

Nusprodukti dezinfekcije pitke vode

Zanghirella, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:932145>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

NUSPRODUKTI DEZINFEKCIJE PITKE VODE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević

Student: David Zanghirella

Zagreb, 2023.

SAŽETAK

Dezinfekcija vode je posljednja i najbitnija faza kondicioniranja vode gdje se uklanjaju nepoželjni mikroorganizmi koji mogu uzrokovati razne bolesti. Prilikom dezinfekcije vode, zbog prisustva organskih tvari, dolazi do stvaranja nepoželjnih nusprodukata dezinfekcije. Čovjek te nepoželjne nusprodukte unosi u svoj organizam konzumiranjem pitke vode, udisanjem te dodiranjem preko kože. Većina nusprodukata dezinfekcije pitke vode su toksični, mutageni i kancerogeni spojevi. U ovom radu obuhvaćeni su postupci dezinfekcije ozonom, UV zračenjem te klorom i njegovim spojevima. Također su obrađeni utjecaji pojedinog nusprodukata dezinfekcije pitke vode na zdravlje čovjeka.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	4
1.1. OPĆENITO O VODI.....	4
2. GLAVNI DIO	5
2.1. DEZINFEKCIJA	5
2.2. KLOR I NJEGOVI SPOJEVI	6
2.2.1. Klor.....	6
2.2.2. Klor dioksid.....	8
2.2.3. Kalcijev hipoklorit.....	8
2.2.4. Natrijev hipoklorit	8
2.2.5. Kalcijev klorid-hipoklorit	9
2.2.6. Kloramini	9
2.3. NUSPRODUKTI DEZINFEKCIJE KLOROM I NJEGOVIM SPOJEVIMA.....	9
2.3.1. Trihalometani	10
2.3.2. Halooctene kiseline.....	11
2.3.3. Halogenacetonitrili.....	12
2.3.4. Klorfenoli.....	13
2.3.5. Klorati i kloriti.....	13
2.4. OZON.....	13
2.5. NUSPRODUKTI DEZINFEKCIJE OZONOM	15
2.5.1. Bromat.....	16
2.5.2. Aldehidi	16
2.6. UV ZRAČENJE.....	16
2.6.1. •OH radikal.....	18
3. ZAKLJUČAK	19
4. LITERATURA.....	20

1. UVOD

1.1. OPĆENITO O VODI

Voda je tekućina bez boje, okusa i mirisa. Molekulu čine dva atoma vodika i jedan atom kisika. Molekula vode je trokutaste strukture, a kut između dvije OH veze iznosi $104,5^\circ$. U prirodi se nalazi u sva tri agregatna stanja, tekućem, krutom i plinovitom stanju. Voda je specifična po tome što nije najgušća u krutom stanju već je najgušća u tekućem stanju pri temperaturi od 4°C . Molekula vode je polarna molekula zbog razlike u relativnim elektronegativnostima vodika i kisika. Uslijed polarnosti voda je odlično otapalo koje se u prirodi rijetko nalazi kemijski čista.

Voda je neophodna za odvijanje životnih funkcija biljaka, životinja i ljudi, stoga možemo reći da je ona najvažnija tvar na Zemlji. Nezamjenjiv je resurs koji se u domaćinstvima koristi za piće i pranje, u poljoprivredi za navodnjavanje, a u industriji u gotovo svim industrijskim procesima. Na Zemlji voda zauzima 71 %, a kopno zauzima 29 % površine. Procjenjuje se da na Zemlji ima $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ vode, od čega 97 % čini slana voda, a 3 % slatka voda. Od ukupne slatke vode samo se 1 % može koristiti. Zbog rasta broja ljudi na Zemlji raste i potreba za čistom i pitkom vodom što postaje jedan od važnijih problema modernog doba.

Voda namijenjena za piće u Republici Hrvatskoj definirana je *Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju* ("Narodne novine", broj 56/13, 64/15) i *Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* ("Narodne novine", broj 125/13, 141/13, 128/15). Voda za piće mora biti bez boje, okusa i mirisa, te pH vrijednosti između 6,5 i 8,5. Ona ne smije sadržavati mikroorganizme, parazite, štetne tvari u koncentracijama gdje same ili zajedno s drugim tvarima djeluju opasno po zdravlje ljudi, te ne smije prelaziti vrijednosti parametara zdravstvene ispravnosti vode definirane zakonom. Maksimalne dozvoljene koncentracije tvari u pitkoj vodi su: amonijak 0,5 mg/L; nitrati 50 mg/L; nitriti 0,5 mg/L; kloridi 250 mg/L; natrij 200 mg/L; sulfati 250 mg/L; željezo 0,2 mg/L; mangan 0,05mg/L; slobodni klor 0,5 mg/L; arsen 10 $\mu\text{g/L}$; organske tvari (5 mgO₂/L kao utrošak KMnO₄). Pitka voda smije sadržavati 20 bakterija na mL vode, izraslih na kompletnoj podlozi pri 37°C , i 100 bakterija na mL vode, izraslih na 22°C pri tome da te bakterije nisu patogene.

Ukoliko pitka voda ne ispunjava zahtjeve zdravstvene ispravnosti tj. nije mikrobiološki ispravna, može biti uzročnik raznih bolesti poput trbušnog tifusa, kolere i dizenterije. Kako bi se uklonili uzročnici zaraznih bolesti te kako bi se spriječilo širenje bolesti potrebna je obrada vode za piće. Najčešće metode obrade vode su:

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

2. GLAVNI DIO

2.1. DEZINFEKCIJA

Povijest dezinfekcije započinje 1774. godine u Švedskoj kada je Carl Wilhelm Scheele otkrio klor. Tada se smatralo da su za prijenos bolesti odgovorni mirisi iz vode, a 1835. godine klor se koristio za uklanjanje tih mirisa. Tek 1890. godine je ustanovljeno da klor ima značajan utjecaj na dezinfekciju vode tj. da smanjuje količinu bolesti koje se prenose vodom. Od 1900. godine započinje široka primjena dezinfekcije pitke vode u svrhu smanjenja širenja bolesti i povećanja kvalitete vode. Godine 1974. J. Rook otkriva prvi nusprodukt dezinfekcije, tj. otkriva triklorometan ili kloroform. Nakon tog otkrića započinje proučavanje nusprodukata dezinfekcije te njihov utjecaj na zdravlje ljudi.

Dezinfekcija vode je posljednja i najbitnija faza kondicioniranja vode sa zadatkom uklanjanja i smanjenja mikroorganizama (bakterija, virusa, parazita i praživotinja) koji mogu uzrokovati razne bolesti. Taj proces je obavezan, te se pomoću njega osigurava zdravstvena ispravnost vode. Također se može provoditi i u preventivne mjere kao na primjer prilikom puštanja u rad novih objekata, nakon popravaka vodovodnih mreža i objekata te nakon posebnih okolnosti kao što su rat, poplava, potres i slično. Dezinfekcija se koristi isključivo u bistroj vodi zbog toga što i

najmanje zamućenje može izazvati neuspjeh ovog procesa. Za dezinfekciju vode koriste se fizikalno-kemijske metode dezinfekcije.

Prema mehanizmu djelovanja metode dezinfekcije možemo podijeliti na:

- Fizikalne metode
 - toplina
 - UV zračenje
 - ultrazvuk
- Kemijske metode
 - klor i njegovi spojevi
 - ozon
 - jod
 - srebro
- Membranski procesi
 - membranska dezinfekcija

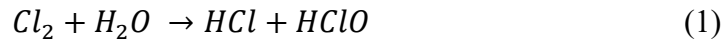
2.2. KLOR I NJEGOVI SPOJEVI

Najčešća primjenjivana sredstva za dezinfekciju vode su klor i njegovi spojevi. Njima se dezinficiraju manje količine vode u domaćinstvu i veće količine vode u vodovodima. Na rasprostranjenost njihove primjene utjecala je lakoća njihove nabave, transporta, skladištenja, jednostavnost rukovanja i doziranja te neovisnost postrojenja o električnoj energiji.

2.2.1. Klor

Klor (Cl_2) je žuto-zelen plin neugodnog mirisa. Dobiva se elektrolizom otopine natrijevog klorida. Otrovan je plin koji nagriza sluznicu organa za disanje. Dokazano je da je dezinfekcija klorom vrlo učinkovita kod uklanjanja bakterija, a nešto slabija kod uklanjanja virusa. Nakon jedne minute od kontakta klora s vodom, on počinje djelovati na bakterije. Klor reagira sa različitim organskim materijalom stanice mikroorganizma te s lipidima u staničnoj membrani. Klor je također jako oksidacijsko sredstvo koje će razgraditi organske tvari u vodi, no zbog toga što je vrlo reaktivan

doći će do stvaranja kloriranih spojeva s prisustvom organske tvari. U reakciji klora i vode dolazi do stvaranja hipokloritne kiseline koja se raspada na klorovodičnu kiselinu (HCL) i kisikov radikal (O•) (1), (2).



Hipokloritna kiselina je slaba kiselina, a disocijacija ovisi o pH vode. Pri nižim pH vrijednostima disocijacija hipokloritne kiseline je mala, dok je pri višim pH vrijednostima sklonija disocijaciji na H^+ i ClO^- (3).



Dezinfekcija vode će biti uspješnija pri nižim pH vrijednostima vode zbog toga što je hipokloritna kiselina jače oksidacijsko sredstvo od ClO^- iona. Na djelovanje klora utječe i temperatura, što je ona viša to je bolja dezinfekcija. Kod dezinfekcije vode važno je vrijeme potrebno za dezinfekciju koje iznosi minimalno 30 minuta. Ukoliko se nakon 30 minuta ne utvrdi minimalna koncentracija rezidualnog klora od 0,1 mg/L, proces se mora ponoviti jer se smatra da nije pravilno izvršen.

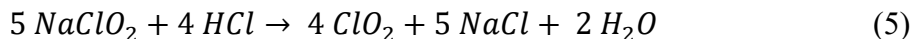
Prilikom dezinfekcije vode važna je doza klora koju je potrebno dodati vodi i izražava se u mg/L. Doza klora predstavlja zbroj potrebe vode za klorom i rezidualnog klora (4).

$$\text{doza klora} = \text{potreba vode za klorom} + \text{rezidualni klor} \quad (4)$$

Potreba vode za klorom predstavlja količinu klora u mg/L kojeg je potrebno dodati vodi kako bi došlo do pojave rezidualnog klora. Rezidualni klor predstavlja koncentraciju hipokloritne kiseline, izražene u mg/L, koja je zaostala nakon reakcije aktivnog klora s tvarima u vodi. Uobičajena koncentracija rezidualnog klora iznosi 0,5 mg/L. Prilikom dezinfekcije klor može reagirati s organskim tvarima stvarajući niz nusprodukata dezinfekcije poput trihalometana, kloriranih fenola, haloketona i halooctene kiseline.

2.2.2. Klor dioksid

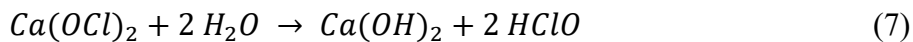
Klor dioksid (ClO_2) je plin žutozelene boje, teži je od zraka i 2,5 puta jače oksidacijsko sredstvo od klora. On je najbolje sredstvo za dezinfekciju vode na bazi klora. Vrlo je nestabilan plin koji eksplozivno reagira s organskim tvarima, te se zbog toga ne može skladištiti ni transportirati u čistom stanju. Obično se proizvodi na mjestu potrošnje u obliku plina ili vodene otopine prema sljedećim reakcijama:



Kod dezinfekcije vode optimalna koncentracija klor dioksida je 0,2-0,5 mg/L, a dovoljan vremenski period za dezinfekciju vode je 15 minuta nakon kojeg bi trebalo zaostati 0,1 mg/L rezidualnog ClO_2 . Najviše se upotrebljava kod voda koje imaju neprijatan okus i miris. Za razliku od klora, klor dioksid ne stvara nepoželjne nusprodukte dezinfekcije trihalometane i klorfenole.

2.2.3. Kalcijev hipoklorit

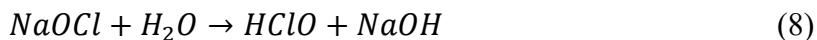
Kalcijev hipoklorit (Ca(OCl)_2) se sastoji od soli hipoklorne kiseline. Dobiva se uvođenjem klora (Cl_2) u gašeno vapno (Ca(OH)_2). Kalcijev hipoklorit dolazi u obliku bijelih kristala te je dobro topiv u vodi. Pri dezinfekciji vode potrebna je manja količina kalcijevog hipoklorita u odnosu na dezinfekciju vode klorom, a to iznosi 0,5 – 5 mg/L. Nakon dodavanja kalcijevog hipoklorita u vodu nastaje hipokloritna kiselina (7).



2.2.4. Natrijev hipoklorit

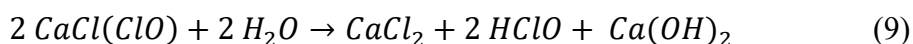
Natrijev hipoklorit (NaOCl) je tekućina svjetlo žute boje koja se koristi kao dezinficijens. Primjenjuje se kod dezinfekcije bazenske vode i manjih količina vode. Nastaje otapanjem plina klora u otopini natrijeva hidroksida i elektrolizom otopine soli. Potrebna koncentracija natrijevog hipoklorita za dezinfekciju vode je manja nego kod kalcijevog hipoklorita te iznosi 0,2 – 2 mg/L. Upotreba natrijevog hipoklorita povećava pH vrijednost vode zbog toga što je njegova vrijednost

pH=13. Kao i kod ostalih sredstava na bazi klora, u reakciji s vodom daje hipokloritnu kiselinu (8). Nusprodukti koji se javljaju primjenom natrijevog hipoklorita su klorati i kloriti.



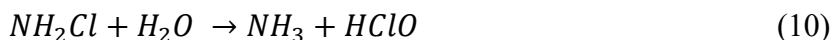
2.2.5. Kalcijev klorid-hipoklorit

Kalcijev klorid-hipoklorit ($CaCl(ClO)$) je spoj koji sadrži 25-35% aktivnog klora, te je dosta nestabilan spoj. U reakciji s vodom dolazi do stvaranja hipokloritne kiseline (9).



2.2.6. Kloramini

Kloramini su spojevi koji nastaju miješanjem otopina klora i amonijaka. Sadrže preko 25% aktivnog klora. Razlikujemo monokloramin (NH_2Cl), dikloramin ($NHCl_2$) i trikloramin (NCl_3) koji nastaju ovisno o pH-vrijednosti reakcijske otopine. Za dezinfekciju je najbolji monokloramin koji u vodi daje hipokloritnu kiselinu (10). Pogodni su za dezinfekciju vode u vodospremi vode za piće zbog toga što polako otpuštaju hipokloritnu kiselinu te tako imaju produženo dezinfekcijsko djelovanje. Prednost naspram ostalih sredstava na bazi klora je ta što nemaju izražen miris te dolazi do manjeg stvaranja trihalometana.



2.3. NUSPRODUKTI DEZINFEKCIJE KLOROM I NJEGOVIH SPOJEVIMA

Klor može reagirati sa nizom različitih tvari pri čemu dolazi do stvaranja raznih nusprodukata pri dezinfekciji vode. Nastanak nusprodukata ovisi o kvaliteti vode, dozi klora, rezidualu klora te o temperaturi vode.

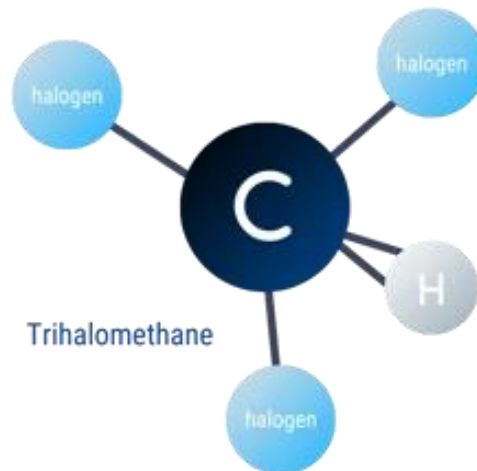
Neki od štetnih nusprodukata dezinfekcije vode klorom i njegovim spojevima su:

- trihalometani

- haloctene kiseline
- halogenketoni
- halogenacetonitrili
- klorfenoli
- klorati i kloriti

2.3.1. Trihalometani

Trihalometani (engl. *trihalomethanes* – THMs) su lako hlapljivi ugljikovodici. Nastaju prilikom dezinfekcije klorom u vodi koja sadrži organske tvari (CH₄). Trihalometani su spojevi gdje su tri od četiri atoma vodika iz molekule metana (CH₄) zamijenjena s halogenim elementima (Cl, Br). Opća formula im je CHX₃, gdje je X klor (Cl) ili brom (Br).



Slika 1. Struktura molekule trihalometana

Najpoznatiji trihalometani koji čine 14% ukupnih organskih halogena u pitkim vodama su:

- triklormetan (kloroform) – CHCl₃
- bromdiklormetan – CHCl₂Br
- dibromklormetan – CHClBr₂
- tribrommetan (bromoform) – CHBr₃

Pošto se ova četiri spoja obično pojavljuju zajedno, promatraju se kao skupina. Trihalometani su najviše istraženi nusprodukti dezinfekcije. U Republici Hrvatskoj maksimalno dozvoljena koncentracija trihalometana u vodi za piće po smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (SZO) je 100 µg/L.

Unos trihalometana iz vode za piće može uzrokovati niz zdravstvenih problema. Na temelju raznih istraživanja učinka trihalometana na ljudsko zdravlje ustanovljeno je da su oni kancerogeni i mutageni spojevi. Triklormetan ili kloroform može uzrokovati vrtoglavicu, umor i glavobolju. Kronična izloženost triklormetanu može uzrokovati oštećenja jetre i bubrega. Trihalometani su povezani i s nekoliko vrsta karcinoma. Povezani su s karcinomom mokraćnog mjehura te s karcinomom debelog crijeva.

2.3.2. Halooctene kiseline

Haloctene kiseline (engl. haloacetic acids – HAAs) nastaju prilikom dezinfekcije klorom i njegovim spojevima. Vodikov atom se u octenoj kiselini (CH_3COOH) zamjenjuje atomom halogena (Cl, Br). U većini država se kontrolira samo pet od devet poznatih haloctenih kiselina.

Haloctene kiseline koje se kontroliraju su:

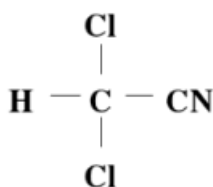
- monokloroctena kiselina (CH_2ClCOOH)
- dikloroctena kiselina (CHCl_2COOH)
- trikloroctena kiselina (CCl_3COOH)
- bromoctena kiselina (CH_2BrCOOH)
- dibromoctena kiselina (CHBr_2COOH)

Haloctene kiseline su uz trihalometane najzastupljeniji nusprodukti dezinfekcije pitke vode. Smatramo ih izrazito toksičnim, mutagenim i kancerogenim spojevima. Najveća dopuštena koncentracija haloctenih kiselina u pitkoj vodi iznosi 60 µg/L. Višegodišnjim unosom većih količina haloctenih kiselina povećava se rizik od raka mokraćnog mjehura, a povezane su i s rakom crijeva. Također, sve haloctene kiseline uzrokuju oksidativni stres gdje dolazi do stvaranja kisikovih radikala koji uzrokuju mutacije i oštećenja na DNA.

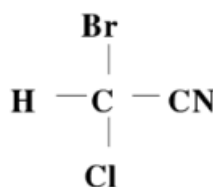
2.3.3. Halogenacetonitrili

Halogenacetonitrili (engl. haloacetonitriles – HANs) su toksični spojevi koji sadrže dušik, a nalazimo ih kao nusprodukte dezinfekcije klorom, klor dioksidom i kloraminima. Nastaju kada se dva ili tri atoma vodika zamijene s halogenim elementima (Cl, Br). Razlikujemo dihaloacetonitrile s općom formulom CHX_2CN i trihaloacetonitrile s općom formulom CX_3CN , gdje je X klor (Cl) ili brom (Br).

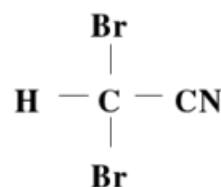
Dihaloacetonitrili su:



dikloracetonitril

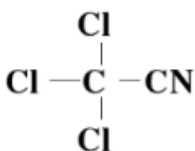


bromkloracetonitril

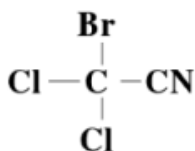


dibromacetonitril

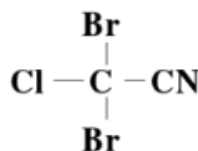
Trihaloacetonitrili su:



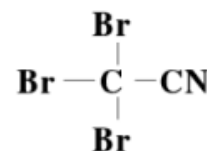
trikloracetonitril



bromdikloracetonitril



klordibromacetonitril



tribromacetonitril

Halogenacetonitrili se u ljudski organizam unose konzumiranjem vode za piće i uslijed dermalnog kontakta kao posljedica tuširanja, plivanja, i drugih aktivnosti. Halogenacetonitrili su toksični za gastrointestinalna tkiva, a takvu toksičnost karakterizira smanjenje GSH, povećanje peroksidacije lipida i kovalentno vezanje radioaktivnosti povezane s haloacetonitrilima na crijevna tkiva. Smatraju se opasnijim i više toksičnim od haloocetnih kiselina.

2.3.4. Klorfenoli

Klorfenoli su nusprodukti dezinfekcije pitke vode kada se ona dezinficira s klorom i njegovim spojevima. Nastaje reakcijom hipokloritne kiseline s fenolnim kiselinama. Jedan ili više atoma vodika iz fenola zamjenjuje se s atomom klora. Klorfenoli se smatraju toksičnima i potencijalno kancerogenima. Akutna izloženost klorfenolima kod čovjeka može uzrokovati trzanje mišića, grčeve, drhtanje, slabost, ataksiju i kolaps.

2.3.5. Klorati i kloriti

Klorati i kloriti su nusprodukti dezinfekcije pitke vode kada se kao dezinfekcijsko sredstvo koristi natrijev hipoklorit. U organizam se najviše unose vodom za piće, ali se unose i hranom koja je bila u doticaju sa dezinficiranom vodom. Na temelju istraživanja, pokazalo se kako kronična izloženost ovim spojevima u malim količinama nije uzrokovala nikakve negativne posljedice na ljudsko zdravlje. Kod trenutnog unosa veće količine klorata i klorita, mogu postati toksični za ljude jer ograničavaju sposobnost krvi da apsorbira kisik što može dovesti do zatajenja bubrega.

2.4. OZON

Ozon (O_3) je jako oksidacijsko sredstvo koje se upotrebljava za dezinfekciju i oksidaciju. Molekula ozona sadrži tri kisikova atoma, a ona nastaje kada se molekuli kisika (O_2) doda dovoljno energije da nastanu dva slobodna atoma kisika koji s drugom molekulom kisika (O_2) tvore ozon (O_3) (11). Ozon je izrazito nestabilna i reaktivna molekula koja teži gubljenju trećeg atoma kisika. Upravo radi toga je ozon jedno od najjačih oksidacijskih sredstva.

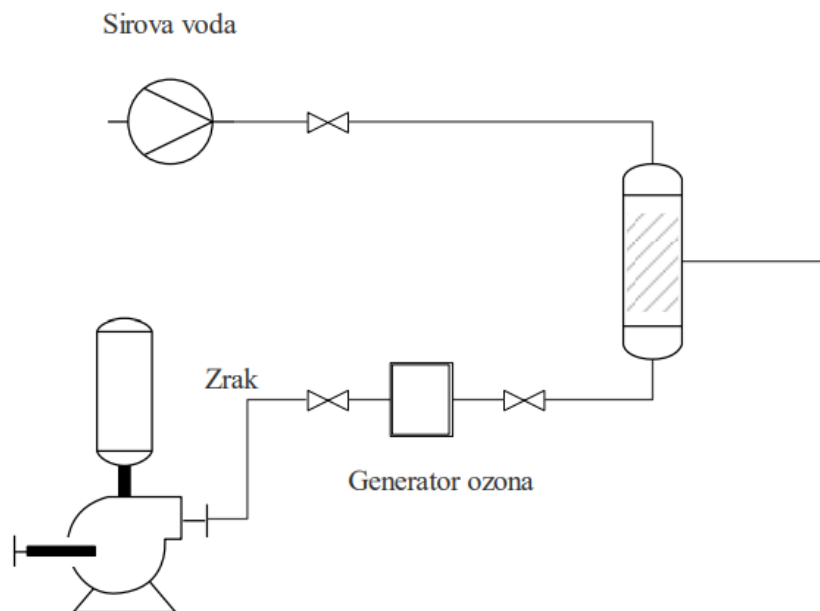


Prednosti dezinfekcije ozonom su brojne, a neke od njih su:

- dobra inaktivacija virusa i protozoa
- razgrađuje i oksidira organske tvari u vodi

- uklanja mangan i željezo taloženjem iz vode
- poboljšava miris i okus vode
- uklanja obojenje vode
- ne stvara trihalometane

Ozon se proizvodi tako što se suhi zrak ili kisik izlažu naponu od 3000 – 20 000 V i 600 – 1200 Hz između dvije elektrode pri čemu dolazi do ionizacije molekula kisika pomoću elektrona koje emitira katoda. Proizvodnja suhim zrakom je puno jeftinija od proizvodnje kisikom, ali se zbog toga proizvede manje ozona. Po kWh utrošene energije od zraka se prosječno proizvede 1 g ozona, dok se od kisika proizvede 20 g ozona. Industrijski generatori ozona obično proizvedu 10 do 30 kg ozona po satu.



Slika 2. Shematski prikaz dezinfekcije ozonom

Na slici 2. je prikazan shematski prikaz dezinfekcije vode ozonom. Suhi zrak ili kisik se puhalom dovodi do generatora ozona gdje se stvara ozon. Ozon se zatim otapa u vodi u odgovarajućim reakcijskim sustavima kojima je cilj otopiti što više ozona. To se postiže raspršivanjem vode ili mjehurića ozona te cirkulacijom vode. Pritom se nastoji osigurati koncentracija rezidualnog ozona od 0,4 mg/L na 4 minute što daje vrijednost CT od 1,6 mg.min/L. Negativna strana ozona je ta što

se u vodi brzo raspada u O₂ pa ga nakon 30 minuta nakon uvođenja u vodu više ni nema. To je razlog zbog kojeg ne može dati stabilnu rezidualnu koncentraciju koja je potrebna u javnim vodoopskrbnim sustavima.

2.5. NUSPRODUKTI DEZINFEKCIJE OZONOM

Najveća mana ozona je ta što dolazi do stvaranja nusprodukata koji mogu imati negativan učinak na čovjeka. Nusprodukte ozona možemo podijeliti u tri skupine:

- organohalogene
- ne halogene
- anorganske nusprodukte

U organohalogene nusprodukte spadaju:

- bromoform
- bromoctena kiselina
- dibromoctena kiselina
- dibrom aceton
- cijano brom.

U ne halogene nusprodukte spadaju:

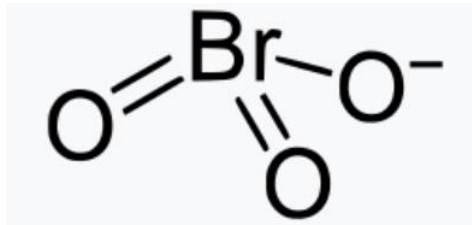
- aldehidi
- ketoni
- ketokiseline
- karboksilne kiseline.

U anorganske nusprodukte spadaju:

- klorat
- vodikov peroksid
- bromna kiselina
- ozonat
- bromat.

2.5.1. Bromat

Dodavanjem bioloških reaktora s aktivnim ugljenom nakon ozoniranja može se ukloniti velik dio organskih nusprodukta, ali ne i anorganskih. Upravo zbog toga je najopasniji nusprodukt dezinfekcije ozonom bromat. Bromat je kemijski spoj koji sadrži bromatni anion BrO_3^- . Nastaje reakcijom bromida i ozona (12).



Slika 3. Prikaz strukture bromata

U vodi za ljudsku potrošnju, maksimalna dozvoljena koncentracija bromata iznosi $10 \mu\text{g/L}$. Bromat u vodi za piće je nepoželjan i može biti kancerogen za ljude. Kako bi se smanjila koncentracija bromata potrebno je svesti dozu ozona i vremena reakcije na minimum.

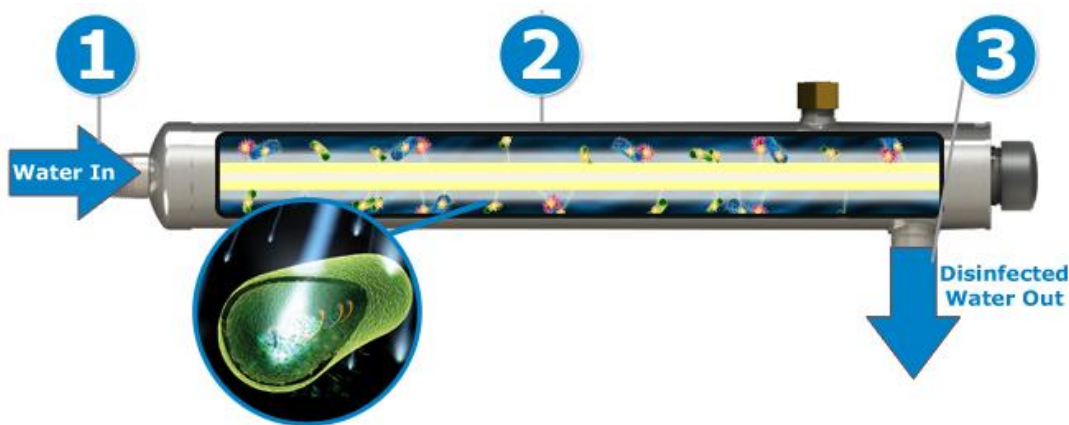
2.5.2. Aldehidi

Aldehidi su nusprodukti dezinfekcije pitke vode koji nastaju prilikom dezinfekcije ozonom. Aldehidi koji se najčešće javljaju u vodi nakon dezinfekcije ozonom su formaldehid, acetaldehid, gliksal i metil gliksal. Uzrokuju razne zdravstvene probleme kao što su iritacija dišnog trakta, alergijski dermatitis i povezuje ih se sa raznim karcinomima. Formaldehid i acetaldehid se povezuju s raznim karcinomima, a gliksal se povezuje s tumorima trbuha.

2.6. UV ZRAČENJE

Dezinfekcija pitke vode može se postići pomoću ultraljubičastih zraka. Najčešće se primjenjuje UV-C zračenje sa valnim duljinama 200-280 nm. Najjače baktericidno djelovanje se postiže valnom duljinom 260 nm. Djelotvornost ove metode dezinfekcije nastupa već nakon nekoliko sekundi (0,5-5 s) zbog toga što UV zrake izazivaju nepoželjne biokemijske procese u

mikroorganizmima tj. njihovu smrt. UV zračenje najbolje djeluje protiv bakterija, a malo slabije protiv virusa i bakterijskih spora. Kod ove metode dezinfekcije nužno je da voda bude bistra, tj. da nije obojana, zamućena i da ne sadrži suspendirane tvari. Stupanj uništenja bakterija ovisi o valnoj duljini, intenzitetu UV lampe i kontaktnom vremenu. Doza zračenja potrebna za dezinfekciju vode izražava se kao umnožak intenziteta (snage) UV lampe i kontaktnog vremena po jedinici ozračene površine [mWs/cm^2]. Za proizvodnju UV zraka koriste se kvarcne lampe sa živinom parom. Razlikujemo lampe s visokim i niskim tlakom para unutar lampe. Lampe visokog tlaka imaju snagu od 400-7000 W, a lampe niskog tlaka imaju snagu 10-200 W. Radni vijek UV lampi se kreće od 8 tisuća do 14 tisuća sati rada.



Slika 4. Prikaz procesa dezinfekcije vode UV zračenjem

Minimalna UV doza za efektivnu dezinfekciju (> 3 -log uklanjanje) je $16 \text{ mWs}/\text{cm}^2$ na valnoj duljini od 253,7 nm. Dezinfekcija UV zračenjem ne mijenja kemijski sastav vode te se u vodu ne dodaju kemikalije. Još neke prednosti su jednostavno rukovanje, kratko vrijeme dezinfekcije i smanjenje zagađenja okoliša. Nedostaci ove metode su da ne postoje pouzdani pokazatelji za kontrolu učinka dezinfekcije i nemogućnost zaštite od naknadne kontaminacije. Nusprodukt dezinfekcije vode UV zračenjem je nastajanje $\bullet\text{OH}$ radikala.

2.6.1. •OH radikal

Pod djelovanjem ultraljubičastih zraka nastaju slobodni radikali poput •OH radikala (hidroksilni radikal). •OH radikal ima visoki oksidacijski potencijal te brzo reagira s većinom organskih tvari prisutnih u vodi. Hidroksilni radikal je najreaktivniji od svih reaktivnih kisikovih molekula i može oštetiti proteine, lipide, ugljikohidrate i DNA. Sve to ima veliki utjecaj na proces starenja i trajanje života, od pojedine stanice do čitavog organizma. Hidroksilni radikal u sklopu oksidativnog stresa ima važnu ulogu u poremećajima imunološkog sustava te malignih, autoimunih i neurodegenerativnih bolesti.

3. ZAKLJUČAK

Voda je neophodna za život. Čista voda preduvjet je dobrog zdravlja, društvenog i gospodarskog razvoja. Odavno je dokazana povezanost uzročnika bolesti s prisustvom mikroorganizama u vodi. Stoga je osiguranje dovoljne količine zdravstveno ispravne vode za piće jedna od najvažnijih zadataka javnog zdravstva. Cilj dezinfekcije je uništiti odnosno smanjiti broj mikroorganizama na onu razinu koja u danim okolnostima i u uobičajenim uvjetima upotrebe nije opasna za zdravlje ljudi. Danas nam na raspolaganju stoje mnoge metode dezinfekcije vode kao što su kloriranje, UV zračenje i dezinfekcija ozonom. Prednosti dezinfekcije klorom i njegovim spojevima su niska cijena, laka dostupnost i rezidual koji omogućava produženo djelovanje dezinfekcije. Dezinfekcija klorom i njegovim spojevima ima i negativne posljedice. U doticaju hipokloritne kiseline sa raznim organskim tvarima u vodi dolazi do stvaranja određenih nusprodukata koji su štetni po zdravlje ljudi. Neki od nusprodukata su trihalometani, haloctene kiseline, halogenoacetonitrili, klorfenoli te klorati i kloriti. U prekomjernim količinama ovi spojevi mogu biti toksični, mutageni i kancerogeni. Povezuje ih se s karcinomima mokraćnog mjehura i probavnog sustava. Prednosti dezinfekcije ozonom su te da poboljšava miris i okus vode, dobra inaktivacija virusa i protozoa te ne dolazi do stvaranja trihalometana. Nedostatak ozona je visoka cijena, nema produženo djelovanje te dolazi do stvaranja nepoželjnih nusprodukata. Od nusprodukata najopasniji su bromati, aldehidi i ketoni koji se povezuju s karcinomima mokraćnog mjehura i trbuha. Dezinfekcija UV zračenjem ne mijenja kemijski sastav vode, smanjuje zagađenje okoliša, omogućava brzu dezinfekciju te efikasno uklanja bakterije. Od nedostataka ove metode javlja se nemogućnost sprječavanja naknadne kontaminacije i pojava •OH radikala. •OH radikali uzrokuju ubrzano starenje te sudjeluju u oksidativnom stresu koji je povezan s poremećajima imunološkog sustava. Od svih metoda dezinfekcije pitke vode smatram da je dezinfekcija klor dioksidom najbolja metoda. Njegove prednosti su jače djelovanje od elementarnog klora, kratko vrijeme dezinfekcije te ostatak reziduala. Njegovom upotrebom ne dolazi do stvaranja trihalometana i klorfenola koji su izrazito štetni za zdravlje.

4. LITERATURA

[1] **A. Štrkalj**

Onečišćenje i zaštita voda, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.

[2] **I. Mijatović, M. Matošić**

Tehnologija vode, interna skripta, Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, 2020.

[3] **A. C. Twart, D. D. Ratnayaka, M. J. Brandt**

Water Supply (Fifth Edition), Disinfection of water, 2000.

[4] **M. N. V. Prasad**

Disinfection By-products in Drinking Water, Elsevier Science, 2020.

[5] **Y, F. Xie**

Disinfection By-products in Drinking Water, Formation, Analysis and Control, CRC Press, 2003.

[6] **Disinfection By-Products and the Safe Water System**

https://www.cdc.gov/safewater/publications_pages/thm.pdf

[7] **N.Omerdić**

Kloriranje vode, <https://hrcak.srce.hr/file/380104>

[8] **Disinfection byproducts**

<https://www.lenntech.com/processes/disinfection/byproducts/disinfection-byproducts.htm>

[9] **D. Dogančić**

Određivanje koncentracije trihalometana u vodi, <https://hrcak.srce.hr/file/350252>

[10] **Chlorate in food: risks for public health**

<https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/150624a>

[11] **Chlorite and Chlorate in Drinking-water**

<https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/chlorateandchlorite0505.pdf>

[12] **Chlorite and Chlorate**

<https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-chlorite-chlorate-eau/alt/water-chlorite-chlorate-eau-eng.pdf>

[13] **Chlorophenols**

<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/chlorophenols.html>

[14] **Chlorophenols in Drinking-water**

https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/chlorophenols.pdf?sfvrsn=508d6c53_4

[15] **Oksidativni stres**

<https://bonifarm.hr/laboratorij/strucni-clanci/oksidativni-stres/>

[16] **Oksidativni stres**

<https://bonifarm.hr/laboratorij/oksidativni-stres/>

[17] <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es0617441>

[18] **Haloacetonitriles: metabolism and toxicity**

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19253036/>

[19] **Halogenated Acetonitriles in Drinking-water**

https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/halogenated-acetonitriles-bd.pdf?sfvrsn=2c7c517e_4

[20] **Trihalomethanes in Public Water and Health**

<https://tracking.idph.iowa.gov/Environment/Public-Drinking-Water/Public-Water-and-Health/TTHM-in-Public-Water-and-Health>

[21] **Haloacetic Acids Found as Water Disinfection Byproducts (Selected)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK590834/>

[22] **Haloacetic Acids in Public Water and Health**

<https://tracking.idph.iowa.gov/Environment/Public-Drinking-Water/Public-Water-and-Health/HAA5-in-Public-Water-and-Health>

[23] **Effects of Disinfectants on the Formation of Aldehydes**

https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1073&context=cee_ewre

[24] **Detecting the concentration of aldehydes disinfection by-products formed due to the application of the ozonation process in water treatment plants**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321014541#:~:text=Aldehydes%20compounds%20are%20one%20of,dermatitis%2C%20and%20show%20carcinogenic%20properties.>