja i masti iz otpadnih voda prehrambene industrije i rafinerije nafte, kao i za koncentriranje metalnih ruda u rudnicima.

**Centrifugiranje** je fizikalni proces pri čemu se djelovanjem centrifugalne sile provodi separacija čvrstih tvari od kapljevine. Centrifuge ili filtracijske centrifuge se najčešće primjenjuju u različitim industrijskim procesima.

## 2.4. Kvaliteta vode

U prirodnim vodama nalaze se raspršene i otopljene tvari, što je posljedica promjena ekosustava, a naročito antropogenog utjecaja.

Upotrebljivost voda za pojedine namjene ovisi o sastavu, svojstvima i koncentraciji pojedinih tvari u vodi. Zbog toga se kad je riječ o gospodarenju vodama uvodi pojam „kvalitete vode“. Kao što se „količina vode“ izražava brojevanim vrijednostima, tako se i „kvaliteta vode“ određuje veličinom pojedinih pokazatelja određenih tvari i/ili energije što ih voda sadrži.

Kvaliteta vode ocjenjuje se prema sljedećim skupinama pokazatelja:

-fizikalnim

-kemijskim

-biološkim

Sva otopljena i raspršena tvar u vodi može biti organskog ili anorganskog podrijetla. Otopljena tvar nalazi se u vodi u obliku iona ili molekula koje su po dimenzijama istog reda veličine ili manje od molekule vode (manje od  $10^{-6}$  mm).

Koloidi su sitne čestice u vodi koje po svojim svojstvima čine prijelaz između otopljenih i raspršenih tvari. Veličina čestica su na granicama od  $10^{-6}$  do  $10^{-3}$  nm. Određene su kao čestice koje se zadrže na filteru veličine otvora  $10^{-3}$  mm. Poznavanje pojedinih pokazatelja kvalitete vode bitno je za nadzor i upravljanje vodnim bogatstvima [8].

## 2.5 Fizikalni pokazatelji kvalitete vode

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

- sadržaj čvrste tvari (suspendirane tvari)

-mutnoća

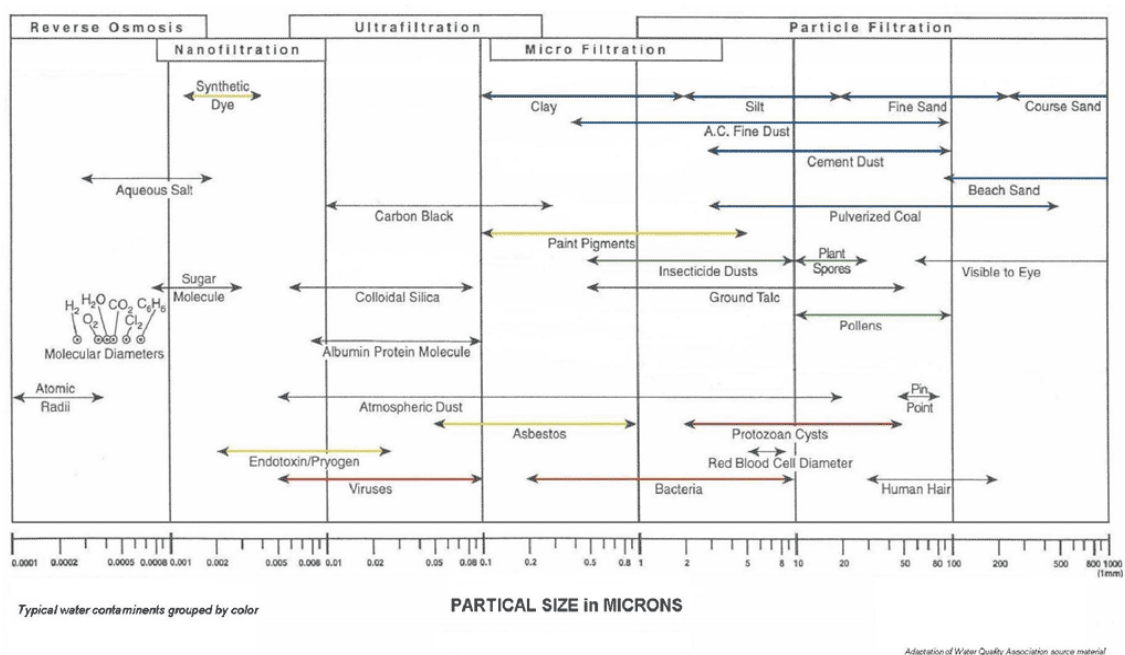
-boja

-okus i miris-

-temperatura

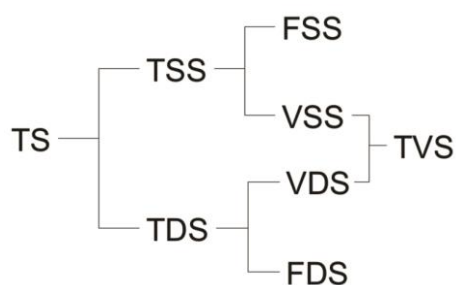
### 2.5.1. Sadržaj čvrste tvari

Čvrste tvari upućuju na sadržaj suspendiranih i otopljenih tvari u prirodnim vodama i otpadnim vodama koje mogu biti različitih veličina čestica. Ovisno o veličini čestica prisutnih u vodama, definira se i postupak obrade i pročišćavanja voda (slika 3.).



Slika 3. Procesu filtracije vode u odnosu na različite veličine čestica [17]

Čvrste tvari mogu nepovoljno utjecati na vodu više slučajeva. Vode s visokim postotkom otopljenih tvari nisu poželjne za piće i neprikladne su za industrijsku primjenu. Vode s visokim sadržajem suspendiranih tvari su loše primjerice za kupanje. Pri karakterizaciji čvrste tvari u vodama, definiraju se slijedeći parametri (slika 4.):



Legenda:

TS – Total Solids – ukupna čvrsta tvar

TSS – Total Suspended Solids – ukupna suspendirana tvar

FSS – Fixed suspended Solids – Stalna suspendirana tvar (anorg.)

VSS – Volatile suspended Solids – Hlapiva suspendirana tvar (org.)

TDS – Total Dissolved Solids – Ukupna otopljena tvar

FDS – Fixed Dissolved Solids – Stalna otopljena tvar (anorg.)

VDS – Volatile Dissolved Solids – Hlapiva otopljena tvar (org.)

TVS – Ukupna hlapljiva tvar

Slika 4. Karakterizacija čvrstih tvari u vodama

Pri karakterizaciji čvrste tvari u vodama, bilo prirodnih, bilo industrijskih i otpadnih, najčešće se određuju slijedeći parametri čvrste tvari, prikazani u tablici 3. a očekivane vrijednosti navedenih parametara u tablici 4.

Tablica 3. Analiza čvrste tvari u vodama, ovisno o namjeni

primjena	TS	VS	TDS	TSS	VSS
Voda za piće			X		
Prirodne vode			X	X	
Komunalne vode				X	X
Industrijske vode	X	X	X	X	X
Muljevi	X	X			

Tablica 4: Očekivane vrijednosti za čvrstu tvar u pojedinim tipovima voda

izvor	pokazatelj	Uobičajene koncentracije čvrste tvari (mg/l)		
		niska	prosječna	visoka
<b>PRIRODNA VODA</b>				
slatka	TDS	20	120	1000
slana	TDS	5000		300 000
<b>KOMUNALNE VODE</b>				
Sirova	TDS	350	600	900
	VDS	165	285	600
	TSS	100	200	350
	VSS	75	135	215
Nakon sekundarne obrade	TSS	10	30	60
Nakon uobičajene obrade aktivnim muljem	TSS	1500		3000
Nakon obrades aktivnim muljem uz produženu aeraciju	TSS	3000		6000
<b>MULJEVI NAKON PROČIŠĆAVANJA VODA</b>				
Primarni mulj	TSS	20 000		70 000
Sekundarni mulj	TSS	5000		12 000
<b>OBORINSKA VODA</b>				
	TSS	5	300	3000

### 2.5.2. Suspendirane tvari

Suspendirane tvari u vodama mogu biti organskog i anorganskog porijekla. Anorganske suspendirane tvari sadrže prirodne vode (pijesak, gline, ilovače), a isto tako i organske tvari, i to kao živu organsku tvar (mikroorganizmi), proizvod metabolizma žive organske tvari te kao mrtvu organsku tvar (čestice uginulih organizama).

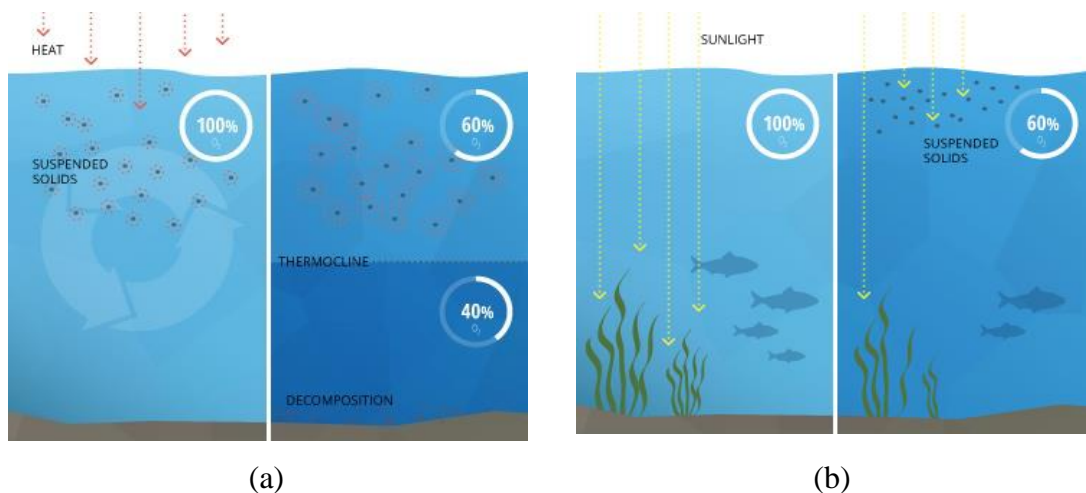
Ukupna suspendirana tvar uključuje čestice veće od 0,45 $\mu$ m (za čestice manje od 0,45 $\mu$ m smatra se da su otopljene). Većina suspendiranih krutina sastoji se od anorganskih

tvori, iako organske tvari te bakterije i alge također doprinose ukupnoj koncentraciji čvrste tvari (mutnoća, željezo, mangan, arsen, humusne tvari, nitrati itd).

Visoka razina ukupne suspendirane tvari može povećati temperaturu vode i smanjiti razinu otopljenog kisika (DO). Do toga dolazi jer suspendirane čestice apsorbiraju veću količinu topline sunčevog zračenja od molekula vode. Ta se toplina zatim provodi u okolnu vodu. Na taj se način povećanjem temperature vode smanjuje količina otopljenog kisika u vodi. Nadalje, povećana površinska temperatura može uzrokovati stratifikaciju ili slojevitost vode (epilimnij, termoklina, hipolimnij).

Kada se voda stratificira, gornji i donji slojevi se ne miješaju. Kako se razgradnja i respiracija (disanje) često javljaju u nižim slojevima voda, oni mogu postati hipoksični (niske razine otopljenog kisika) što otežava preživljavanje organizama (a).

Također, suspendirana tvar sprječava prodor svjetlosti do vodenog bilja na dnu što uzrokuje probleme u fotosintezi i dovodi dodatno do smanjenja sadržaja otopljenog kisika (b). [9]



Slika 5. Utjecaj suspendirane tvari na vodeni okoliš [10]

Suspendirane tvari karakteristične su za površinske vode, a sastav i koncentracija ovise, geološkim i morfološkim svojstvima sliva te o biološkim svojstvima u vodnom sustavu.

Povećane koncentracije suspendirane tvari u odnosu na prirodne značajke vodnog sustava, ukazuju na utjecaj ispuštenih otpadnih voda naselja, industrije, poljoprivrede i drugih ljudskih djelatnosti.

Suspendirane tvari djeluju kao onečišćivač vode, i to prije svega kao estetski nedostatak ali i ekološkipo pitanju zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju. Takve tvari čine vodu mutnom te neupotrebljivom za vodoopskrbu, razonodu i druge namjene za koje služi čista voda.

Suspendirane čestice talože se u dijelovima vodnih sustava sa smanjenom brzinom tečenja. Istaložene čestice mijenjaju svojstva staništa te mogu izazvati nepoželjne promjene betonskih zajednica (zajednica dna). Pri taloženju biološki razgradivih tvari može doći do anaerobnih uvjeta na dnu prijamnika uz pojavu plinova koji su proizvod takvog procesa.

Suspendirane čestice predstavljaju jezgru na koju se adsorbiraju ioni i molekule drugih tvari koje mogu biti štetne, a isto tako su nosioci kolonija mikroorganizama, među kojima može biti i patogenih.

Pokazatelj „suspendirane tvari“ izražava se u količini suspendiranih tvari u jedinici obujma vode ( $\text{mg/dm}^3$ ,  $\text{g/m}^3$ ). Ukupne suspendirane tvari određuju se u analitičkom laboratoriju. Ukupne suspendirane tvari dijele se na „taložive“ i „netaložive“. Taložive suspendirane čestice su one koje se u vremenu od 60 minuta istalože na dnu posude u obliku lijevka zvanog Imhoffovljevak [8, 9].

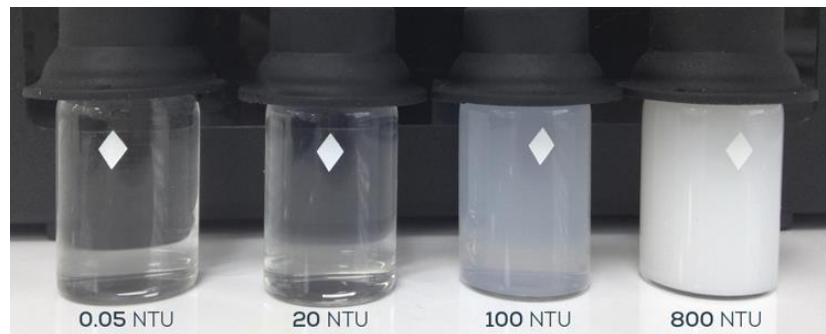
### **2.5.3. Mutnoća**

Mutnoća vode nastaje od suspendiranih tvari, naročito koloida, zatim mikroorganizama, mjehurića plinova. Mutnoća utječe na mogućnost prodiranja svjetlosti u stupcu vode, odnosno djeluje na upijanje ili raspršivanje svjetla na česticama raspršene tvari u vodi.

Mutnoća je optičko određivanje bistrine vode. Zamućena voda će izgledati zamagljena, mutna ili drugačije boje, koja utječe na fizički izgled vode. Suspendirana čvrsta tvar i otopljena tvar, smanjuju bistrinu vode stvaranjem neprozirnog, mutnog ili blatnog izgleda. Mjerenja mutnoće često se koristi kao pokazatelj kvalitete vode.

Mutnoća se mjeri turbidimetrijski: mutnoća vode temelji se na količini svjetlosti raspršene na česticama u vodi. Što je više prisutnih čestica, više svjetlosti koja će biti raspršeno i mutnoća će biti veća. Uređaj za mjerenje mutnoće se naziva turbidimetar.

Jedinice u kojima se izražava zamućenje su NTU (engl. *Nephelometric Turbidity Units*) [9].



Slika 6. Zamućenje vode koje ima vrijednosti od 0,05 do 800 NTU [11]

#### 2.5.4. Boja

Boja u vodi nastaje od otopljenih ili suspendiranih tvari. Boja koja se pojavljuje u vodi od otopljenih tvari naziva se „prava boja“. Voda može biti obojena i suspendiranom tvari. Takva boja naziva se „prividna boja“.

Obojene vode nisu povoljne za vodoopskrbu, ali ni za mnoge industrijske potrebe, kao što je proizvodnja tekstila, namirnica, boja, papira.

Boja se mjeri fotometrijskim načinom. Izražava se u  $\text{mg/dm}^3$  Pt-Co ljestvice.

Obojene vode sprječavaju prodor svjetlosti te utječu na procese fotosinteze i predstavlja estetski nedostatak vode. Većina obojenih tvari je otopljena u vodi i ne uklanjaju se klasičnim metodama obrade voda, neke tvari je ipak moguće ukloniti s aktivnim ugljenom ili u prokapnom filtru. Najčešće se uklanjaju kemijskom oksidacijom [9].

Maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) iznosi 20  $\text{mg/PtCo}$  skale za vodu za ljudsku potrošnju.



### 2.5.5. Miris i okus

Miris i okus vode često su međusobno povezani. U načelu, vode kod kojih se osjeća miris imaju i okus. Obrnuto ne vrijedi jer postoje vode s izraženim okusom, ali bez mirisa, na primjer slana morska voda.

Miris odnosno okus u vodi može biti posljedica nekoliko uzoraka, kao npr.: raspadanje organske tvari, proizvod živih organizama (naročito alge), industrijske otpadne tvari (fenoli, naftni proizvodi), otopljeni plinovi (sumporovodik), otopljene soli (kloridi, sulfati).

Miris i okus određuju se čovjekovim osjetilima. Brojčano se mogu izraziti „pragom mirisa ili okusa“ koji odgovara obujmu uzorka vode ( $\text{cm}^3$ ) razrijeđenom u  $200\text{cm}^3$  destilirane vode.

### 2.5.6. Temperatura

Temperatura je značajan pokazatelj koji utječe na kemijske i biokemijske reakcije u vodama, na brzinu razgradnje pri obradi otpadne vode, na floru i faunu. Temperatura prirodnih voda povezana je s temperaturom okoliša (atmosfera) te se mijenja tijekom godine. Temperatura vode ima višestruko značenje, kako za postupke u vodnom sustavu, tako i za njenu upotrebu. O temperaturi ovise fizikalna i kemijska svojstva vode.

Povećanjem temperature prirodnih voda nastaje ispuštanjem rashladnih voda industrije i objekata za proizvodnju energije. Isto tako je opaženo da povratne vode pri navodnjavanju mogu povisiti temperaturu prirodnih voda.

Temperatura se mjeri termometrima. Označava se Celzijevim stupnjevima ( $^{\circ}\text{C}$ ) ili kao termodinamička, Kelvinovim stupnjevima, „kelvinima“ (K).

Industrijski pogoni koji koriste površinske vode za zashladne sustave, moraju pratiti temperaturu vode koju vraćaju u prirodni prijemnik [8, 9].

Maksimalna dopuštena temperatura vode za ljudsku potrošnju je 25 °C; 30 °C za ispuštanje u površinske vode i 40 °C za ispuštanje u sustav javne odvodnje (otpadne vode).

Maksimalno dopuštene koncentracije nekih indikatorskih parametara za vodu za ljudsku potrošnju prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju [16], prikazani su u tablici 5.:

Tablica 5. Neki indikatorski parametri za vodu za ljudsku potrošnju prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju [16]

Pokazatelj	Jedinice	MDK
Boja	mg/PtCo skale	20
Kalcij*	mg/l	
Kalij*	mg/l	12
Kloridi	mg/l	250,0
Koncentracija vodikovih iona	pH jedinica	6,5-9,5
Magnezij*	mg/l	
Miris		bez
Mutnoća	NTU	4
Natrij	mg/l	200,0
Okus		bez
Silikati*	mg/l	50
Sulfati	mg/l	250,0
Temperatura*	°C	25
Ukupna tvrdoća*	CaCO <sub>3</sub> mg/l	
Ukupne suspenzije*	mg/l	10
Utrošak KMnO <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> mg/l	5,0
Vodljivost	μS/cm /20 °C	2500

\*ne određuje se u vodama u boci ili drugoj ambalaži

Opisane granične vrijednosti emisija otpadnih voda iz objekata i postrojenja za proizvodnju i preradu tekstila sukladno Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda [6] prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Granične vrijednosti emisija otpadnih voda iz objekata i postrojenja za proizvodnju i preradu tekstila [6]

POKAZATELJI	IZRAŽENI KAO	JEDINICA	POVRŠINSKE VODE	SUSTAV JAVNE ODVODNJE
FIZIKALNO- KEMIJSKI POKAZATELJI				
1. Temperatura		°C	30	40
2. pH-vrijednost			6,5 – 9,0	6,5 – 9,5
3. Suspendirane tvari		mg/l	80	(a)
4. Taložive tvari		ml/lh	0,5	10
5. Boja			bez	bez

## 2.6. Kemijski pokazatelji kakvoće vode

Kemijski pokazatelji u velikoj mjeri određuju upotrebljivost vode, odnosno stanje pojedinog vodnog sustava. U vodi se mogu nalaziti otopljene tvari od kojih neke bitno utječu na povećanje biološke proizvodnje u ekosustavu, a neke su štetne ili opasne za žive organizme.

Kemijske primjese u vodi mogu se podijeliti na tri skupine:

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

S obzirom na stalne promjene kemijskih spojeva koji se mogu nalaziti u vodi kao proizvod čovjekovih djelatnosti, a posebno gospodarske djelatnosti, nije moguće navesti sve pokazatelje koji bi se trebali ispitivati kako bi se utvrdila kvaliteta vode, no najčešće se utvrđuju sljedeći pokazatelji kojima se procjenjuje stanje kvalitete vode:

-ukupno otopljene tvari

-koncentracija vodikovih iona

- alkalitet
- tvrdoća
- otopljeni plinovi
- organske tvari
- hranjive tvari
- kovine
- ostali kemijski pokazatelji

### 2.6.1. Ukupno otopljene tvari i elektrovodljivost

Ukupno otopljene tvari u vodi su one koje zaostaju nakon filtracije, a utvrđuju se isparavanjem na temperaturi od 105°C, pa se ovaj pokazatelj često puta naziva i „suhi ostatak“. Izražava se u mg/dm<sup>3</sup> suhe tvari.

U vodi se nalaze otopljene tvari jer je voda pogodno otapalo čvrstih tvari, tekućina i plinova. Kao suspendirane tvari, u vodi se isto tako nalaze organske kao i anorganske tvari. Ako se suhi ostatak profiltrirane vode žari na 600°C, izgorjet će hlapljive, organske tvari, a isparni ostatak čine anorganske tvari.

Tablica 7: Uobičajeni ioni u prirodnim vodama

Glavni sastojci 1,0 – 1000 mg/ dm <sup>3</sup>	Ostali sastojci 0,01-10,0 mg/ dm <sup>3</sup>
Na	Fe <sup>2+/3+</sup>
Ca	Sr <sup>2+</sup>
Mg	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>
Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	B
	Si

Od ukupno otopljenih tvari u vodi neke su nepoželjne i opasne, a neke su tvari standardni sastojak prirodnih voda (tablica 7.).

Otopljene tvari nalaze se u vodi u obliku iona ili molekula i spojeva koji nisu ionizirani. Nalaze se kao posljedica otapanja prolazom vode kroz atmosferu, otjecanjem po površini tla ili u podzemlju. U vodi se nalaze i mnogi razgradni produktiuginule organske tvari. Međutim istodobno voda prenosi i otpadne tvari iz kućanstva kao i iz tehnoloških i proizvodnih postupaka.

Električna provodnost pokazatelj je provođenja električne struje u otopinama. Vrijednost ovisi o koncentraciji iona u vodi, pa se pokazatelj o električnoj provodnosti može primjeniti i za utvrđivanje ukupno otopljenih soli u vodi.

Otopljene organske molekule i spojevi koji ne ioniziraju ne mogu se utvrditi tim pokazateljem [8, 9].

### **2.6.2. Koncentracija vodikovih iona**

Koncentracija vodikovih iona je bitan pokazatelj kvalitete vode jer mnogi postupci pripreme, obrade i pročišćavanja vode ovise o pH vrijednosti otopine. Koncentracija vodikovih iona pokazuje kiselost ili lužnatost voda.

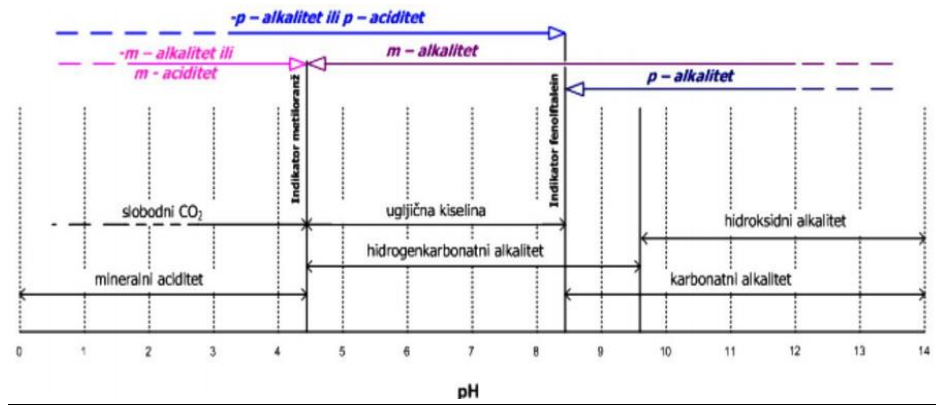
Vode s niskim pH su korozivne, a visoke vrijednosti pH smanjuju učinak kloriranja pri dezinfekciji vode. Koncentracija vodikovih iona se mjeri elektrometrijskom metodom.

### **2.6.3. Alkalitet**

Alkalitet se definira kao puferski kapacitet vode i ukazuje na količinu iona u vodi koji mogu neutralizirati vodikove ione.

U prirodnim vodama alkalitet tvore neki od iona koji nastaju otapanjem mineralnih tvari u tlu ili atmosferi. Na primjer fosfati potječu iz komunalnih otpadnih voda ili oborinskih voda koje ispiraju poljoprivredna tla. Karbonati, hidrogenkarbonati i hidroksidi najčešće tvore alkalitet (slika 7.).

Alkalitet se izražava u  $\text{mg/dm}^3 \text{CaCO}_3$ , ali nije ograničen normama za prirodne vode kao ni za vodu za piće. U upotrebi je kao pokazatelj sposobnosti voda za neutralizaciju kiselina. Nepoželjni utjecaj alkaliteta očituje se u mogućnosti taloženja s određenim kationima u vodovodnim cijevima.



Slika 7. Karbonatno-bikarbonatna ravnoteža i alkalitet

#### 2.6.4. Tvrdoća vode

Tvrdoća vode određena je koncentracijom polivalentnih metalnih kationa u otopini. U uvjetima zasićenosti metalni kationi reagiraju s anionima u vodi te tvore tvrdoću vode. Najčešće se u prirodnim vodama nalaze kationi kalcija i magnezija, a znatno je manji utjecaj ostalih metalnih kationa, kao na primjer željeza ( $\text{Fe}^{2+ / 3+}$ ), mangana ( $\text{Mn}^{2+}$ ), stroncija ( $\text{Sr}^{2+}$ ) i aluminija ( $\text{Al}^{3+}$ ).

Ukupna tvrdoća vode se dijeli na karbonatnu i nekarbonatnu tvrdoću. Karbonatnu tvrdoću čine hidrogenkarbonati i karbonati, te je alkalitet vode jednak tvrdoći, a nekarbonatnu čine sulfati i kloridi. Ako je alkalitet vode veći od tvrdoće, tada se u vodi osim kalcijevih i magnezijevih nalaze karbonati i hidrogenkarbonati natrija i kalija.

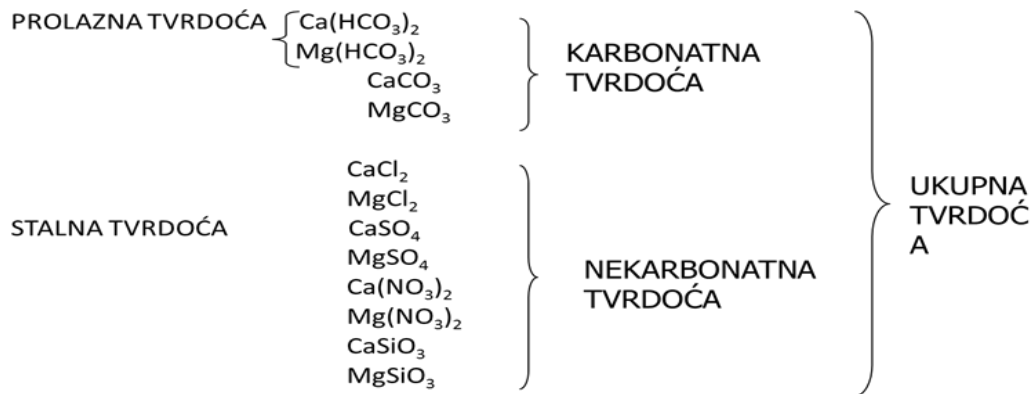
Karbonatna tvrdoća je osjetljiva na temperaturu vode, pa se tako zagrijavanjem hidrogenkarbonati raspadaju, a karbonati talože uz izdvajanje ugljičnog dioksida.



Pokazatelj tvrdoće vode je bitan za industrijsku upotrebu, kod određenih tehnoloških procesa (npr. bojadisanje) i kod porocesa gdje se voda koristi kao medij za

grijanje/hlađenje. Zagrijavanjem se otpušta ugljikov-dioksid prema jednadžbi (1) i dolazi do taloženja kamencakoji taloži na stijenkamakotlova i cijevi.

Tvrdoća se izražava u stupnjevima (njemački, francuski, engleski)ili u  $\text{mg/dm}^3 \text{CaCO}_3$ .



Slika 8. Shematski prikaz tipova tvrdoće [9]

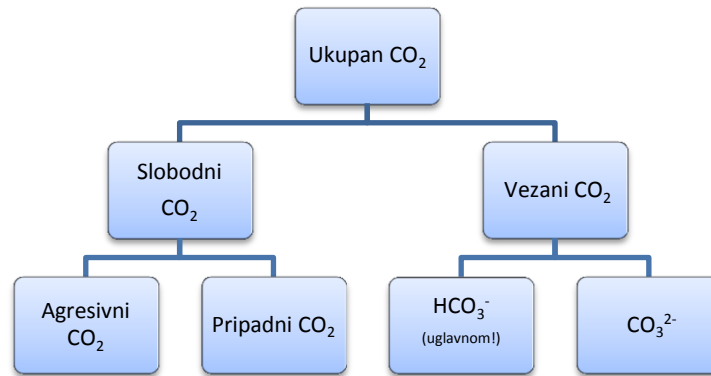
### 2.6.5. Otopljeni plinovi

Od otopljenih plinova u vodi, najčešće se ispituje količina kisika, ugljikovog dioksida i vodik-sulfida i drugih ovisno o porijeklu vode.

Kisik dospijeva u vodu otapanjem iz zraka i postupcima fotosinteze. Potreban je za život organizama u vodi.

Ukupan ugljikov - dioksid nalazi se u vodi kao slobodan ili vezan u spojevima hidrogenkarbonata i karbonata. Slobodan  $\text{CO}_2$  u vodi je u otopljenom stanju. Da bi se hidrogen karbonati održavali u vodi kao takvi, u vodi je potreban dio slobodnog  $\text{CO}_2$  koji se naziva „pripadni  $\text{CO}_2$ “ . Ostatak slobodnog  $\text{CO}_2$  u vodi se naziva „agresivni  $\text{CO}_2$ “ (Slika 9.).

Vodik - sulfid se u vodi nalazi kao posljedica razgradnje organskih tvari ili vulkanskih djelatnosti.

Slika 9. CO<sub>2</sub> u vodi [8, 9]

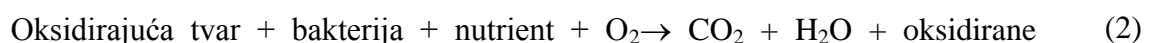
### 2.6.6. Organske tvari

Organske se tvari nalaze u raspršenom ili otopljenom obliku. Organska tvari u vodi je prema porijeklu proizvod biokemijskih procesa u vodi, sastojak ispuštenih gradskih i industrijskih i otpadnih voda te posljedica ispiranja zemljišta oborinskom vodom. Organska tvar se može dijeliti na biološki razgradive i nerazgradive tvari.

U otpadnim vodama najznačajnije skupine organskih tvari čine: bjelančevine (40-60%), ugljikohidrati (25-50%) te masnoće (oko 100%). U otpadnim vodama se nalaze i manje količine sintetičnih organskih molekula. Neke od tih su površinski aktivne tvari, bojila, hlapljive organske tvari i pesticidi.

Nekeprirodne organske tvari, kao što su humusne tvari mogu značajno povećati mogućnost kompleksiranja teških metala u vodi. Takvo povećanje koncentracije kompleksirajućih tvari i promjena pH mogu pogoršati kvalitetu vode zbog migracije u okoliš u vodi topljivih kompleksno vezanih metala.

Svaka tvar koja se može oksidirati u prirodnim ili otpadnim vodama, oksidirati će se biokemijskim (bakterije) ili kemijskim procesima. Tim procesima (tj. u prirodnim prijemnicima) smanjuje se sadržaj kisika otopljenog u vodi jer se troši na oksidaciju org. tvari u vodi, pojednostavljeno prikazano:





anorganske tvari (npr.  $\text{NO}_3^-$  ili  $\text{SO}_4^{2-}$ )

Oksidiraju se i reducirajuće tvari kao npr. sulfidi i nitriti:



Sve prirodne vode sadrže bakterije i nutrijente a svaka otpadna tvar uvedena u takvu vodu potaknuti će biokemijske reakcije – potrošnju kisika jer dolazi do razgradnje prisutne organske tvari. Smanjenjem sadržaja otopljenog  $\text{O}_2$  u vodi, mijenja se i flora i fauna, mijenjaju se i okus i miris te postaju neugodni. Otorovne (toksične) tvari se uključuju u hranidbeni lanac, neke vrste čak ugibaju. Prodiranjem u dublje slojeve, dospjevajudo vodocrpilišta te mogu utjecati na zdravlje ljudi, crpljenjem vode kao vode za piće.

Mjera za te biokemijske procese je i laboratorijsko mjerenje tzv. biokemijske potrošnje kisika (BPK). Oksidirajuće tvari (reduktivna sredstva) ispuštena u prirodne vode također potiču slične kemijske reakcije. Mjera za te kemijske procese je laboratorijsko mjerenje tzv. kemijske potrošnje kisika (KPK). KPK i BPK su relativne mjere za utrošak kisika zbog prisutnosti otpadnih tvari tj. mjera za efekt onečišćenja/zagađenosti.

BPK mjeri se potrošnja kisika na biorazgradljive tvari dok se s KPK mjere i biorazgradljive i ne razgradljive tvari (koje se mogu oksidirati) [8, 9].

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Kemikalije

- Celuloza, mikrokristalinična, p.a., Carlo Erba
- destilirana voda

#### 3.2. Pribor

- odmjerne tikvice
- pipete
- menzure
- porculanske zdjelice za isparavanje i sušenje
- Petrijeve zdjelice
- eksikator sa sredstvom za sušenje
- Munktellfiltri od staklenih vlakana 0,7  $\mu\text{m}$ , Ahlstrom MunksjoMunktell, Njemačka
- Imhoff lijevak, 1000 ml
- pinceta
- laboratorijska kliješta

#### 3.3. Uređaji i aparature

- uređaj za membransku filtraciju, Duran



Slika 10. Aparatura za membransku filtraciju [12]

- sušionik s mogućnošću rada na  $103 \pm 3$  °C, ST 01/02, Instrumentaria
- vodena kupelj s isparavanjem
- peć za žarenje, Instrumentaria
- Analitička vaga – MettlerToledo, AB 204DR

### **3.4. Uzorci vode**

1. Uzorak vode za ljudsku potrošnju iz Laboratorija za analitičku kemiju, B-315;
2. Uzorak površinske vode, potok Grana (Dubrava);

#### **3.4.1. Uzorkovanje**

Uzorkovanje vode za ljudsku potrošnju je provedeno prema HRN ISO 5667-5:2011 Kvaliteta vode - Uzorkovanje - 5. dio: Upute za uzorkovanje vode za piće iz uređaja za pročišćavanje i cjevovodnih opskrbnih sustava (ISO 5667-5:2006).

Uzorkovanje vode iz potoka je provedeno prema HRN ISO 5667-6:2011 Kvaliteta vode - Uzorkovanje - 6. dio: Upute za uzorkovanje vode rijeka i potoka (ISO 5667-6:2005).

Uzorci se prikupe u staklenim ili plastičnim bocama, s tim da ne dođe do adhezije materijala u suspenziji na stjenkama spremnika. Uzorci se sprema na hlađenje na 4°C do vremena analize, da bi se smanjila mikrobiološka razgradnja čvrstih tvari. Uzorci se ne smiju stajati dulje od 24 sata. Nereprezentativne tvari kao što su lišće, grančice, insekti itd., moraju biti uklonjene iz uzorka.

### 3.4.2. Predodradba uzorkai filtera

Potrebno je uzorke dovesti na sobnu temperaturu prije analize.

Filteri se prije uporabe isperu sa 150 ml destilirane vode te suše najmanje 1 sat na  $(105\pm 2)^{\circ}\text{C}$  da bi se uklonile sa njih u vodi eventualno prisustnetopive tvari. Preporuča se da filtri budu osušeni neposredno prije upotrebe.

### 3.4.3. Priprema suspenzije celuloze

#### 3.4.3.1. Suspenzija primarnog standarda, $0,5000\text{ g/dm}^3$

Izvaže se 0,1250g celuloze, prethodno sušene 2 sata na  $105^{\circ}\text{C}$  ili do konstantne mase te se napravi suspenzija dopunjavanjem s destiliranom vodom do  $250\text{cm}^3$ . Tako priređena suspenzija (primarni standard), ima koncentraciju  $0,5000\text{ gdm}^{-3}$ .

Tako priređena suspenzija (primarni standard) se čuva na tamnom i stabilna je najmanje 2 mjeseca.

#### 3.4.3.2. Suspenzija radnog standarda, $50\text{mg/dm}^3$

Suspenzija radnog standarda se upotrebljava kako bi se provjerila točnost metode na način da se odredi količina suspendirane tvari u uzorku sa čistim radnim standardom, poznatih količina suspendirane tvari, u rasponu od 2 –  $1000\text{ mg/dm}^3$ . Metodom standardnog dodatka se dodatno provjerava iskorištenje metode.

Primarni standard se dobro promućka te se otpipetira  $10\text{ cm}^3$  primarnog standarda u odmjernutikvicu od  $100\text{ cm}^3$ . Ova suspenzija ima koncentraciju od  $50\text{ mg/dm}^3$  celuloze.

Pripremiti svaki put svježi radni standard.

### **3.4.4. Određivanje taloživih tvari u vodama**

#### ***3.4.4.1. Princip metode određivanja taloživih tvari***

Ova metoda se primjenjuje za ispitivanje uzoraka pitkih, površinskih, podzemnih i otpadnih voda sa ciljem procjene udjela taloživih tvari, odnosno dinamike njihova taloženja u vodi. Donja granica određivanja taloživih tvari je  $0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3\text{h}$  [13].

Taložive tvari uključuju sve tvari, raspršene i vodi a koje imaju tendenciju taloženja na dnu vodenog stupca. Dinamika taloženja je volumna količina taloživih tvari, gravitacijski slobodno sedimentirana u vremenskom razdoblju od jednog sata.

Princip metode se sastoji u tome da se u graduiranom lijevku, tzv. Imhoffovom lijevku, zapremine od  $1000 \text{ cm}^3$  ostavi ispitivani uzorak vode koji sadrži raspršene, netopive čestice, te se nakon jednog sata očita volumen taloga [13].

#### ***3.4.4.2. Priprema uzorka vode i određivanje volumena taloživih tvari i dinamike taloženja***

Uzorak se dobro promućka i ulije u Imhoffov lijevak do oznake od  $1000 \text{ cm}^3$ . Lijevak se postavi na stalak.

Nakon 45 minuta stajanja, lijevak se lagano promiješa vrtnjom li štapićem da se izbjegne nakupljanje taloga na stijenkama lijevka. Ostaviti da se taloži još 15 minuta te nakon toga zabilježiti volumen nataloženih tvari u lijevku u  $\text{cm}^3/\text{dm}^3\text{h}$ .

Ukoliko nakupine nataloženih većih čestica čvrste tvari sadrže uklopljene kapljice tekućine ili mjehuriće zraka, procijeni se njihov volumen te se taj procijenjeni volumen odbije od ukupno izmjenog volumena taloživih tvari.

U tablici 16. su prikazani rezultati ispitivanja površinske vode dok za vodu za ljudsku potrošnju nisu nađene taložive tvari.

### **3.4.5. Određivanje suspendiranih tvari u vodama (TSS)**

#### ***3.4.5.1. Princip metode određivanja suspendiranih tvari***

Ova metoda se primjenjuje za ispitivanje uzoraka vode za ljudsku potrošnju, podzemnih, površinskih i otpadnih voda. Donja granica određivanja suspendirane tvari u vodama je  $2,0 \text{ mg/dm}^3$  [14].

Suspendiranu tvar predstavljaju sve krutine koje se odvajaju iz vode filtriranjem kroz filter od staklenih vlakana. Otopljena tvar predstavlja ostatak nakon filtracije i uparavanja do suha na vodenoj kupelji.

Količina suspendirane tvari se određuje filtracijom kroz filter od staklenih vlakana pod sniženim tlakom. Nakon filtracije, filter se suši na  $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , a masa zaostala na filteru se izvaže.

#### ***3.4.5.2. Priprema uzorka vode i određivanje ukupne suspendirane tvari***

Uzorke je potrebno analizirati što je moguće ranije, najbolje unutar 4 sata od uzorkovanja ili ih je potrebno čuvati na tamnom mjestu, na temperaturi od  $1-5 \text{ }^\circ\text{C}$ , bez smrzavanja uzorka, u roku od najviše 2 dana. Konzerviranje uzoraka se ne preporuča.

Prije određivanja, uzorak se temperira na sobnu temperaturu.

Preporučeni volumeni uzoraka u kojima se određuje suspendirana tvar su  $1 \text{ dm}^3$  za površinsku vodu i vodu za ljudsku potrošnju a za otpadnu vodu od  $100-500 \text{ cm}^3$ , ovisno o količini suspendirane tvari. Volumeni uzorka manji od  $25 \text{ cm}^3$  se važu te se u izračunu procjenjuje da  $1 \text{ g}$  uzorka odgovara  $1 \text{ cm}^3$ . U načelu se volumen uzorka ( $V_{uz}$ ) podesi tako da je suhi ostatak na njemu u rasponu od 5 do 50 mg. U slučaju da je izmjerena količina suspendiranih tvari manja od 2 mg korigira se volumen uzorka (poveća) koji se filtrira.

Određeni volumen uzorka nakon dobrog miješanja profiltrira pod sniženim tlakom. Pipeta ili menzura se ispere sa  $20 \text{ cm}^3$  destilirane vode. Tih  $20 \text{ cm}^3$  se koristi i za

ispiranje filtera. Lijevak se ispere sa daljnjih 20 cm<sup>3</sup> destilirane vode. Ako uzorak sadrži više od 1000 mg/dm<sup>3</sup> otopljenih tvari, filter se ispere tri puta sa 50 cm<sup>3</sup> vode.

Filter se nakon filtracije dosušuje na (105±2)°C još najmanje 1 sat tj. do konstantne mase. Najmanji ostatak koji se važe, a da bi bio prihvatljiv je 2 mg.

Prema slijedećoj jednadžbi se izračuna koncentracija ukupno otopljenih krutina:

$$\rho_{TSS} = \frac{m_S}{V_{uz}} \quad (\text{I})$$

$$m_{SS} = m_1 - m_0 \quad (\text{II})$$

Gdje je:

$\rho_{TSS}$  – koncentracija ukupno suspendiranih tvari; mg/dm<sup>3</sup>; mg/l

$m_{SS}$  – masa suhe tvari; mg

$m_0$  – masa prazne porculanske zdjelice; mg

$m_1$  - masa porculanske zdjelice sa suhom tvari; mg

$V_{uz}$  - volumen uzorka uzetog za filtraciju; dm<sup>3</sup> ; l

### 3.4.6. Određivanje ukupno otopljenih krutina u vodama (TDS)

#### 3.4.6.1. Princip metode određivanja ukupno otopljenih krutina (tvari)

Ova metoda se primijenjuje za ispitivanje uzoraka površinskih i otpadnih voda te eluata otpada a koje sadrže više od 200 mg/dm<sup>3</sup> ukupno otopljenih krutina. Važno je da otopljene krutine nisu hlapljive u uvjetima ispitivanja te da ne otpuštaju vodu vezanu hidratacijom. Uzorci s nižom koncentracijom otopljenih krutina se mogu analizirati ovom metodom višestrukim ponavljanjem postupaka sušenja [15].

Ukupno otopljene krutine (Total Dissolved Solids – TDS) predstavljaju masu otopljenih tvari po jedinici volumena vode, preostale nakon specifičnih postupaka filtracije i sušenja. Izražava se u mg/dm<sup>3</sup>.

Ukupno otopljene krutine u vodi i eluatima određuju se filtriranjem uzoraka a zatim isparavanjem filtrata na vodenoj kupelji te sušenjem na temperaturi od  $105 \pm 3$  °C do konstantne mase.

*Smetnje* – Visoko mineralizirana voda sa značajnom koncentracijom kalcija, magnezija, klorida i sulfata može biti higroskopna i može zahtijevati produženo sušenje i brzo vaganje. Rezultati za ostatke masti i ulja mogu biti upitni zbog teškoće sušenja do konstantne mase u određenom vremenu. Vidljivo plivajuće ulje i mast se rasprši s blenderom prije uzimanja alikvota uzorka za analizu [18].

#### **3.4.6.2. Priprema uzorka vode i određivanje ukupne otopljene tvari**

Uzorke je potrebno analizirati što je moguće prije po uzorkovanju, odnosno po pripremi eluata. Ukoliko to nije izvedivo, potrebno ih je čuvati na tamnom mjestu, na temperaturi od  $4 \pm 0,5$  °C, bez smrzavanja uzorka, najviše tjedan dana. Smrzavanje uzoraka se ne preporuča.

Prije određivanja, uzorak se temperira na sobnu temperaturu.

Prazna, prethodno izžarena porculanska zdjelica u peći za žarenje pri 550 °C do konstantne mase, se ohladi na sobnu temperaturu u eksikatoru te izvaže ( $m_a$ ). Dobro promućkani uzorak vode se najprije profiltrira kroz filter od staklenih vlakana pod sniženim tlakom. Filtrirani uzorak se homogenizira te prenese odgovarajući alikvot ( $V_{UZ}$ ) u prethodno izvaganu porculansku zdjelicu. Pri pipetiranju profiltriranog uzorka treba voditi računa na masa suhog ostatka nakon isparavanja, zaostala u porculanskoj zdjelici, bude između 20 i 1000 mg. Uobičajeni volumen je 100 cm<sup>3</sup> ali ovisi o očekivanom rezultatu. Uzorak se polagano isparava na vodenoj kupelji a zatim osuši do konstantne mase u sušioniku na  $105 \pm 3$  °C. Nakon hlađenja na sobnu temperaturu u eksikatoru, porculanska zdjelica sa suhim ostatkom se izvaže na analitičkoj vagi ( $m_b$ ). Masa suhe tvari ( $m_D$ ) se smatra konstantnom ukoliko je nakon slijedećih pola sata sušenja razlika u masi manja od 0,5 % ili manja od 2 mg u odnosu na prethodno izvaganu vrijednost. U protivnom se postupak sušenja, hlađenja i vaganja ponavlja do postizanja konstantne mase.



Prema slijedećoj jednadžbi se izračuna koncentracija ukupno otopljenih krutina:

$$\rho_{TDS} = \frac{m_D}{V_{UZ}} \quad (\text{III})$$

$$m_D = m_a - m_b \quad (\text{IV})$$

Gdje je:

$\rho_{TDS}$  – koncentracija ukupno otopljenih krutina;  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{mg}/\text{l}$

$m_D$  – masa suhe tvari;  $\text{mg}$

$m_a$  – masa prazne porculanske zdjelice;  $\text{mg}$

$m_b$  - masa porculanske zdjelice sa suhom tvari;  $\text{mg}$

$V_{UZ}$  - volumen filtrata uzetog za sušenje;  $\text{dm}^3$ ;  $\text{l}$



Slika 11. Određivanje taložive tvari i priprema za određivanje suspendirane tvari

## 4.REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. Rezultati određivanja taloživih tvari

Određivanje taloživih tvari u uzrocima pitkih, površinskih, podzemnih i otpadnih voda provodi se zbog procjene udjela taloživih tvari, odnosno dinamike njihova taloženja u vodi. Taložive tvari uključuju sve tvari, raspršene i vodi a koje imaju tendenciju taloženja na dnu vodenog stupca. Dinamika taloženja je volumna količina taloživih tvari, gravitacijski slobodno sedimentirana u vremenskom razdoblju od jednog sata.

Postupak taloženja provodi se uspecijalnom graduiranom lijevku, tzv. Imhoffovom lijevku (Slika 9.), zapremine od  $1000 \text{ cm}^3$ , a ispitivani uzorak vode koji sadrži raspršene, netopive čestice, ostavi se stajati u lijevku te se nakon jednog sata očita volumen taloga.

Ispitivanje voda na sadržaj taloživih tvari, odnosno ispitivanje dinamike taloženja, važan je podatak pri ulazu vode u postrojenje za obradu, pripremu i pročišćavanje vode jer govori o načinu taloženja i količini tvari koje će se istaložiti ali i kao procjena količine mulja koja se očekuje u postupku pročišćavanja voda, kada će se te čestice taloženjem ukloniti iz vode. Ispitivanje dinamike taloženje često se koristi u postrojenjima s aktivnim muljem kako bi se odredila količina čvrste tvari i jedinici za aeraciju. Rezultati pomažu u odluci pri odbacivanju aktivnog mulja iz procesa i utvrđivanju količine povrata mulja u proces.

U ovome radu na taložive tvari ispitan je jedino uzorak prirodne, površinske vode (potok Grana) jer se u navedenom uzorku već vizualno uočila određena količina netopivih čestica. U destiliranoj vodi i vodi za ljudsku potrošnju (pitka voda) očekuju se vrijednosti daleko ispod donje granice određivanja jer se takve čestice niti ne nalaze u ovim vrstama voda. Iz tog se razloga nije određivala dinamika taloženja za ove dvije vrste voda.

Sadržaj taloživih tvari u uzorku prirodne, površinske vode, potok Grana, iznosio je  $0,05 \text{ cm}^3/\text{dm}^3 \text{ h}$ , odnosno manje od manje od  $0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3 \text{ h}$ , što predstavlja donju granicu određivanja.

## 4.2. Rezultati određivanja ukupne suspendirane tvari

U Teoretskom dijelu, poglavlje 2.5.1. ovoga rada detaljno je opisan značaj suspendirane tvari u prirodnim, industrijskim i otpadnim vodama kao i važnost njihova određivanja. Prije svega, povećana količina suspendirane tvari u vodi uzrokuje njezino замуćenje, estetski je narušene kvalitete a djeluje i na smanjenje sadržaja kisika u vodenom stupcu kao i na mogućnost prodora sunčeve svjetlosti u dublje slojeve vode. Na taj način se stvaraju anoksični uvjeti pri dnu koji mogu imati vrlo negativan utjecaj na živi svijetu vodi.

Određivanje suspendirane tvari provodi se uobičajeno na uzorcima vode za ljudsku potrošnju, podzemnim, površinskim i otpadnim vodama a granične vrijednosti su definirane Zakonima i Pravilnicima, o čemu govori i važnost njihova određivanja.

Suspendiranu tvar predstavljaju sve krutine koje se odvajaju iz vode filtriranjem kroz filter od staklenih vlakana pod sniženim tlakom. Filter ima veličinu pora od  $0,45\ \mu\text{m}$  a može se koristiti i filter s većim ili manjim volumenom pora, ovisno o vrsti i namjeni vode koja je ispituje. U ovome je radu upotrijebljen filter papir s veličinom pora od  $0,7\ \mu\text{m}$ . Veličina pora od  $0,45\ \mu\text{m}$  je ona koja se dogovorno najčešće primjenjuje jer razgraničava veličinu čestica na suspendirane i na otopljene tvari. Tu je teško postaviti strogu granicu između veličina čestice otopljene i suspendirane tvari jer je poznato da neki koloidi imaju i manje veličine čestica od  $0,45\ \mu\text{m}$ . Nakon filtracije, filter se suši na  $105\pm 2\ ^\circ\text{C}$ , a masa zaostala na filteru se izvažuje.

Otopljenu tvar predstavlja suhi ostatak nakon filtracije i uparavanja do suha na vodenoj kupelji i sušenjem u sušioniku na  $105\pm 3\ ^\circ\text{C}$ .

U tablicama 8. do 11. prikazani su rezultati određivanja ukupne suspendirane tvari u uzorcima voda.

Tablica 8. Određivanje ukupne suspendirane tvari u destiliranoj vodi

Opis uzorka: <b>destilirana voda</b>		
Opis:	oznaka	
Masa čistog filtera od staklenih vlakana (g)	m <sub>0</sub>	0,1344
Masa filtera od staklenih vlakana nakon filtracije (g)	m <sub>1</sub>	0,1344
Masa ostatka na filter papiru (g)	m	0,0
Volumen uzorka (cm <sup>3</sup> )	V	500
<b>Ukupna suspendirana tvar</b>	<b>TSS</b>	<b>&lt; 2,0 mg/dm<sup>3</sup></b>

Račun:

$$\rho_{TSS} = \frac{0,1344 - 0,1344}{0,500 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 0,0 \text{ mg/dm}^3$$

Tablica 9. Određivanje ukupne suspendirane tvari u sekundarnoj suspenziji celuloze

Uzorak: <b>sekundarna suspenzija, 50 mg/dm<sup>3</sup></b>		
Opis:	oznaka	masa (g)
Masa čistog filtera od staklenih vlakana (g)	m <sub>0</sub>	0,1363 g
Masa filtera od staklenih vlakana nakon filtracije (g)	m <sub>1</sub>	0,1415 g
Masa ostatka na filter papiru (g)	m	0,0052
Volumen uzorka (cm <sup>3</sup> )	V	100 ml
<b>Ukupna suspendirana tvar</b>	<b>TSS</b>	<b>52,0 mg/dm<sup>3</sup></b>

Račun:

$$\rho_{TSS} = \frac{0,1415 - 0,1363}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 52,0 \text{ mg/dm}^3$$

Tablica 10. Određivanje ukupne suspendirane tvari u uzorku vode za ljudsku potrošnju

Uzorak: <b>voda za ljudsku potrošnju</b>		
Opis:	oznaka	masa (g)
Masa čistog filtera od staklenih vlakana (g)	m <sub>0</sub>	0,1369g
Masa filtera od staklenih vlakana nakon filtracije (g)	m <sub>1</sub>	0,1372g
Masa ostatka na filter papiru (g)	m	0,0003
Volumen uzorka (cm <sup>3</sup> )	V	300 ml
<b>Ukupna suspendirana tvar</b>	<b>TSS</b>	<b>&lt; 2,0 mg/dm<sup>3</sup></b>

Račun:

$$\rho_{TSS} = \frac{0,1372 - 0,1369}{0,300 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 1,0 \text{ mg/dm}^3$$

Tablica 11. Određivanje ukupne suspendirane tvari u uzorku površinske vode

Uzorak 1.: površinska voda, potok Grana			
Opis:	oznaka	Uz 1	Uz 2
Masa čistog filtera od staklenih vlakana (g)	m <sub>0</sub>	0,1362	0,1369
Masa filtera od staklenih vlakana nakon filtracije (g)	m <sub>1</sub>	0,1392	0,1398
Masa ostatka na filter papiru (g)	m	0,0030	0,0029
Volumen uzorka (cm <sup>3</sup> )	V	200	200
		<b>15</b>	<b>14,5</b>
<b>Ukupna suspendirana tvar</b>	<b>TSS</b>	<b>14,8 mg/ dm<sup>3</sup></b>	

Račun:

$$\rho_{TSS-1} = \frac{0,1392 - 0,1369}{0,200 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 15,0 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TSS-2} = \frac{0,1368 - 0,1369}{0,200 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 14,5 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TSS} = \frac{\rho_{TSS-1} + \rho_{TSS-2}}{2} = \frac{15,0 + 14,5}{2} = 14,75 \text{ mg/dm}^3$$

### 4.3. Rezultati određivanja ukupne otopljene tvari

U prirodi ne postoji čista voda jer se zbog velike moći otapanja u vodi nalaze brojne otopljene tvari (čvrste tvari, tekućine i plinovi). Kao i suspendirane tvari, u vodi se isto tako nalaze otopljene i organske i anorganske tvari, od kojih su uobičajeni ioni prikazani u tablici 2. (poglavlje 2.6.1.). Ako se suhi ostatak profiltrirane vode žari na 550 - 600°C, izgorjet će hlapljive, organske tvari, a isparni ostatak čine anorganske tvari.

Ukupno otopljene krutine (Total Dissolved Solids – TDS) predstavljaju masu otopljenih tvari po jedinici volumena vode, preostale nakon specifičnih postupaka filtracije i sušenja. Izražava se u mg/dm<sup>3</sup>. Ovaj se pokazatelj često puta naziva i „suhioostatak“. Izražava se u mg/dm<sup>3</sup> suhe tvari.

Od ukupno otopljenih tvari u vodi neke su sastavni dio prirodnih voda ali pod pojačanim utjecajem gospodarstva i ljudskih aktivnosti u vodi se nalaze i nepoželjne i opasne a ponekad i toksične tvari. Otopljene tvari nalaze se u vodi u obliku iona ili molekula i spojeva koji nisu ionizirani. Nalaze se kao posljedica otapanja prolazom vode kroz atmosferu, otjecanjem po površini tla ili u podzemlju. U vodi se nalaze i

mnogi proizvodi razgradnje uginule organske tvari. Međutim istodobno voda prenosi i otpadne tvari iz kućanstva kao i iz tehnoloških i proizvodnih postupaka.

Otopljeni minerali, plinovi o organska tvar vodi daju okus i miris a u povećanim koncentracijama otopljene tvari može se promijeniti boja, okus i miris. Utječu i na bistrinu vode. Neke organske otopljene tvari troše kisik otopljen u vodi što za posljedicu ima stvaranje anoksičnih uvjeta. Određivanje sadržaja otopljenih tvari od velike je važnosti za procjenu kvalitete vode i njezine buduće namjene kao vode za piće, poljoprivredu ili pak za industrijske i tehnološke procese. Ovisno o namjeni, neke otopljene tvari će se morati ukloniti iz vode (npr. Ca, Mg, karbonati postupkom mekšanja) a temelj za to je upravo određivanje ukupno otopljenih tvari u vodama.

Ova metoda se primjenjuje za ispitivanje uzoraka površinskih i otpadnih voda te eluata otpada a koje sadrže više od  $200 \text{ mg/dm}^3$  ukupno otopljenih krutina. Važno je da otopljene krutine nisu hlapljive u uvjetima ispitivanja te da ne otpuštaju vodu vezanu hidratacijom. Uzorci s nižom koncentracijom otopljenih krutina se mogu analizirati ovom metodom ponavljanjem postupaka sušenja [15].

U tablicama 12. do 15. prikazani su rezultati određivanja ukupne otopljene tvari u uzorcima voda a na slici 12. izgled filtera nakon analize.

Tablica 12. Određivanje ukupne otopljene tvari u destiliranoj vodi

Opis uzorka: <b>destilirana voda</b>			
Opis:	oznaka	Uz 1	Uz 2
Masa čiste porculanske zdjelice (g)	$m_a$	125, 2496	90, 6594
Masa porculanske zdjelice i ostatka nakon sušenja (g)	$m_b$	125, 2497	90, 6594
Masa ostatka u porculanskoj zdjelici (g)	$m_D$	0,0001	0,0
Volumen uzorka ( $\text{cm}^3$ )	$V_{UZ}$	100	100
		1,0	0,0
<b>Ukupna otopljena tvar</b>		<b>TDS</b>	<b><math>1,0 \text{ mg/dm}^3</math></b>

Račun:

$$\rho_{TDS} = \frac{125,2497 - 125,2496}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 1,0 \text{ mg/dm}^3$$

Tablica 13. Određivanje ukupne otopljene tvari u sekundarnoj suspenziji celuloze

Opis uzorka: sekundarna suspenzija			
Opis:	oznaka	Uz 1	Uz 2
Masa čiste porculanske zdjelice (g)	$m_a$	104,6934	84,4625
Masa porculanske zdjelice i isparnogostatka (g)	$m_b$	104,6944	84,4638
Masa ostatka u porculanskoj zdjelici (g)	$m_D$	0,0010	0,0013
Volumen uzorka ( $cm^3$ )	$V_{UZ}$	100	75
		10	17,3
<b>Ukupna otopljena tvar</b>		<b>TDS</b>	<b>13,7mg/dm<sup>3</sup></b>

Račun:

$$\rho_{TDS-1} = \frac{104,6944 - 104,6934}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 10,0 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TDS-2} = \frac{84,4638 - 84,4625}{0,075 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 17,3 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TDS} = \frac{10,0 + 17,3}{2} = 13,67 \text{ mg/dm}^3$$

Tablica 14. Određivanje ukupne otopljene tvari u uzorku vode za ljudsku potrošnju

Opis uzorka: voda za ljudsku potrošnju			
Opis:	oznaka	Uz 1	Uz 2
Masa čiste porculanske zdjelice (g)	$m_a$	84, 4590	109, 2555
Masa porculanske zdjelice i isparnogostatka (g)	$m_b$	84, 5030	109, 2989
Masa ostatka u porculanskoj zdjelici (g)	$m_D$	0,0440	0,0434
Volumen uzorka ( $cm^3$ )	$V_{UZ}$	100	100
		440	434
<b>Ukupna otopljena tvar</b>		<b>TDS</b>	<b>437 mg/dm<sup>3</sup></b>

Račun:

$$\rho_{TDS-1} = \frac{84,5030 - 84,4590}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 440,0 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TDS-2} = \frac{109,2989 - 109,2555}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 434,0 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TDS} = \frac{440,0 + 434,0}{2} = 437 \text{ mg/dm}^3$$

Tablica 15. Određivanje ukupne otopljene tvari u uzorku površinske vode

Opis uzorka: <b>površinska voda, potok Grana</b>			
Opis:	oznaka	Uz 1	Uz 2
Masa čiste porculanske zdjelice (g)	$m_a$	104,6926	125,2432
Masa porculanske zdjelice i isparnog ostatka (g)	$m_b$	104,7130	125,2649
Masa ostatka u porculanskoj zdjelici (g)	$m_D$	0,0204	0,0217
Volumen uzorka ( $cm^3$ )	$V_{UZ}$	100	100
		204,0	217,0
<b>Ukupna otopljena tvar</b>		<b>TDS</b>	<b>210,5 <math>mg/dm^3</math></b>

Račun:

$$\rho_{TDS-1} = \frac{104,7130 - 104,6926}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 204,0 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TDS-2} = \frac{125,2649 - 125,2432}{0,100 \text{ dm}^3} \cdot 1000 = 217,0 \text{ mg/dm}^3$$

$$\rho_{TDS} = \frac{204,0 + 217,0}{2} = 210,5 \text{ mg/dm}^3$$



Slika 12. Rezultati određivanja suspendiranih tvari u vodi za ljudsku potrošnju (lijevo) i u površinskoj vodi (desno)

Na lijevoj strani nalaze se stakleni filteri kroz koje je profiltrirana voda za ljudsku potrošnju, a na desnoj se nalaze stakleni filteri kroz koje je profiltrirana površinska voda.

Ispravnost postupka određivanja suspendirane tvari potvrđena je ispitivanjem suspenzije celuloze, točno definirane koncentracijey = 50  $mg/dm^3$  (tablica 9.). Prihvaćeno odstupanje od 52  $mg/dm^3$  u odnosu na teoretsku vrijednost, smatra se



zadovoljavajućom točnošću ta analitička ispitivanja ovoga tipa. U ovome eksperimentu, pogreška je iznosila 3,8%. Moguća odstupanja se, osim slučajne pogreške, može pripisati i određenoj količini otopljene tvari koja se nalazila u suspenziji celuloze tj.  $13,7 \text{ mg/dm}^3$  (tablica 13.).

U tablici 16. prikazani su sumarni rezultati svih provedenih analiza realnih uzoraka voda. Uočava se da je najveća količina ukupno otopljene tvari u uzorku vode za ljudsku potrošnju ( $437,0 \text{ mg/dm}^3$ ) a gotovo dvostruko manja u površinskoj vodi,  $210,5 \text{ mg/dm}^3$  (potok Grana). To je i razumljivo jer površinske vode nastaju iz atmosferskih voda i voda koje se u zemlju sliju s površine. Treba napomenuti da su površinske vode u direktnom i konstantom dodiru sa zemljom te mogu u većoj ili manjoj mjeri biti onečišćene i zagađene. Podzemne vode nalaze se u podzemnom dijelu kopna unutar šupljina, kanala i pora u tlu i stijenama. Ovisno o sastavu geoloških slojeva i dubini na kojoj se podzemna voda nalazi, voda otapa više ili manje minerala, pa su podzemne vode uglavnom tvrđe od površinskih voda [4].

Navedeni rezultati se podudaraju s rezultatima Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo [19].

Tablica 16. Sumarni rezultati svih provedenih analiza realnih uzoraka

Parametar	Uzorak	
	Voda za ljudsku potrošnju	Površinska voda, potok Grana
Ukupna otopljena tvar	$437,0 \text{ mg/dm}^3$	$210,5 \text{ mg/dm}^3$
Ukupna suspendirana tvar	$< 2 \text{ mg/dm}^3$	$15,8 \text{ mg/dm}^3$
Taloživa tvar,	-	$< 0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3 \text{ h}$

Sadržaj ukupne suspendirane tvari je očekivano veći u prirodnoj, površinskoj vodi ( $15,8 \text{ mg/dm}^3$ ) jer nije prošla obradu prirodne vode te postupkom kondicioniranja nisu uklonjene suspendirane tvari, redovito prisutne u površinskim vodama. Ti se podaci podudaraju i s prisustvom taložive tvari u površinskoj vodi ( $0,05 \text{ cm}^3/\text{dm}^3 \text{ h}$ ).

U vodi za ljudsku potrošnju, sadržaj suspendirane tvari je manji od donje granice određivanja metode.

Iz ovog prikaza se vidi značaj određivanja čvrstih tvari u vodama. Za potpunu sliku i karakteristike voda, bilo bi potrebno načiniti analizu i ostalih kemijskih i fizikalno-kemijskih parametara kvalitete vode, kao i mikrobiološku analizu.

Kako otpadne vode tekstilne industrije sadrže brojne otopljene i suspendirane tvari, neophodno je napraviti i karakterizaciju takvih suspendiranih tvari. Pri tome valja naglasiti da je danas određivanje i karakterizacija čestica mikroplastike, koje se mogu naći unutar definicije suspendirane tvari, otpuštenih tijekom obrade a još više u njezi tekstila danas jedna od prioritarnih tema u zaštiti okoliša i ekologiji. Čestice mikroplastike imaju dokazan štetni učinak na okoliš i žive organizme a samim time i na život čovjeka. Stoga će se u idućem razdoblju, istraživanja posvetiti temi otpuštanja čestica mikroplastike iz tekstila.

## 5. ZAKLJUČAK

Upravljanje kvalitetom voda osigurava se zaštita, očuvanje i poboljšanje kvalitete voda koje se svakodnevno koriste te se time pridonosi zaštiti okoliša i samog ljudskog zdravlja. Na temelju eksperimentalno dobivenih rezultata, izračunatih vrijednosti, analiziran je sadržaj čvrste tvari u vodi za ljudsku potrošnju i površinskoj vodi. Na temelju navedenih rezultata donijeti su sljedeći zaključci:

- Sadržaj ukupno otopljene tvari (TDS) i sadržaj ukupne suspendirane tvari (TSS) u promatranim uzorcima je unutar dozvoljenih granica
- Sadržaj taložive tvari u površinskoj vodi se podudara sa sadržajem suspendirane tvari
- Sadržaj ukupno otopljenih tvari je veći u vodi za ljudsku potrošnju nego u površinskoj vodi, što je i za očekivati s obzirom na porijeklo ispitivanih uzoraka voda
- Za potpunu sliku i karakteristike voda, bilo bi potrebno načiniti analizu i ostalih kemijskih i fizikalno-kemijskih parametara kvalitete vode
- u idućem razdoblju, istraživanja je potrebno usmjeriti prema temi otpuštanja čestica mikroplastike iz tekstila

## 6. LITERATURA

- [1] *Strategija upravljanja vodama*, Hrvatske vode, ISBN 978-953-7672-00-3, Zagreb, 2011
- [2] Zakon o vodama, Narodne novine br. 66/19
- [3] Zakon o vodi za ljudsku potrošnju, Narodne novine br. 56/13,64/15,104/17,115/18
- [4] Briški F.: *Zaštita okoliša*, Sveučilište u Zagrebu FKIT i Element d.o.o., Zagreb, ISBN 978-953-197-589-6, Zagreb, (2016)
- [5] [http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web\\_Sikirica/index.htm](http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web_Sikirica/index.htm); pristupljeno 20.8.2019.
- [6] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, Narodne novine br. 80/13,43/14,27/15 i 3/16
- [7] <http://mytutorial.srtcube.com/waste-water-treatment-sequential-process/environment-science/693-467#7626>; pristupljeno 20.8.2019.
- [8] Tedeschi, S.: *Zaštita voda*, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, (1997)
- [9] Vojnović, B.; materijali s predavanja iz predmeta „Otpadne vode tekstilne industrije“, nastavna jedinica Parametri kvalitete vode, akad.god. 2017./2018.
- [10] <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>; pristupljeno 20.8.2019.
- [11] <http://www.clevelandwater.com/blog/understanding-turbidity-and-why-it-matters>; pristupljeno 20.8.2019.
- [12] <https://www.rocker.com.tw/product-3.asp?ser=975&ser2=Filtration%20System#>, pristupljeno 20.8.2019.
- [13] APHA, AWWA, WEF *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. 22nd Edition*, Method 2540 F Settleable Solids, American Public Health Association, Washington DC (2012).
- [14] HRN EN 872:2008 Kakvoća vode – određivanje suspendiranih tvari – metoda filtriranjem kroz filtar od staklenih vlakana (EN 872:2005)
- [15] HRN EN 15216:2008 Karakterizacija otpada - Određivanje ukupno otopljenih krutina (TDS) u vodi i eluatima (EN 15216:2007)

- [16] Pravilnik o parametrimasukladnosti i metodamaanalizevode za ljudskupotrošnju, Narodne novine br.56/13,64/15,104/17,115/18
- [17] <https://www.theperfectwater.com/Particle-Size-Chart.html> ; pristupljeno 20.8.2019.
- [18] Csuros, M.: *Environmental Sampling and Analysis Lab manual*, CRC Press LLC, , ISBN 1-56670-178-3,Boca Raton, Florida
- [19] Dadić, Ž.: *Priručnik o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj*, Hrvatski zavodza javno zdravstvo, Zagreb, 2001