

Priprema vode za ljudsku potrošnju

Mesek, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:862700>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Luka Mesek

ZAVRŠNI RAD

Sisak, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Luka Mesek

Priprema vode za ljudsku potrošnju

ZAVRŠNI RAD

Voditelj:

izv.prof.dr.sc. Anita Štrkalj

Članovi ispitnog povjerenstva:

Predsjednik: prof.dr.sc. Damir Hršak

Član: izv.prof.dr.sc. Anita Štrkalj

Član: izv.prof.dr.sc. Ivan Brnardić

Zamjenski član: prof.dr.sc. Zoran Glavaš

Sisak, rujan 2019



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

IME: Luka
PREZIME: Mesek
MATIČNI BROJ: BE – 3549/15

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj završni / diplomski / doktorski rad pod naslovom:

PRIPREMA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak, 09. rujan 2019

Luka Mesek

(vlastoručni potpis)

Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod.

PRIPREMA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

Sažetak

Voda predstavlja osnovu života na Zemlji. U prirodi kruži u hidrološkom ciklusu između zraka, tla i vodenih tokova (mora, rijeka i jezera). Tijekom hidrološkog ciklusa vrlo često biva zagađena i kao takva nije pogodna za ljudsku potrošnju. Stoga se takva voda mora pripremiti odgovarajućim postupcima.

U ovom radu biti će prikazani najčešći postupci pripreme vode za ljudsku potrošnju kao što su taloženja, koagulacije i flokulacije, filtracije i dezinfekcije.

Ključne riječi: voda za ljudsku potrošnju, taloženje, koagulacija i flokulacija, filtracija, dezinfekcija

PREPARATION OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION

Abstract

Water represents the basis of life on Earth. In nature it circulates in a hydrological cycle between air, soil and water (sea, river and lake). During the hydrological cycle often becomes contaminated because of which is not suitable for human consumption. Therefore, such water must be prepared by appropriate procedures. This paper presents the most common methods for preparing water for human consumption, such as precipitation, coagulation and flocculation, filtration and disinfection.

Key words: water for human consumption, precipitation, coagulation and flocculation, filtration, disinfection

Sadržaj

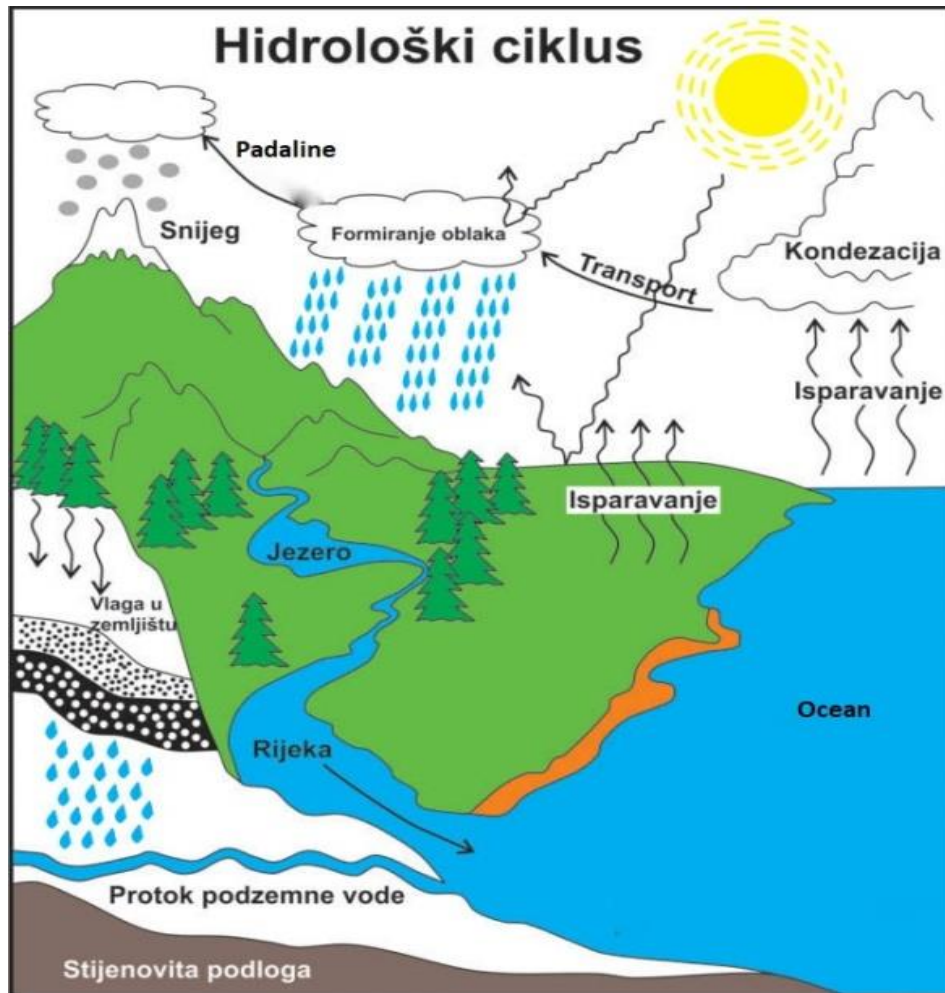
1. Uvod	1
2. Općenito o vodi	2
3. Voda za ljudsku potrošnju	4
4. Priprema vode za ljudsku potrošnju	6
4.1 Taloženje	8
4.2 Koagulacija i flokulacija	9
4.3 Filtracija	10
4.4 Dezinfekcija	12
4.5 Deferizacija i demanganizacija	16
4.6 Uklanjanje organskih tvari	16
5. Zaključak	17
6. Literatura	18
Životopis	19

1. Uvod

Voda je osnovni element u životu čovjeka. Zauzima 2/3 površine planeta Zemlje i 70% volumena ljudskog tijela. Voda se svakodnevno koristi u industriji, pripremi i proizvodnji hrane, te za piće i ljudsku higijenu. Svi biološki procesi koji se odvijaju u živim organizmima odvijaju se u vodenoj sredini. Iako je esencijalna za život ljudi, nije svuda na planeti jednako dostupna, a čest je slučaj da u krajevima u kojima jest dostupna ne zadovoljava higijenske uvjete, zakonske parametre i osnovne kriterije koji bi je učinili pitkom, zdravom i sigurnom za čovjekovu konzumaciju. Rasprostranjenost vode na planeti neravnomjerna je i nije idealna za potrebe čovjeka. Najvećim dijelom voda je morska oko 96%, s velikom sadržajem soli i kao takva nije dobra za piće. Svega 4% vode na planetu se može koristiti za piće, a oduzme li se od toga postotak vode koja je prisutna u obliku (leda), situacija je vrlo zabrinjavajuća. S obzirom da je ostatak vode koji je dostupan za upotrebu i piće vrlo mali (oko 2,3%) potrebno je vrlo brza promjena svijesti čovjeka. Bitno je zaustaviti uništavanje i zagađivanje okoliša, sačuvati resurs bez kojega život nije moguć. Problem nedostatka pitke vode sve se češće provlači kroz različite medije i sve se više naglašava kako vodu treba čuvati, te da je ona novo blago, vrednije od zlata i nafte. U zemljama koje su slabije razvijene javlja se problem nedostatka pitke vode zbog toga što je ona zagađena zbog nedostatka infrastrukture, higijene, ali i zbog načina života. No, nemaju samo nerazvijene zemlje problem. U velikim, razvijenim industrijskim zemljama, zbog čovjekovog zanemarivanja prirode uništeni su prirodni resursi pitke vode. Sve je manje zemalja koje imaju svoju pitku vodu koja teče iz slavine, koju nije potrebno obrađivati prije upotrebe. Također, sve smo češće svjedoci da se voda kupuje u raznoj ambalaži za čovjekove potrebe. Stoga je neophodno uložiti odgovarajuće napore da se u zemljama u kojima postoje izvori pitke vode oni i sačuvaju, odnosno da se uvedu nove ili usavrše postojeće metode za pročišćavanje i/ili pripremu vode za ljudsku potrošnju.

2. Općenito o vodi

Vodikov oksid (H_2O) je najvažniji kemijski spoj bez kojeg na Zemlji ne bi bilo života. Hidrološkim ciklusom voda kruži u prirodi (slika 1). Utjecajem sunčevog zračenja površinska voda neprekidno isparava u atmosferu, u njoj se kondenzira i u obliku padalina (npr. kiša, snijeg, rosa, magla, tuča, inje) vraća na Zemljinu površinu [1].

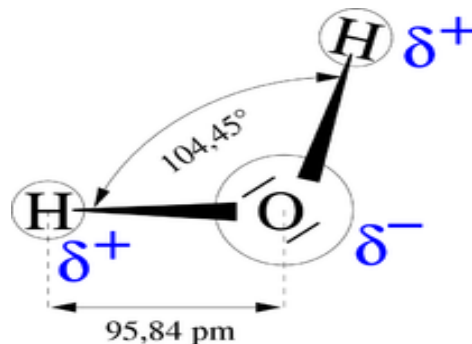


Slika 1. Kruženje vode u prirodi (hidrološki ciklus) [2]

U prirodi je voda prisutna u tri agregatna stanja. Stanje pri atmosferskom tlaku i temperaturi od $20^{\circ}C$ je tekuće. Agregatno stanje se mijenja u čvrsto kada je temperatura $0^{\circ}C$. Temperatura od $0^{\circ}C$ je temperatura leđišta. Sve temperature ispod $0^{\circ}C$ neće utjecati drugačije od temperature leđišta, osim što će se skrućivanje tekućine (prelazak iz tekućeg u čvrsto stanje) ubrzati, tj. brže će se stvoriti kruto kompaktno tijelo. Pri $100^{\circ}C$ voda iz tekućeg prelazi u plinovito stanje, odnosno isparava. Voda je dakle, pri atmosferskom tlaku i sobnoj temperaturi bezbojna tekućina, bez mirisa i okusa. Gustoća vode je najveća na $4^{\circ}C$. Zbog gustoće, led pliva na tekućoj vodi, ima manju gustoću, ali volumen mu je veći, što znači da se prilikom prelaska iz tekućeg u kruto agregatno stanje volumen povećava, tj. voda se širi.

Kemijska i fizikalna svojstva vode su jedinstvena, a posljedica su kemijske i prostorne građe molekula. Molekula vode razmjerno je jak dipol, zbog razlike u elektronegativnosti vodikovih i kisikovih atoma, zbog dvaju slobodnih elektronskih parova na kisikovu atomu, te zbog toga što kovalentne veze između atoma kisika i vodika zatvaraju kut od 104.5° (slika 2). Zbog toga

se u krutom i tekućem stanju molekule vode vežu jedna na drugu, te čine nakupine molekula koje se međusobno povezuju vodikovim vezama. Dok su u tekućem agregatnom stanju, te su veze nestabilne i nasumične, dok u krutom stanju veze tvore pravilnu tetraedarsku strukturu, a tetraedri pri tome grade heksagonske kanale [1,3].



Slika 2. Prikaz strukture molekule vode [4]

Svojstvo vode da se pri zagrijavanju ne širi linearno, nego da joj se kod zagrijavanja od 0°C do 4°C volumen smanjuje i da joj se gustoća povećava, naziva se anomalija vode. Ovo svojstvo je neobično važno za održavanje života u zaleđenim površinskim vodama (jezerima i rijekama). Led koji se stvori na površini vode usporava daljnje zaleđivanje u dubljim slojevima, te se tako održava život u vodi preko zime. Također, najhladnija voda je na vrhu, a pri dnu je toplija zahvaljujući svojstvu da je najgušća pri 4°C. Zbog vodikovih veza voda za razliku od sličnih spojeva koji sadrže vodik (amonijak, sumporovodik), ali nemaju vodikove veze, ima više temperature leđišta i vrelišta. Bez vodikovih veza vrelište vode bi bilo na -75°C. Također, zahvaljujući vodikovim vezama veliki su specifični toplinski kapacitet vode ($4185 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$), specifična toplina isparavanja ($3,33 \cdot 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$) i taljenja ($2,26 \cdot 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$). Upravo zbog ovoga svojstva se mora i oceani sporo hlade i sporo zagrijavanju. Tako da su oni ti koji u obalnim područjima reguliraju klimu. Zimi zagrijavaju kopno, a po ljetu ga hlade. Također, voda na površini zemlje pomaže i sprječava velike i nagle promjene temperatura kao na drugim planetima i tijelima u svemiru, koji ne sadrže vodu.

Tvrdoća vode je još jedno važno svojstvo vode. Različite primjese koje imaju katione kalcija i magnezija vežu se na anione i čine mineralne soli koje stvaraju tvrdoću vode. Ovisno o tome u kojem su obliku vezani kalcij i magnezij, razlikuje se karbonatna, nekarbonatna i ukupna tvrdoća.

Karbonatnu tvrdoću vode predstavljaju soli kalcija i magnezija poput kalcijevog hidrogenkarbonata, magnezijevog hidrogenkarbonata i magnezijevog karbonata. Karbonatna tvrdoća vode vrlo lako se uklanja budući da se soli kalcija i magnezija raspadaju zagrijavanjem. Nekarbonatnu tvrdoću vode čine ostale soli kalcija i magnezija (sulfati, kloridi, nitrati i dr.). Ova tvrdoća se često naziva stalnom budući da se spomenute soli ne mogu ukloniti zagrijavanjem. Ukupna tvrdoća jednaka je zbroju karbonatne i nekarbonatne tvrdoće, odnosno čine je sve soli kalcija i magnezija. Tvrdoća vode najčešće se izražava količinom kalcijevog karbonata i označava stupnjevima tvrdoće [1].

U tablici 1 prikazane su vrste voda ovisno o tvrdoći, odnosno sadržaju kalcijevog karbonata.

Tablica 1. Pregled voda prema tvrdoći [5]

Tvrdoća	Koncentracija kalcijevog karbonata (mg/L)
Meka voda	0 do 75
Srednje tvrda voda	75 do 150
Tvrda voda	150 do 300
Jako tvrda voda	Preko 300

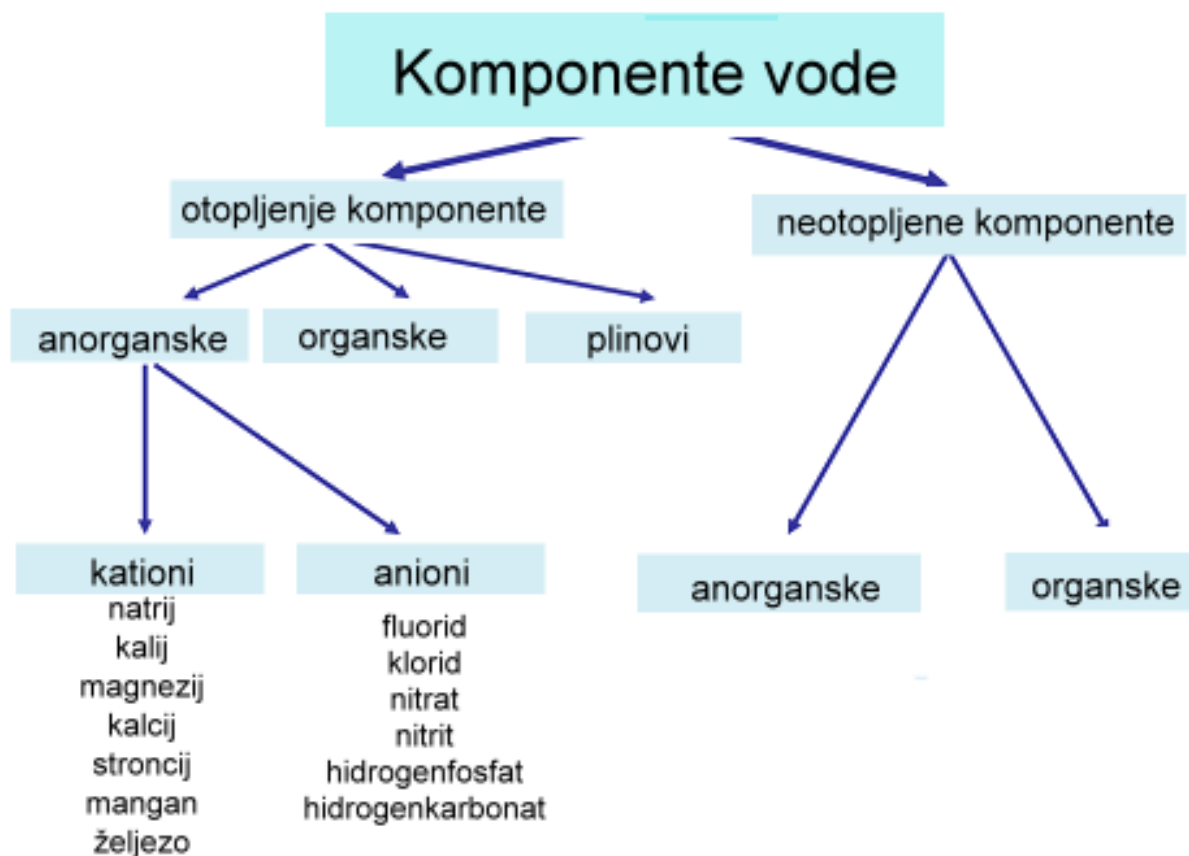
3. Voda za ljudsku potrošnju

Voda koja je namijenjena za ljudsku potrošnju je sva voda koja u svom izvornom stanju ili nakon obrade služi za piće, pripremu hrane, kuhanje, druge potrebe kućanstva, neovisno o porijeklu, te neovisno o tome potječe li iz sustava javne vodoopskrbe, cisterni, boca ili drugih posuda za vodu. Također tu spada sva voda koja se koristi u svrhu proizvodnje hrane, njezine obrade, čuvanja ili stavljanja na tržište. Vode za ljudsku potrošnju u svom sastavu smiju sadržavati 20 živih bakterija po mL vode, izraslih na kompletnoj podlozi pri 37°C, i 100 bakterija po mL izraslih na 22°C, ali bakterije nikako ne smiju biti patogene, niti mikroorganizmi koji indiciraju fekalno onečišćenje [6].

Voda za ljudsku potrošnju je bistra voda, bez boje, mirisa i okusa. Ipak radi dobrog okusa, mora u sebi sadržavati neke otopljene tvari kao što su kisik, ugljikov dioksid, ali i različite soli (NaHCO₃, NaCl i sl.). Na slici 4 prikazane je sastav vode obzirom na otopljene i neotopljene komponente.

Vode za ljudsku potrošnju mogu biti [7]:

- vode iz javnih vodoopskrbnih sustava,
- prirodne mineralne vode,
- izvorske vode,
- stolne vode i
- soda-vode.



Slika 4. Sastav vode obzirom na otopljene i neotopljene komponente [8]

Kao vode za ljudsku potrošnju mogu se koristiti bunarske, podzemne i površinske vode. Bunarska voda se koristi u mnogim domaćinstvima kao izvor pitke vode, pa ju ljudi mogu koristiti za sve potrebe u neograničenim količinama. Iako se modernom tehnologijom postiže da se bunari brzo i jednostavno izgrade, često se nalaze u blizini septičkih jama, poljoprivrednih zemljišta, industrijskih postrojenja, stambenih zgrada i/ili sličnih izvora onečišćenja. Kao takva, voda može sadržavati po zdravlje opasne količine štetnih tvari. Podzemne vode su vode koje svoje tokove imaju ispod površine zemlje, nalaze se u stijinama ili tlima, a nastaju iz padalina koje prodiru u tlo. Tvrdoću podzemnoj vodi daju sulfati i vapnenac. Moguća je prisutnost organskih zagađivača. Površinske vode su vode koje teku ili stoje na površini zemlje. Dijele se na stajačice i tekućice, a u njih ubrajamo rijeke, potoke, jezera i mora. Nastaju iz oborina koje padaju iz atmosfere kao posljedica hidrološkog ciklusa. Za razliku od oborinskih, površinske vode zbog kontakta s zemljom imaju bolji okus (u njima se otapaju minerali). Zbog kontakta sa zemljom postoji i mogućnost njihovog zagađenja. Najčešće zagađenje površinskih voda je zagađenje fekalijama iz domaćinstava ili industrija. Bitno svojstvo ovih voda je autopurifikacija. To je sposobnost da se površinske vode same pročiste ukoliko dođe do zagađenja. Ako je onečišćenje organsko, u površinskoj se vodi stvaraju velike količine mikroorganizama (bakterija), koje će razgraditi onečišćenje koristeći ga za svoj rast i razvoj [1].

4. Priprema vode za ljudsku potrošnju

Ukoliko pitka voda sadrži neke od po zdravlje ljudi štetne tvari potrebno ju je prije korištenja pročititi određenim metodama. Pod štetnim tvarima u vodi podrazumijevaju se [9]:

- patogeni mikroorganizmi,
- organske tvar,
- amonijak, nitriti, nitrati,
- soli mangana i/ili željeza,
- druge štetne tvari.

Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode [6] jedan je od bitnih dokumenata kojim je propisana kakvoća vode za ljudsku potrošnju. Ovim je pravilnikom propisana:

- zdravstvena ispravnost vode koja služi za javnu vodoopskrbu stanovništva kao voda za piće ili za proizvodnju namirnica i pripremu hrane,
- vrste, obim i standardni postupci analize uzoraka vode za piće,
- učestalost i način uzimanja (uzorkovanje) vode za piće.

Sastav vode za ljudsku potrošnju utvrđuje se analizom koja obuhvaća:

- organoleptička i fizikalno-kemijska svojstva vode (mutnoća, miris, okus, temperatura, boja, pH i elektrovodljivost),
- kemijska svojstva vode (tvrdoća, rezidualni klor, masti i ulja, otopljeni plinovi, nitrati, nitriti itd.),
- mikrobiološka svojstva vode (koliformne, fekalne, aerobne mezofilne i ostale bakterije te viruse u vodi),
- otrovne (toksične) tvari: aluminij, arsen, berilij, cijanidi, kadmij, krom, nikal, olovo, pesticidi, selen, vanadij, živa, sumporovodik, bakar, cink i drugo.

Takozvana sirova voda je voda koja se u vodovodima i sličnim objektima za uzimanje vode, uzima za potrebe vodoopskrbe. Ona nikada nije potpuno čista. Uvijek sadrži manje ili više raznih vrsta zagađenja, bilo da su ona otopljena u vodi, da u njoj lebde ili plivaju. Rezultati analize vode upućuju na to treba li se i uolikoj mjeri provoditi proces pročišćavanja i/ili pripreme vode. Proces pročišćavanja podrazumijeva korištenje različitih procesa kojima se uklanjaju nedostaci. Metode koje se koriste su različite, moguće je da se koriste jednostavne metode (samo jedna), ili kompleksne metode gdje se uz glavni proces (ili više glavnih) odvijaju još dodatni procesi. Cilj je ukloniti onečišćenja ili smanjiti njihovu koncentraciju da bi se postigli parametri koji dozvoljavaju upotrebu vode u svrhu konzumacije [10].

U tablici 2 prikazani su osnovni fizikalno-kemijski i mikrobiološki pokazatelji kvalitete vode za ljudsku potrošnju za razdoblje 01.01.2019.-31.03.2019.god. za Grad Sisak i prigradska naselja.

Tablica 2. Osnovni fizikalno-kemijski i mikrobiološki pokazatelji kvalitete vode za ljudsku potrošnju za razdoblje 01.01.2019.-31.03.2019.god.za grad Sisak i prigradska naselja [11]

Pokazatelj	Mjerna jedinica	MDK*	Ukupno uzoraka	Srednja vrijednost
Temperatura	°C	25	317	7,07
Boja	mg/L Pt ⁰ Co	bez	317	0,53
Mutnoća	°NTU	4,0	317	0,37
Miris	-	bez	317	bez
Okus	-	bez	317	bez
pH	pH jedinica	6,5 - 9,5	317	7,62
Vodljivost	µS/cm /20 °C	-	317	384
Utrošak KMnO ₄	mg O ₂ /l	5	317	0,74
Klor dioksid	mg/L		317	0,142
Kloriti	mg/L	0,4	317	0,188
Klorati	mg/L	0,4	317	0,066
Kloridi	mg/L	200	317	7,30
Aluminij	µg/l	200	317	39,9
Amonijak	mg NH ₄ ⁺ /l	0,5	317	0,004
Nitriti	mg NO ₂ ⁻ /l	0,50	317	0,0008
Nitrati	mg NO ₃ ⁻ /l	50	317	3,96
Željezo	mg Fe/l	200	35	2,94
Ukupna tvrdoća	mg CaCO ₃ /l		35	177
Kalcijeva tvrdoća	mg CaO/l		35	87
Broj kolonija 37°C	n/1 mL	10	317	1
Broj kolonija 22°C	n/1 mL	100	317	2
Ukupni koliformi	n/100 mL	0	317	0
Escherichia coli	n/100 mL	0	317	0
Enterokoki	n/100 mL	0	317	0
Clostridium perfringens	n/100 mL	0	317	0

MDK* maksimalno dozvoljene koncentracije prema Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe [12]

Onečišćenja i štetne tvari koje treba ukloniti iz vode za ljudsku potrošnju su [1]:

- suspenzije i emulzije; tvar koje uzrokuju mutnoću – mikroorganizmi i plankton,
- koloidne otopine; visokomolekularni i koloidni spojevi koji mijenjaju boju vode i utječu na kapacitet oksidacije,
- ionske otopine; soli, baze i kiseline – utječu na tvrdoću,
- molekularne otopine; plinovi i organske tvari koje su otopljene u vodi, a utječu na miris i okus vode,
- ostala onečišćenja.

Razvojem znanosti, tehnike, ali i pojavom novih zagađivača, u posljednje vrijeme metode za pripremu vode za piće obuhvaćaju niz glavnih i dopunskih procesa i operacija koje se kombiniraju u sklopu tehnološkog procesa za pripremu vode za ljudsku potrošnju. Tehnološki proces može biti vrlo jednostavan uz upotrebu samo jedne operacije, ali i vrlo složen. Složenost tehnološkog procesa pripreme vode za ljudsku potrošnju ovisi o kvaliteti vode i zahtjevima potrošača [13].

U praksi se u postupku pripreme vode za ljudsku potrošnju uglavnom koristi nekoliko uobičajenih metoda [13]:

- taloženje,
- koagulacija i flokulacija,
- filtracija,
- uklanjanje željeza i mangana
- dezinfekcija.

Koja od metoda pripreme vode će se primijeniti ovisi o raspoloživim resursima vode (prirodni izvori, podzemne ili površinske vode), ali i o svojstvima vode.

4.1 Taloženje

Taloženjem se iz vode uklanjaju mehaničke primjese organskog ili anorganskog porijekla. Ovu metodu moguće je primijeniti samo za primjese koje imaju veću specifičnu težinu od vode. Taloženje se provodi u bazenima (taložnicima) u kojima su vrlo male brzine protjecanja vode. Brzine moraju biti takve da bi se osiguralo izdvajanje čestica uslijed gravitacije. Vrijeme zadržavanja vode u taložnicima ovisi o veličini čestica koje je potrebno istaložiti, temperaturi, razlici u specifičnoj težini vode i čestica koje se talože i brzini strujanja vode, a obično iznosi 4-24 sata [14]. U tablici 3 prikazane su brzine taloženja za neke od primjesa u vodi.

Tablica 3. Brzine taloženja za neke od primjese u vodi ovisno o dimenziji čestica (pri 10°C)
[14]

Primjese u vodi	Veličina čestica, μm	Brzina taloženja
Krupnozrnati pijesak	1000	100 mm/s
Srednjezrnati pijesak	500	53 mm/s
Sitnozrnati pijesak	100	6,9 mm/s
Fini mulj	5-10	5 $\mu\text{m/s}$
Sitna glina	0,5-1	0,17-0,7 $\mu\text{m/s}$
Koloidne čestice	0,001-01,	0,007 $\mu\text{m/s}$

Općenito se pri taloženju koriste dva tipa taloženja: Tip I - slobodno ili diskretno taloženje (pri kome se suspendirane tvari talože kao zasebne čestice) i Tip II – potpomognuto taloženje. Slobodnim taloženjem iz vode nije moguće ukloniti boju i koloidne organske tvari te se stoga ovaj postupak dosta rijetko koristi kao samostalni postupak pripreme vode za ljudsku potrošnju. Tip II se danas primjenjuje u modernijim uređajima, a predstavlja postupak taloženja uz dodatak koagulanata [13].

Taloženje se provodi u taložnicima koji mogu biti kontinuirani, diskontinuirani i polukontinuirani. Kod kontinuiranog taložnika se stalno dovodi suspenzija, a odvodi talog i bistra otopina. Kontinuirani taložnik je cilindrična plitka posuda sa stožastim dnom, a u svojoj konstrukciji sadrži mehaničke uređaje za grabljenje i guranje taloga prema mjestu gdje se on ispušta. Diskontinuirani taložnik je konstruiran kao cilindrična posuda s stožastim dnom ili kao četvrtasta posuda s ravnim dnom. Diskontinuirani za razliku od kontinuiranog nema grabilice i guralice, nego se čeka da se suspendirane tvari potpuno istalože pa se talog ispušta kroz otvor na dnu, a bistra kapljevina dekantira. Kod polukontinuiranih taložnika se suspenzija dovodi malom brzinom, a talog se uklanja povremeno [15].

4.2 Koagulacija i flokulacija

Koagulacija i flokulacija predstavljaju postupke pripreme (bistrenja) vode za ljudsku potrošnju kemijskim putem. Na ovaj način se iz vode uklanjaju koloidno dispergirane čestice koje uzrokuju mutnoću i obojanost vode. Koloidne čestice se vrlo teško talože samo djelovanjem gravitacije pa je to ujedno i razlog zbog kojeg se ne mogu ukloniti mehaničkim putem (taloženjem). Osim toga, koloidne čestice su vrlo stabilne, sadrže iste naboje (najčešće negativne pri pH 7) te među njima vladaju odbojne sile. Postupkom koagulacije u vodu se dodaju tzv. koagulant koji imaju suprotan naboj od koloidnih čestica. Koagulant na sebe elektrostatski privlače koloidne čestice te se pri tome stvaraju veće nakupine koje se mogu lakše istaložiti [16].

Flokulacija je proces koji se nastavlja na koagulaciju pri čemu dolazi do rasta čvrstih čestica iz koloidnih disperzija u veće nakupine – flokule. Postupak se provodi uz dodatak sredstva za flokulaciju. Sredstva za flokulaciju, tzv. flokulanti su visokomolekularne jedinice sa dugačkim lancima, a mogu biti prirodne ili umjetne, te neorganske i organske. Na slici 5 prikazan je postupak flokulacije [17].



Slika 5. Proces flokulacije [18]

Osnovne primjene koagulacije i flokulacije u obradi voda su [19]:

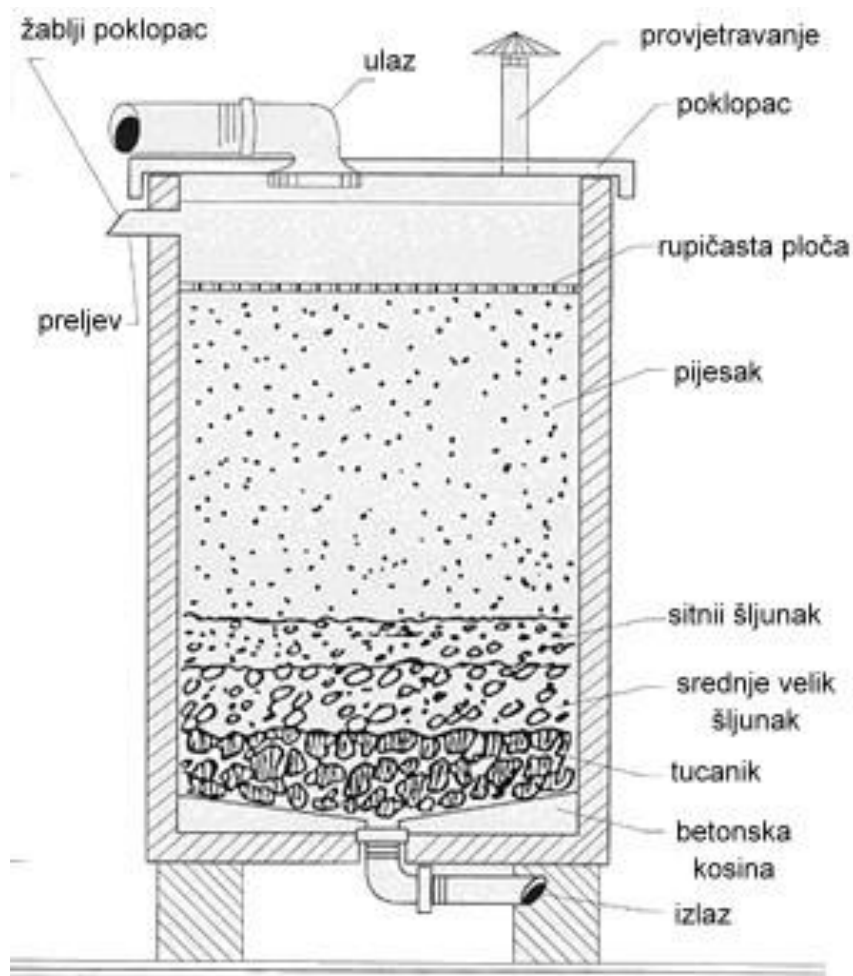
- bistrenje mutnih i obojenih površinskih voda,
- pročišćavanje otpadnog biološkog mulja,
- uklanjanje algi.

Na uspješnost postupaka koagulacije i flokulacije utječe miješanje, temperatura, pH vrijednost i sl. Miješanje do određene mjere pospješuje koagulaciju. U fazi rasta i starenja miješanje mora biti blago kako se već formirani agregati ne bi razbili. Porastom temperature ubrzava se koagulacija, skraćuje se period inkubacije i rasta, ubrzava se kretanje čestica i omogućava veliki broj sudara. pH vrijednost ovisi o vrsti primjerenog koagulant. Svaki koagulant ima optimalni pH, tj. vrijednost pri kojoj je najbolji proces koagulacije [20].

Uspješnost drugih procesa obrade vode često ovisi o koagulaciji i flokulaciji te su ti procesi postali nezamjenjivi u procesu pripreme vode za ljudsku potrošnju. Zbog toga se intenzivno radi na razvijanju novih flokulanata i koagulanata [20].

4.3 Filtracija

Filtracija je jedan od najvažnijih procesa u pripremi vode za ljudsku potrošnju. Filtracija je fizikalna i separacijska tehnika i tehnološka operacija razdvajanja heterogenih smjesa čvrstih (neotopljenih) tvari od tekućina ili plinova uz pomoć filtara. Filtri su porozne pregrade koje propuštaju tvari određene veličine, te se uklanjanju primjese kojima je specifična težina različita od specifične težine vode. Kao filtar se najčešće koristi kvarcni pijesak. Filtraciju vode moguće je provesti primjenom sporih ili brzih filtara. Spori filtri (slika 6) se koriste za bistrenje vode koja nije bila podvrgnuta kemijskim procesima obrade. Filtracija je kombinacija prirodnog, samoodjeljujućeg procesa taloženja i fizikalnih i kemijskih procesa procjeđivanja i oksidacije. Brzina filtracije sporih filtara kreće se od oko 0,1 do 0,4 m/h. Zbog toga što se spora filtracija događa samo pod utjecajem hidrostatskog tlaka, ona je spora. Ova vrsta filtracije koristi se najčešće da bi se uklonile velike količine organskih tvari koje su nečistoće u površinskim vodama [9].



Slika 6. Spori filtar (presjek) [15]

Brzi filtri su do 40 puta brži od sporih filtara. Filtarska ispuna je krupnija kod sporih filtara, te mogu biti otvorenog i zatvorenog tipa. Otvoreni brzi filtri su bazeni napravljeni od armiranog betona i sastavni su dio vodovoda i industrija, dok su zatvoreni brzi filtri napravljeni od čelika, cilindričnog su oblika te mogu biti stojeći i/ili ležeći. Tijekom filtracije sirova voda protječe odozgora prema dolje. Voda se prije filtracije brzim filtrima mora dobro pripremiti prethodnim procesima, posebno koagulacijom, zbog brzog prolaska kroz filtar i zbog toga što čestice mogu proći dublje u filtarsku ispunu. Filtarska ispuna može biti jednoslojna, dvoslojna ili troslojna. Kod jednoslojne raspored zrna prema granulaciji je takav da su gore sitnije čestice, a prema dnu su sve krupnije i krupnije. Zbog toga već na početku suspendirane tvari zapinju na vrhu te donji dio filtra uopće nema svrhu. Zbog toga se filtracija s jednoslojnom ispunom zove „površinska filtracija“. Dvoslojna filtarska ispuna omogućuje da suspendirane tvari prodru dublje, jer je gornji sloj više porozan. Donji sloj drugoslojne ispune ima manja zrnaca od gornjeg sloja, stoga služi kao sigurnosni sloj za zadržavanje čestica koje eventualno prođu. Prednost dvoslojnog filtra nad jednoslojnim je ta što ima veću brzinu filtriranja, bolju i jednaku kvalitetu filtrata, te se manje mora prati filtar, tj. duži je period između pranja.

Sita i mikrosita čine uređaje za mikrofiltraciju vode. Za zadatak imaju zadržati plivajuće tvari, sitne organske tvari i mikroorganizme. Sita se izrađuju u različitim oblicima i veličinama. Ispred sita se postavljaju rešetke ili gruba (veća) sita. Kod mikro sita najmanja veličina otvora je 25 μ m, te je zbog toga neophodno prije njih vodu propustiti kroz grubo sito. Proizvode se od

žice nehrđajućeg čelika. Najvažnija primjena mikrofiltera je pročišćavanje koje prethodi sporim ili brzim pješčanim filtrima. Cilj je smanjiti opterećenje brzih i sporih filtara, smanjiti učestalost pranja istih, te povećanje brzine filtracije bez unapređivanja i nadogradnje postojeće opreme. Ukoliko je voda slabo mutna i nije obojena, mikrofilteri se koriste i za kompletno pročišćavanje vode. Poslije prolaska vode kroz mikrofiltre neophodno je provesti dezinfekciju [21]

4.4 Dezinfekcija

Dezinfekcija je temeljni i najbitniji proces kod pripreme vode za ljudsku potrošnju zato što se njom osigurava zdravstvena ispravnost vode. Pomoću fizikalno-kemijskih metoda (taloženja, filtracije, koagulacije i flokulacije) moguće je ukloniti skoro sve suspendirane tvari te 90-95% mikroorganizama (bakterija). Međutim za uništenje preostalog dijela mikroorganizama vodu je potrebno dezinficirati. Proces dezinfekcije osigurava zdravstvenu ispravnost vode, ali se koristi i preventivno ako se voda transportira ili skladišti, poslije popravaka vodovodnih mreža i slično. Za dezinfekciju se koriste fizikalne i kemijske metode, te njihova kombinacija. Veću primjenu imaju kemijske metode zbog svoje primarne efikasnosti, ali i zbog mogućnosti da djeluju naknadno u vodovodnim sustavima i distribucijskim mrežama. Dezinfekcija se može provoditi isključivo u bistroj vodi jer i najmanje zamućenje ometaju proces dezinfekcije, a samim time dezinfekcija je neuspješna [22].

Metode dezinfekcije mogu se provoditi [22]:

- fizikalnim djelovanjem – topline,
- kemijskim djelovanjem – klor, ozon,
- zračenjem – UV zračenje.

Metode s fizikalnim djelovanjem podrazumijevaju primjenu topline. Zagrijavanjem (vrenjem vode) uništavaju se mikroorganizmi koji su prisutni u vodi. Vrijeme potrebno da se ovaj način dezinfekcije provede je oko 20 minuta. Iako je to najstariji oblik dezinfekcije, danas se jako malo koristiti zbog velike cijene energenata kojima se provodi zagrijavanje i zbog male količine vode koja se ovom metodom može dezinficirati.

Metode dezinfekcije kemijskim djelovanjem najčešće podrazumijevaju korištenje klora i njegovih spojeva. Spomenuta kemijska sredstva djeluju tako da napadaju vitalne dijelove mikroorganizama, a dezinfekcija se postiže djelovanjem određene koncentracije dezinfekcijskog sredstva po ukupnoj količini vode za vrijeme kontakta.

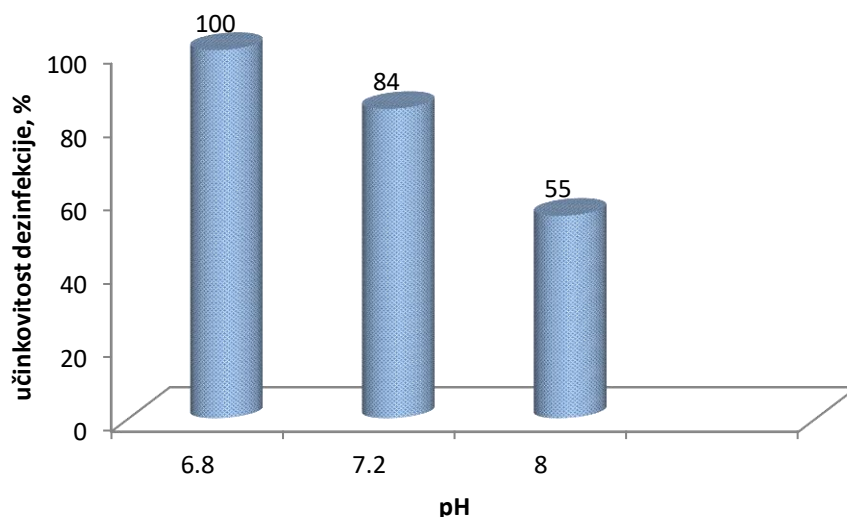
Klor predstavlja jaki oksidans stoga u reakciji s vodom stvara hipokloritnu kiselinu koja je nestabilna, odnosno raspada se na HCl i kisikov radikal(O•) prema jednadžbi (1).



Nastala hipokloritna kiselina je oksidacijsko sredstvo. Dezinfekcijska moć pripisuje se ili hipokloritnoj kiselini ili slobodnom radikalu kisika koji se stvara kao rezultat velikog afiniteta klora prema vodikom [22].

Količina hipokloritne kiseline koja se oslobađa dodatkom dezinfekcijskog sredstva naziva se aktivni klor. Količina klora potrebna za dezinfekciju je ona količina koja se dodaje vodi do pojave rezidualnog klora. Rezidualni klor je koncentracija klora koja je ostala u vodi kao

višak nakon reakcije klora s tvarima koje oksidiraju. Količina rezidualnog klora je zakonski određena i iznosi do 0,5 mg/L kod normalnih uvjeta, a 0,5-0,8 mg/L u posebnim uvjetima. Uspješnost dezinfekcije vode klorom uvelike ovisi o pH vrijednosti (slika 7) i temperaturi, ali i o vremenu kontakta. Postupak dezinfekcije učinkovitiji je pri nižim pH vrijednostima. Pri pH 6,7 čak 90 % klora daje O_2 , dok pri pH 9 svega 4,5 % klora daje O_2 . Uzrok tome je disocijacija hipokloritne kiseline pri višim pH vrijednostima pri kojima dolazi do stvaranja hipokloritnog iona (ClO^-). Navedeni ion je znatno slabije dezinfekcijsko sredstvo u odnosu na hipokloritnu kiselinu [23].



Slika 5. Ovisnost učinkovitosti dezinfekcije klorom o pH vrijednosti [24]

Dezinfekcija je uspješnija pri višim temperaturama i dužem vremenu kontakta klora s vodom. Budući da klor ne djeluje trenutno, potreban je određeni period kontakta klora s vodom, a to je najmanje 30 minuta. Ako se nakon vremena od 30 minuta u vodi ne nalazi minimalno 0,1 mg/L, proces dezinfekcije nije dobro proveden te je potrebno postupak ponoviti. Ponavljanje se obavlja tako dugo dok se nakon isteka vremena od 30 minuta po dodatku klora ne utvrdi minimalno 0,1 mg/L rezidualnog klora [24].

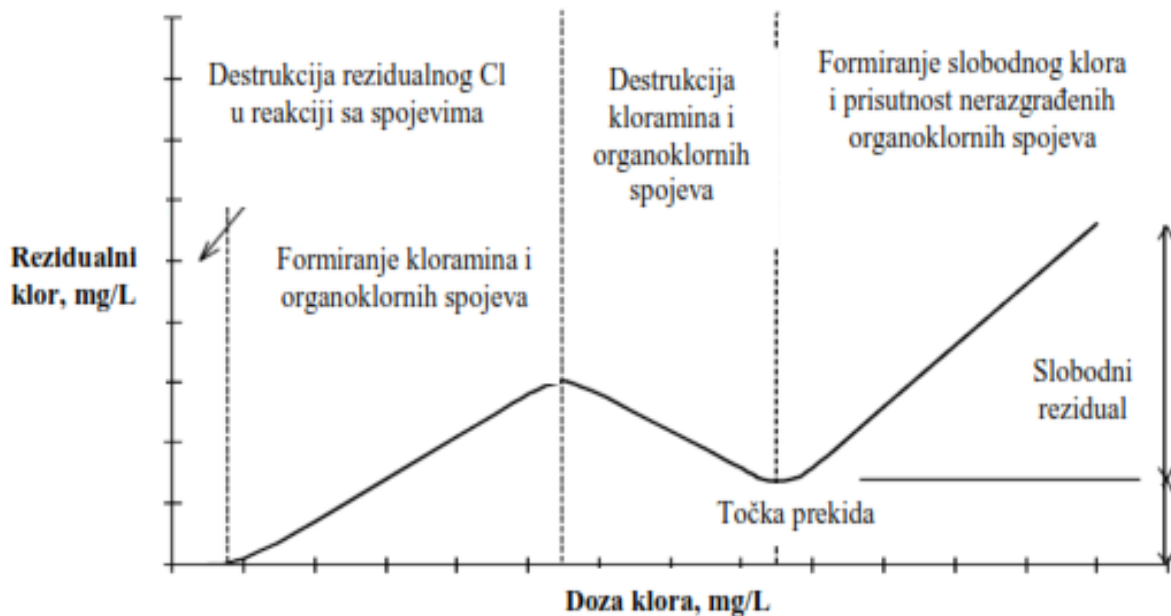
U slučajevima kada je potrebno dokloriranje vode, dezinfekcija većih količina vode poput bazena ili dezinfekcija vode kod malih protoka koristi se dezinfekcija natrijevim hipokloritom ($NaClO$). Prilikom dezinfekcije vode natrijevim hipokloritom oslobađa se hipokloritna kiselina kao i kod dodatka elementarnog klora.

Najjače dezinfekcijsko sredstvo na bazi klora je klorov dioksid. Budući da je nestabilan te ga zbog toga nije moguće transportirati proizvodi se na mjestu gdje se provodi dezinfekcija i to iz kloridne kiseline i natrijevog hipoklorita. Bolje je dezinfekcijsko sredstvo od elementarnog klora budući da je dezinfekcija završena za kraće vrijeme, rezidualni klor dioksid je u vodi prisutan duže vrijeme u odnosu na druga dezinfekcijska sredstva na bazi klora, pH vrijednost nema utjecaja na njegovu aktivnost, te se prilikom postupka dezinfekcije ne stvaraju štetni spojevi.

Dezinfekcija vode može se vrlo učinkovito provesti i kloraminima. Dobra učinkovitost ovakvog način dezinfekcije je zbog toga što kloramini sporo otpuštaju klor u vode, stabilniji su od hipoklorita, te se polako raspadaju do hipokloritne kiseline.

Unatoč nekim nedostacima u primjeni klorovih spojeva u dezinfekciji vode, oni se ipak najviše koriste jer osim što uništavaju bakterije, uklanjaju željezo i mangan iz vode, ali i miris i okus vode [24].

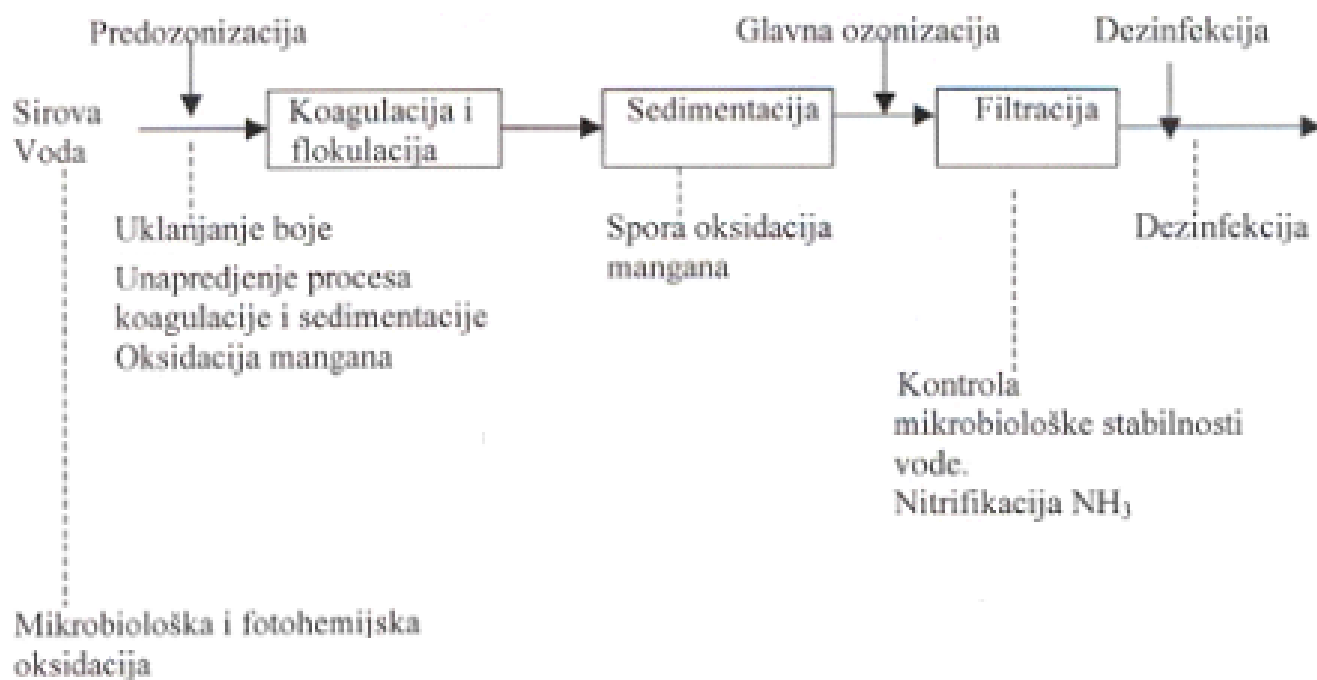
Na slici 6 prikazan je proces kloriranja vode.



Slika 6. Prikaz procesa kloriranja [25]

Ozon je jače dezinfekcijsko sredstvo od klora i klorovih spojeva. Osim toga, jako je oksidacijsko sredstvo pa samim time predstavlja najbolje kemijsko sredstvo za dezinfekciju vode. Kod ozonizacije (dezinfekcije ozonom) važnu ulogu ima temperatura, te je proces učinkovitiji kod niže temperature. Kao i kod dezinfekcije sredstvima na bazi klora, bitna je rezidualna doza ozona, koja iznosi 0,4 ozona/L u vremenu od najmanje 4-6 minuta.

Osim u postupku dezinfekcije vode ozon se može koristiti i za druge namijene u postupcima pripreme vode za ljudsku potrošnju. Između ostalog koristi se za uklanjanje otopljenih organskih tvari. Primjena može biti samo u jednom postupku pripreme vode, ali i kao više stupanjaska obrada. Mjesta primjene ozona ovise o kvaliteti vode koja se želi postići. Na slici 7 prikazana su uz dezinfekciju i druga moguća mjesta primjene ozona u postupcima pripreme vode za ljudsku potrošnju [26].



Slika 7. Moguća mjesta primjene ozona u postupcima pripreme vode za ljudsku potrošnju [26]

Prednosti ozonizacije su [26]:

- mogućnost potpune dezinfekcije vode,
- razgradnje i oksidacija organskih tvari,
- inaktivacija virusa,
- poboljšavanje mirisa i okusa, uklanjanje boje,
- ne mijenja se mineralni sastav vode.

Nedostatak primjene ozona u dezinfekciji vode prvenstveno je ekonomske prirode, tj. uređaji za ozon i korištenje uređaja vrlo su skupi. Osim toga, ozonizacijom vode nastaju neželjeni nusprodukti poput aldehida ketona.

Dezinfekcija vode ultraljubičastim zrakama je vrlo brz proces koji se provodi u svega nekoliko sekundi. UV zrake u mikroorganizmima potiču nepoželjne biokemijske procese i njihovo odumiranje. Za ozračivanje se koriste kvarcne lampe, koje se postavljaju u struju vode ili izvan nje. Zrake valne duljine od 200 – 300 nm imaju bakteriocidno djelovanje, ali ne ubijaju samo bakterije nego i sporogene oblike. Iako se ovom metodom brzo dezinficira voda, ne dodaju se štetne tvari, ne mijenjaju se organoleptička svojstva vodi, jednostavno je rukovanje, troši se malo energije, ali ipak nije moguće u potpunosti kontrolirati učinak dezinfekcije kao ni koncentraciju reziduala sredstva za dezinfekciju. Zbog toga je uz ovu metodu neophodno koristi druge metode dezinfekcije pomoću kojih se može vidjeti učinak djelovanja dezinfekcije [22].

4.5 Deferizacija i demanganizacija

U vodama koje su siromašne kisikom otapaju se željezo i mangan. Ukoliko su koncentracije željeza veće od 0,3 mg/L, odnosno mangana veće od 0,5 mg/L vodi se mijenjaju organoleptička svojstva. Promjenom organoleptičkih svojstava voda ne ispunjava kriterije vode za ljudsku potrošnju.

Ovisno o količini i obliku u kojem se željezo nalazi u vodi primjenjuju se različiti postupci deferizacije. Koloidna forma željeza se uklanja oksidacijom jakim oksidacijskim sredstvima kao što su ozon i vodikov peroksid. Sulfati i karbonati željeza se uklanjaju aeracijom. Željezo oksidira s kisikom i s vodom stvara hidroksid koji koagulira u pahuljice. Tako koagulirane pahuljice je lako istaložiti iz vode iz koje se kasnije uklanjaju filtracijom. Brzina ove reakcije ovisi o pH vrijednosti vode te koncentraciji kisika i željeznih iona.

Uklanjanje mangana iz vode također se provodi oksidacijom. Međutim, iako imaju slična kemijska svojstva, mangan i željezo ponekada nije moguće ukloniti istovremeno.

Prilikom uklanjanja mangana neophodno je osigurati pH vrijednost iznad 9. Proces uklanjanja mangana kemijskom oksidacijom relativno je spor proces [7].

Osim kemijske oksidacije zrakom, moguće je provesti i biološku oksidaciju željeza i mangana. Biološka oksidacija je naročito pogodna pri uklanjanju mangana, a provodi se pomoću mikroorganizama koji oksidiraju i željezo i mangan. Mikroorganizmi djeluju u posebnom pješčanom filtru [19].

4.6 Uklanjanje organskih tvari

Voda u sebi sadrži organske tvari, koje su nastale kao posljedica djelovanja čovjeka ili prirodnog raspadanja biljaka i životinja. Ako su prisutne organske tvari, na vodu utječu tako da joj mijenjaju okus, boju i miris, smetaju pri uklanjanju mangana i željeza, smetaju i pri ostalim procesima obrade vode, a u nekim slučajevima mogu biti vrlo opasne za ljudsko zdravlje time što postoji mogućnost da su toksične ili kancerogene. Uklanjanje ovakvih onečišćenja se provodi tako da se organske tvari prvo koaguliraju i zatim istalože [7].

5. Zaključak

Pregledom literature iz područja pripreme vode za ljudsku potrošnju moguće je zaključiti sljedeće:

- Pitka voda je esencijalna za život na planetu Zemlji.
- Kao voda za ljudsku potrošnju može se koristiti bunarska, podzemna i površinska voda.
- Voda za ljudsku potrošnju mora biti bistra voda, bez boje, mirisa i okusa. U svom sastavu smije sadržavati 20 živih bakterija po mL vode, izraslih na kompletnoj podlozi pri 37°C, i 100 bakterija po mL izraslih na 22°C, ali bakterije nikako ne smiju biti patogene, niti mikroorganizmi koji indiciraju fekalno onečišćenje.
- Ukoliko voda ne zadovoljava propisanim zahtjevima potrebno ju je pripremiti jednom ili više uobičajenih metoda poput taloženja, koagulacije i flokulacije, filtracije, dezinfekcije, uklanjanja željeza i mangana i/ili uklanjanja organskih tvari.
- Taloženjem se u taložnicima iz vode uklanjaju mehaničke primjese organskog ili anorganskog porijekla pri čemu postupak taloženja može biti kontinuirani, diskontinuirani i polukontinuirani.
- Koagulacija i flokulacija služe za bistrenje vode pri čemu se kemijskim putem uklanjaju koloidno dispergirane čestice koje uzrokuju mutnoću i obojanost vode.
- Filtracija vode za ljudsku potrošnju predstavlja kombinaciju prirodnog, samoodjeljujućeg procesa taloženja i fizikalnih i kemijskih procesa procjeđivanja i oksidacije. Filtraciju vode moguće je provesti primjenom sporih ili brzih filtara.
- Dezinfekcija osigurava zdravstvenu ispravnost vode te je stoga temeljni i najbitniji proces pripreme vode za ljudsku potrošnju. Provodi se fizikalnim, i kemijskim djelovanjem te zračenjem.
- Prisutnost željeza i mangana u vodi u koncentracijama većim od 0,3 mg/L, odnosno 0,5mg/L mijenjaju se organoleptička svojstva vode stoga je neophodno provesti deferizaciju i demanganizaciju vode. Uklanjanje navedenih metala najčešće se provodi oksidacijom.
- Organske tvari u vodi mijenjaju okus i miris vode, ali i uzrokuju mutnoću vode koja može smetati u postupcima pripreme vode za piće. Organske tvari uklanjaju se koagulacijom i taloženjem.

6. Literatura

- [1] D. Eisenberg, W. Kauzmann, The Structure and Properties of Water, Oxford University Press, New York, 1969.
- [2] <https://geografijazasve.me/2017/07/15/isparavanje-evaporacija/> (22.07. 2019)
- [3] I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- [4] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Voda#/media/File:Watermolecule.png> (2.5.2019.)
- [5] <https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=tvrd%C4%87a+vode> (22. 07. 2019)
- [6] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, NN 47/08.
- [7] A. Štrkalj, Onečišćenje i zaštita vode, Metalurški fakultet Sisak, Sisak, 2014.
- [8] TKA Wasseraufbereitungssysteme, Water Course, Niederelbert, 2010.
- [9] N. P. Chermisnoff, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, Butterwoth-Heinemann, Boston, 2002.
- [10] D.W. Sundstrom, H.E. Klei, Wastewater treatment, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1979.
- [11] <https://sisackivodovod.hr/djelatnosti/kvaliteta-vode-2/> (20.6.2019.)
- [12] 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, NN 125/17.
- [13] H. Busuladži, Konvencionalne metode prečišćavanja voda za piće, Vodoprivreda 41 (2009) 237-239, 61-67.
- [14] V. B. Rukavina, D. Damjanović, Tehnologija vode i tehnologija napojne vode, Savez energetičara Srbije, Beograd, 1984.
- [15] F. N. Kemer, Nalkov priručnik za vode, Jugoslavenska inženjerska akademija, Savez inženjera i tehničara Srbije, Građevinska knjiga, Beograd, 2005.
- [16] I. Bušatlić, A. Karić, A. Ibrahimagić, A. Smajić, Ispitivanje uticaja vrste i količine dodatog sredstva na proces koagulacije vode, Zbornik radova 8. međunarodne konferencije "KVALITET 2013", ur. S. Brdarević, S. Jašarević, Neum, B&H, 06. - 08 juni 2013.
- [17] G. Ilišić, M. Maksimović, Đ. Vojinović, Koagulacija i flokulacija u procesu pripreme vode za piće na pilot postrojenju, Hemijska industrija, 59(2005)9-10, 279-284.
- [18] <https://aguavmv.hr/dekoloranti-i-precipitatori/> (11.6. 2019.)
- [19] F. R. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Taylor & Francis Group, New York, 2009.
- [20] M. Jahić, Priprema vode za piće, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, Novi sad, 1990.
- [21] B. Dalmacija, J. Agbaba, M. Klačnja, Savremene metode u pripremi vode za piće, Prirodno-matematički fakultet Novi Sad, Novi Sad, 2009.
- [22] I. Mijatović, M. Matošić, Tehnologija vode, Prehrambeno – biotehnoški fakultet Zagreb, Zagreb, 2009.
- [23] A. C. Twort, D. D. Ratnayaka, M. J. Brandt, Water Supply, Butterwoth-Heinemann, Boston, 2000.
- [24] www.apeiron-uni.eu/lycboardclient/Detail.aspx?DocumentID=19570 (20.6.2019.)
- [25] <http://brod.sfsb.hr/~saracic/Poslijedipl/PREMAZI/dezinfekcija%20vode.pdf> (23.6.2019)
- [26] I. Nikolić, M. Antonijević, Primena ozona u postupku prečišćavanja voda, Zaštita materijala, 47 (2006)1, 36-58.

Životopis

Osobni podaci:

Ime i prezime: Luka Mesek

Adresa stanovanja: Antuna Mihanovića 11,44250, Petrinja, Hrvatska

Telefon: +385 95 537 0639

e-mail: mesek.luka@gmail.com

Spol: muško | *Datum rođenja:* 14.6.1996. | *Državljanstvo:* Hrvatsko

Obrazovanje i osposobljavanje:

2011. –2015.

Srednja škola Petrinja, Prehrambeni tehničar

2015. –

Metalurški fakultet, Preddiplomski studij Metalurgija, smjer Industrijska ekologija

Osobne vještine:

Strani jezici: Engleski

Razumijevanje		Govor	Pisanje
Slušanje	Čitanje		
B1	B2	B1	B2

Računalne vještine: Osnove rada na računalu, poznavanje rada u MS Office-u

Ostale vještine: grupni rad, rad u laboratoriju u paru, položen trenerski ispit za trenera košarke.