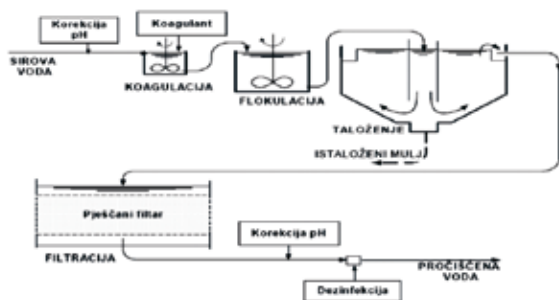


KLORIRANJE VODE

Nihada Omerdić, dipl. ing.

1. UVODNO O DEZINFEKCIJI VODE

Od 1900. godine počinje široka primjena dezinfekcije pitke vode kako bi se spriječilo širenje bolesti i povećala kvaliteta vode. Dezinfekcija vode je postupak uklanjanja mikroorganizama iz vode i zadnji je dio u provođenju kondicioniranja vode, te je najučinkovitiji postupak za sprečavanje hidričnih epidemija. Ona je neupitna u opskrbi pitkom vodom. Važna je zbog uklanjanja i reduciranja broja mikroorganizama (bakterije, virusi, paraziti i praživotinje) u površinskoj i podzemnoj vodi koje mogu biti izložene fekalnoj kontaminaciji te je tada nužno korištenje različitih kemijskih sredstava kao što je klor. Kako bi se smanjila populacija mikroorganizama u vodi, provode se odgovarajuće mjere na samom izvorištu vode, u spremnicima vode i tijekom njezinog transporta do potrošača. Voda za piće, ukoliko nije mikrobiološki ispravna, može biti izvor različitih infektivnih bolesti. Ponekad su moguće epidemije izazvane vodom zbog izostanka obrade ili nepravilne obrade sirove vode. Vodom se mogu prenositi dizenterija, trbušni tifus, paratifus, kolera, infektivni hepatitis i sl. Uklanjanje uzročnika zaraznih bolesti postiže se tzv. obradom ili pripremom vode za piće. (slika 1).



Slika 1: Priprema vode za piće (<https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A187/datastream/PDF/view>)

Za pripremu vode za piće zahvaćaju se vode iz izvorišta (vrela, zdenci, rijeke, jezera, akumulacije) te se ovisno o fizikalno-kemijskom sastavu odabire i proces pripreme (pročišćavanja). Najčešća obrada vode za piće uključuje:

- koagulaciju i flokulaciju
- filtraciju
- uklanjanje željeza i mangana
- uklanjanje organskih tvari

- dezinfekciju

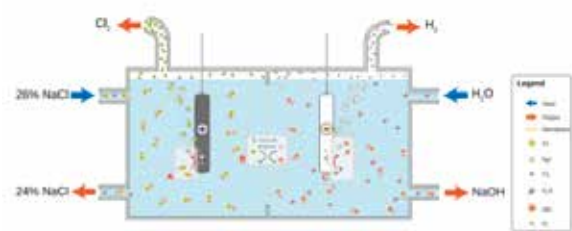
Korištenje kemijskih dezinficijensa u obradi vode obično rezultira stvaranjem kemijskih nusprodukata. Nusprodukti mogu predstavljati opasnost za zdravlje ljudi, ali veću opasnost ipak predstavljaju mikroorganizmi iz vode ako se ne uklone dezinfekcijom. Mikroorganizmi se mogu naći u sirovoj vodi iz rijeka, jezera i podzemnih voda. Iako nisu svi mikroorganizmi štetni za ljudsko zdravlje, postoje neki koji kod ljudi mogu uzrokovati bolesti. Oni se nazivaju patogenima. Patogeni prisutni u vodi mogu se prenijeti sustavom raspodjele pitke vode, što uzrokuje bolesti koje se prenose vodom kod onih koji je konzumiraju. U svrhu suzbijanja bolesti koje se prenose vodom, koriste se različite metode dezinfekcije za inaktivaciju patogena. Zajedno s drugim postupcima obrade vode poput koagulacije, taloženja i filtracije, kloriranje stvara vodu koja je sigurna za javnu potrošnju. Kloriranje je jedna od mnogih metoda koja se može koristiti za dezinfekciju vode. Ova se metoda prvi put koristila prije više od jednog stoljeća, a koristi se i danas. To je kemijska metoda dezinfekcije koja koristi razne vrste klora ili tvari koje sadrže klor za oksidaciju i dezinfekciju onoga što će biti izvor pitke vode. Klor je prvi put otkriven u Švedskoj 1744. Tada su ljudi vjerovali da su mirisi iz vode odgovorni za prijenos bolesti. 1835. klor se koristio za uklanjanje mirisa iz vode, ali tek je 1890. godine utvrđeno da je klor učinkovit alat za dezinfekciju; način da se smanji količina bolesti koja se prenosi vodom. Danas je kloriranje najpopularnija metoda dezinfekcije i koristi se za pročišćavanje vode u cijelom svijetu, putem klornih sredstava (plinski klor, hipokloriti, klor dioksid, i dr.).

2. KLORIRANJE - NAJRAŠIRENIJI POSTUPAK DEZINFEKCIJE VODE

Danas je kloriranje najpopularnija metoda dezinfekcije i koristi se za pročišćavanje vode u cijelom svijetu. Za dezinfekciju vode koriste se a) kemijski postupci (postupci klorom i njegovim spojevima, ozonom, srebrom i jodom) i b) fizikalni postupci (postupci toplinom, ultravioletnim zračenjem, ultrazvukom ili filtracijom). Vodeća prednost kloriranja je visoka primarna učinkovitost i mogućnost naknadnog djelovanja, zato što se pokazao učinkovitim protiv bakterija i virusa, međutim, ne može inaktivirati sve mikrobe. Kloriranje je dobra metoda dezinfekcije jer je jeftina, a učinkovita u dezinfekciji mnogih drugih moguće prisutnih onečišćenja. Postupak kloriranja također je

priлично jednostavan za provedbu u usporedbi s drugim metodama obrade vode. Isto tako, metoda kloriranja je učinkovita i u hitnim situacijama jer relativno brzo može eliminirati preopterećenje patogenima. Hitna situacija s vodom može biti bilo što, od kvara filtera do miješanja pročišćene i sirove vode. Klor inaktivira mikroorganizam oštećujući njegovu staničnu membranu. Jednom kada stanična membrana oslabi, klor može ući u stanicu i poremetiti stanično disanje i aktivnost DNA (dva procesa koja su neophodna za preživljavanje stanica). Kloriranje se može provesti u bilo koje vrijeme tijekom postupka obrade vode – ne postoji jedno određeno vrijeme kada se mora dodati klor. Pretkloriranje je kada se klor dodaje u vodu gotovo odmah nakon što uđe u postrojenje za pročišćavanje. U koraku pretkloriranja, klor se obično dodaje izravno u sirovu vodu (nepročišćena voda koja ulazi u postrojenje za pročišćavanje) ili se dodaje u miješalicu za miješanje (stroj za miješanje koji osigurava brzo, jednoliko dispergiranje klora). Klor se dodaje sirovoj vodi kako bi se iz vode eliminirale alge i drugi oblici vodenog svijeta, tako da neće stvarati probleme u kasnijim fazama obrade vode. Utvrđeno je da pretkloriranje u *flash* miješalici uklanja okuse i mirise i kontrolira biološki rast u cijelom sustavu za pročišćavanje vode, čime se sprječava rast sedimentacijskih spremnika (gdje se krute tvari uklanjaju iz vode gravitacijskim taloženjem) i medija za filtriranje (filtera kroz koje voda prolazi nakon sjedenja u taložnicima). Dodatak klora također će oksidirati svo prisutno željezo, mangan i / ili sumporovodik, tako da se i oni mogu ukloniti u koracima sedimentacije i filtracije. Dezinfekcija se također može obaviti neposredno prije filtriranja i nakon taloženja. Na taj način bi se kontroliralo biološki rast, uklonilo željezo i mangan, uklonilo okus i mirise, kontroliralo rast algi i uklonilo boju iz vode. Time se neće smanjiti količina biološkog rasta u taložnim stanicama.

Kloriranje se također može obaviti kao završni korak u procesu obrade, što je uobičajeno u većini postrojenja za pročišćavanje. Glavni cilj ovog dodatka klora je dezinficirati vodu i održavati ostatke klora koji će ostati u vodi dok putuje kroz distribucijski sustav. Kloriranje filtrirane vode ekonomičnije je jer je potrebna niža CT vrijednost. Ovo je kombinacija koncentracije (C) i vremena kontakta (T). Do trenutka kad je voda prošla sedimentaciju i filtraciju, uklonjeno je puno neželjenih organizama, što je rezultiralo manjom količinom klora i kraćim kontaktnim vremenom kako bi se postigla ista



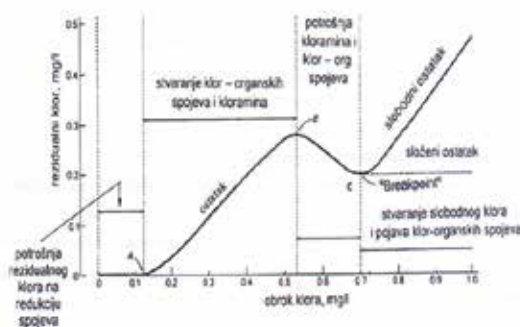
Slika 2: Kloriranje vode, Šibenik i okolica (https://www.moja-djelatnost.hr/kloriranje-vode-sibenik-i-okolica/fornax-doo/MMxUc_dW)

učinkovitost. Za potporu i održavanje rezidua klora, postupak koji se naziva *ponovno kloriranje* ponekad se vrši unutar distribucijskog sustava. To se čini kako bi se osiguralo da se u cijelom distribucijskom sustavu održavaju odgovarajuće razine zaostalog klora.

3. DEZINFEKCIJA VODE KLOROM I NJEGOVIM SPOJEVIMA

Klor i derivati klora su najčešće primjenjivana sredstva za dezinfekciju voda, bilo da se radi o dezinfekciji manjih količina vode npr. za domaćinstvo ili o dezinfekciji većih količina vode npr. u vodovodnim sustavima. Na takvu primjenu utjecala je lakoća njihove nabave, mogućnost njihovog duljeg skladištenja i transporta, jednostavnost rukovanja i doziranja te mjerenja koncentracije. Dodavanjem klora i derivata klora u vodu, dio klora troši se na oksidaciju organskih tvari, uključujući mikroorganizme, a preostali dio na oksidaciju anorganskih tvari (željeza i mangana) u vodi. Potreba za klorom definira se kao količina klora izražena u miligramima po litri, koju je potrebno dodati vodi da bi došlo do pojave rezidualnog klora. Rezidualni klor predstavlja količinu klora, također u miligramima po litri, koja zaostaje u vodi kao višak nakon provedenog postupka dezinfekcije. Prisutnost rezidualnog klora štiti od naknadne kontaminacije, a isto tako je i dokaz da je dezinfekcija vode uspješno izvršena. Dopuštena koncentracija rezidualnog klora u vodi je propisana zakonom i iznosi maksimalno 0,5 mg/L.

Zbroj potrebe za klorom i rezidualnog klora je tzv. doza klora, koja predstavlja količinu klora u mg/L koju je potrebno dodati vodi kako bi se proveo postupak dezinfekcije.



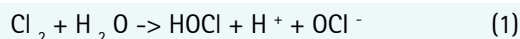
Slika 3: Shematski prikaz tijeka procesa kloriranja (<https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A463/datastream/PDF/view>)

Dokazano je da je kloriranje vrlo učinkovito protiv bakterija i virusa. Međutim, ne može dezinficirati sve patogene koji se prenose vodom. Određeni patogeni, odnosno ciste protozoja, otporni su na učinke klora. Postupak kloriranja uključuje dodavanje klora u vodu, ali proizvod za kloriranje ne mora nužno biti čisti klor. Kloriranje se također može provesti upotrebom tvari koje sadrže klor. Ovisno o potrebnim pH uvjetima i dostupnim mogućnostima skladištenja, mogu se koristiti različite

tvari koje sadrže klor. Tri najčešće vrste klora koje se koriste u obradi vode su: plinoviti klor, natrijev hipoklorit i kalcijev hipoklorit.

Plinski klor

Plin klora je zelenkasto žute boje i vrlo je toksičan. Nastaje elektrolizom NaCl (nastaje NaOH i Cl₂). Teži je od zraka i zato će se spustiti na tlo ako se pusti iz spremnika. Toksični učinak plina klora čini ga dobrim dezinficijensom, ali osim što je toksičan za vodene patogene, toksičan je i za ljude. Nadražuje dišne putove, a također može nadražiti kožu i sluznicu. Izloženost velikim količinama plinovitog klora može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme, uključujući smrt. Međutim, važno je shvatiti da se plinoviti klor, kad jednom uđe u vodu, pretvara u hipokloritnu kiselinu (koja je nestabilna, raspada se i stvara HCl i nascentni kisik; Cl₂ + 2H₂O → HCl + HClO; HClO → HCl + O.) i hipokloritne ione, pa se zato njegova toksična svojstva za ljude ne nalaze u vodi za piće koju konzumiramo. Plinski klor se prodaje kao komprimirana tekućina jantarne boje i skladišti u čeličnim bocama. Klor je kao tekućina teža (gušća) od vode. Ako se tekućina klora pusti iz spremnika, brzo će se vratiti u stanje plina. Plinoviti klor je najskuplji oblik klora koji se koristi. Tipična količina plina klora potrebna za pročišćavanje vode je 1 - 16 mg/L vode. Koriste se različite količine plina klora, ovisno o kvaliteti vode koja se treba pročišćavati. Ako je kvaliteta vode loša, bit će potrebna veća koncentracija plinskog klora za dezinfekciju vode. Kad se vodi doda plinoviti klor (Cl₂) (H₂O), on se brzo hidrolizira dajući hipoklornu kiselinu (HOCl), a hipoklorna kiselina će se tada disociirati na hipokloritne ione (OCl⁻) i vodikove ione (H⁺).



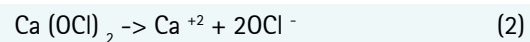
Budući da se stvaraju vodikovi ioni, voda će postati kiseliya (pH vode će se smanjiti). Količina disocijacije ovisi o izvornom pH vode. Ako je pH vode ispod 6,5, disocijacija se gotovo neće dogoditi i dominirat će klorovodična kiselina. Na pH iznad 8,5 doći će do potpune disocijacije klora, a dominirat će hipokloritni ioni. PH između 6,5 i 8,5 sadržavat će i hipoklornu kiselinu i hipokloritne ione u vodi. Zajedno, hipoklorna kiselina i hipokloritni ioni nazivaju se slobodnim klorom. Hipoklorična kiselina je učinkovitije sredstvo za dezinfekciju, pa je stoga za dezinfekciju poželjni niži pH.

Kalcijev hipoklorit

Kalcijev hipoklorit (CaOCl) sastoji se od kalcijevih soli hipoklorne kiseline. Nastaje otapanjem plina klora (Cl₂) u otopinu kalcijevog oksida (CaO) i natrijevog hidroksida (NaOH). Kalcijev hipoklorit je bijela, nagrizajuća krutina koja dolazi u obliku tableta ili u obliku granuliranog praha. Kalcijev hipoklorit je vrlo stabilan i kada se pravilno zapakira, mogu se kupiti velike količine i čuvati dok ne zatreba. Kemikalija je vrlo nagrizajuća i stoga zahtijeva pravilno rukovanje tijekom obrade vode. Kalcijev hipoklorit potrebno je čuvati na suhom i držati podalje

od organskih materijala. Ne može se čuvati u blizini drva, tkanine ili benzina, jer kombinacija kalcijevog hipoklorita i organskog materijala može stvoriti toplinu dovoljnu za eksploziju. Također se mora čuvati podalje od vlage jer tablete/granulirani prah lako adsorbiraju vlagu i kao rezultat toga stvorit će (otrovni) plinoviti klor. Kalcijev hipoklorit ima vrlo jak miris klora i to treba imati na umu prilikom skladištenja.

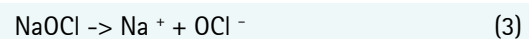
Pri obradi vode potrebna je manja količina kalcijevog hipoklorita nego ako se koristi plinoviti klor. U usporedbi s 1 - 16 mg/L potrebnim za plinoviti klor, potrebno je samo 0,5 - 5 mg /L kalcijevog hipoklorita. Kad se vodi doda kalcijev hipoklorit, nastaju hipoklorit i kalcijevi ioni.



Umjesto da smanjuje pH poput plina klora, kalcijev hipoklorit povećava pH vode (čineći vodu manje kiselim). Međutim, koncentracije hipoklorne kiseline i hipoklorita i dalje ovise o pH vode, stoga će smanjenjem pH vode u vodi i dalje biti prisutna klorovodična kiselina. Kao rezultat toga, kalcijev hipoklorit i plinoviti klor proizvode istu vrstu ostataka.

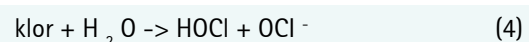
Natrijev hipoklorit

Natrijev hipoklorit (NaOCl) sastoji se od natrijevih soli hipoklorne kiseline i spoj je koji sadrži klor i može se koristiti kao dezinficijens. Nastaje kada se plin klor otopi u otopini natrijeva hidroksida. U tekućem je obliku, bistre svjetložute boje i ima jak miris klora. Natrijev hipoklorit je izuzetno korozivan i mora se čuvati na hladnom, tamnom i suhom mjestu. Natrijev hipoklorit će se prirodno razgraditi, stoga se ne može čuvati dulje od jednog mjeseca. Od svih različitih vrsta klora dostupnih za upotrebu, s ovim je najlakše rukovati. Količina natrijevog hipoklorita potrebna za pročišćavanje vode mnogo je manja od druga dva oblika klora, uz preporuku od 0,2 - 2 mg NaOCl/L vode. Kao i kalcijev hipoklorit, natrijev hipoklorit također će stvoriti hipokloritni ion, ali umjesto kalcijevih iona proizvode se natrijevi ioni. NaOCl će također povećati pH vode stvaranjem hipokloritnih iona. Da bi se dobila hipoklorna kiselina, koja je učinkovitije sredstvo za dezinfekciju, treba smanjiti pH vode.



Pojam - preostali klor

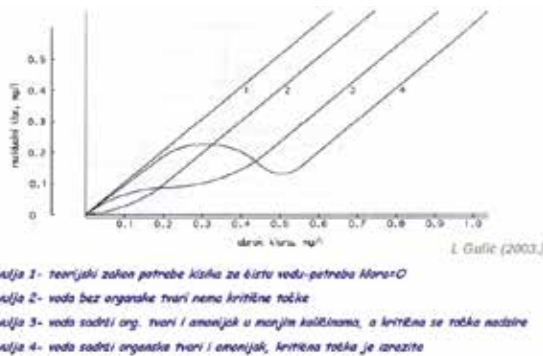
Bilo koja vrsta klora koja se doda u vodu tijekom postupka obrade rezultirat će stvaranjem hipoklorne kiseline (HOCl) i hipokloritnih iona (OCl⁻), koji su glavni spojevi za dezinfekciju u kloriranoj vodi.



Od njih dvije, hipoklorna kiselina je učinkovitija. Količina svakog spoja prisutnog u vodi ovisi o pH razini vode prije dodavanja klora. Na nižim razinama pH

dominirat će hipoklorna kiselina. Kombinacija hipoklorne kiseline i hipokloritnih iona čini ono što se naziva „slobodni klor“. Slobodni klor ima visoki oksidacijski potencijal i učinkovitije je sredstvo za dezinfekciju od ostalih oblika klora, poput kloramina. Oksidacijski potencijal mjeri koliko će spoj lako reagirati s drugim. Visok oksidacijski potencijal znači da mnogi različiti spojevi mogu reagirati sa spojem. To također znači da će spoj biti lako dostupan za reakciju s drugima.

Kombinirani klor kombinacija je organskih dušikovih spojeva i kloramina koji nastaju kao rezultat reakcije između klora i amonijaka. Kloramini nisu toliko učinkoviti u dezinfekciji vode kao slobodni klor zbog nižeg oksidacijskog potencijala. Zbog stvaranja kloramina umjesto slobodnog klora, amonijak u početku nije željeni proizvod u procesu obrade vode, ali se može dodati na kraju obrade da bi se stvorio kloramin kao sekundarni dezinficijens, koji ostaje u sustavu dulje od klora, za osiguravanje čiste pitke vode u cijelom distribucijskom sustavu.



Slika 4: Shematski prikaz procesa klorinacije za razne vrste voda (<https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A463/datastream/PDF/view>)

Količina klora potrebna za dezinfekciju vode ovisi o nečistoćama u vodi koju treba pročišćavati. Mnoge nečistoće u vodi zahtijevaju veliku količinu klora kako bi reagirale sa svim prisutnim nečistoćama. Dodani klor mora prvo reagirati sa svim nečistoćama u vodi. Količina klora potrebna za zadovoljenje svih nečistoća naziva se „potražnja za klorom“. To se također može smatrati potrebnom količinom klora prije stvaranja slobodnog klora. Nakon što se zadovolji potreba za klorom, preostali klor naziva se ukupni klor. Ukupni klor je količina slobodnog i kombiniranog klora. Nakon točke prekida, svaki dodatni dodani klor rezultirat će reziduum slobodnog klora proporcionalnom količini dodanog klora. Preostali klor je razlika između količine dodanog klora i potražnje za klorom. Većina postrojenja za pročišćavanje vode dodavat će klor izvan granične vrijednosti. Ako je amonij prisutan u vodi u vrijeme dodavanja klora, kloriranje se neće dogoditi dok sav amonij ne reagira s klorom. Između 10 i 15 puta više klora nego što je amonijak potrebno je prije nego što se može postići kloriranje slobodnog klora i točke prekida. Mala postrojenja za pročišćavanje vode često dodaju samo

djelic potrebnog klora (u odnosu na amonijeve ione) i na kraju ne dezinficiraju pravilno zalihe vode.

Vrsta kloramina koji nastaju, ovisi o pH vode prije dodavanja klora. Između razina pH 4,5 i 8,5, u vodi se stvaraju i monokloramin i dikloramin. Pri pH od 4,5 dominira oblik dikloramin, a ispod toga dominira trikloramin. Pri pH iznad 8,5 monokloramin je dominantan oblik. *Hypochlorous acid* reagira s amonijakom najbržom brzinom na razini pH oko 8,3. Omjer dušika s klorom i amonijakom karakterizira vrsta rezidua.

4. UVJETI KLORIRANJA I REAKCIJE NA NEČISTOĆE

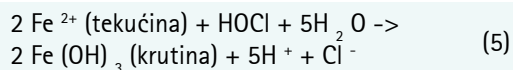
Brojni su čimbenici koji utječu na postupak dezinfekcije, a najvažniji su koncentracija ili doza klora i vrijeme kontakta s klorom (vrijeme u kojem klor može reagirati s nečistoćama u vodi). Kloru treba vremena da deaktivira sve mikroorganizme koji mogu biti prisutni u vodi koja se tretira za prehranu ljudi. Što je više vremena klor u kontaktu s mikroorganizmima, to će postupak biti učinkovitiji. Vrijeme kontakta je vrijeme od kada se klor prvi put dodaje do trenutka kada se voda koristi ili troši. Isti pozitivan odnos vidi se i kad se razmatra koncentracija klora. Što je veća koncentracija klora, to će postupak dezinfekcije vode biti učinkovitiji. Ovaj odnos vrijedi jer se povećanjem koncentracije povećava količina klora za dezinfekciju. Za razliku od odnosa između koncentracije klora i učinkovitosti dezinfekcije, koncentracija klora i vrijeme kontakta klora s vodom pokazuju obrnut odnos. Kako se koncentracija klora povećava, potrebno vrijeme kontakta voda-klor na kraju se smanjuje. Da bi se odredila razina dezinfekcije (D), može se izračunati CT vrijednost. Ova je vrijednost umnožak koncentracije klora (C) i vremena kontakta (T). Formula je sljedeća: $C * T = D$. Ovaj koncept pokazuje da bi povećanjem koncentracije klora (C) bilo potrebno kraće vrijeme kontakta da bi se postigla ista željena razina dezinfekcije. Druga mogućnost bila bi produženje vremena kontakta, što bi zauzvrat zahtijevalo nižu koncentraciju klora kako bi razina dezinfekcije ostala ista. Potrebna CT vrijednost ovisi o nekoliko čimbenika: vrsti patogena u vodi, zamućenosti vode, pH vode i temperaturi vode. Zamućenost je suspendirana tvar u vodi, a vrste patogena mogu se kretati od bakterija poput *E.coli* i *Campylobacter* do virusa, uključujući hepatitis A. Na nižim temperaturama, višoj zamućenosti ili višim razinama pH, vrijednost CT-a (tj. Razina dezinfekcije) morat će se povećati, ali pri nižoj zamućenosti u vodi je manje suspendiranog materijala koji će spriječiti kontakt dezinficijensa s mikroorganizmima, što zahtijeva nižu CT vrijednost. Viša temperatura vode i niža razina pH također će omogućiti nižu CT vrijednost.



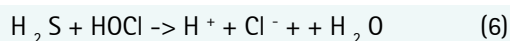
Slika 5: Zamućenost vode (<https://vodovod-b.si/informacije/ovodi/>)

Klor može reagirati s nizom različitih tvari. U sirovoj vodi može postojati niz različitih nečistoća koje reagiraju s dodanim klorom, što rezultira povećanjem *potražnje za klorom*. Kao rezultat, trebat će dodati više klora za istu razinu inaktivacije. Neke glavne nečistoće koje mogu postojati u vodi uključuju: otopljeno željezo, sumporovodik, brom, amonijak, dušikov dioksid i organski materijal. U nekim će slučajevima rezultat reakcije klora s nečistoćama povećati kvalitetu vode (uklanjanjem neželjenih elemenata), dok će u drugim slučajevima reakcije klora i nečistoća stvoriti neželjene nusproizvode koji su štetni za ljudsko zdravlje. Klor će reagirati s anorganskim nečistoćama (otopljeno željezo, brom, amonijak itd.) prije reakcije s organskim spojevima (otopljeni organski materijal, bakterije, virusi itd.).

Željezo, koje vodi daje neželjeni metalni okus, jedan je od anorganskih spojeva koji će reagirati s hipoklornom kiselinom (jači oblik slobodnog klora koji nastaje nakon dodavanja čistog klora u vodu). Reagirajući s hipoklornom kiselinom, otopljeno željezo prijeći će iz topljivog u netopljivo stanje, jer se kao rezultat reakcije stvara talog. Talog željeza, u svom netopivom stanju, može se ukloniti postupkom filtriranja u centru za obradu vode.



Klorovodična kiselina također može reagirati sa sumporovodikom (H₂S) ako je prisutna u vodi koja se obrađuje. Vodikov sulfid je nepoželjna nečistoća u vodi jer vodi daje neželjeni miris. Na razinama ispod 1 mg/L sumporovodik stvara miris plijesni u vodi, dok će na razinama iznad 1 mg/L prevladavati miris pokvarenog jajeta. Vodikov sulfid je također otrovan. Reakcija hipoklorne kiseline i H₂S daje produkte klorovodičnoj kiseline i sumpornim ionima.



Brom u vodi može rezultirati proizvodnjom neželjenih spojeva. Ioni broma mogu reagirati s hipoklornom kiselinom stvarajući hipobromnu kiselinu. Hipobromna kiselina također ima svojstva dezinficijensa i reaktivnija je od hipoklorne kiseline. Hipoklorova kiselina ili hipobromna kiselina reagirat će s organskim materijalom u vodi i stvoriti halogenirane nusproizvode poput trihalometana.



Amonijak je spoj koji može postojati u vodi. Hranjiv je za vodene organizme, ali biti izrazito toksičan u visokim koncentracijama. Amonijak nastaje kao rezultat raspadanja tvari i stoga prirodno postoji u vodi, međutim, ljudska aktivnost također ispušta veliku količinu amonijaka u vodu, što pridonosi povećanju razine amonijaka koji može izazvati zabrinutost. Neki "izvori ljudske aktivnosti" uključuju: komunalna postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, poljoprivredna i industrijska ispuštanja

kao što su tvornice celuloze i papira, rudnici, prerada hrane i proizvodnja gnojiva. Reakcije između amonijaka i klora rezultat će monokloraminima, dikloraminima i trikloraminima, koji su zajednički poznati kao kloramini. Ovi spojevi su korisni za postupak obrade vode jer imaju sposobnost dezinfekcije, ali nisu toliko učinkoviti kao klor iako će kloramini dulje trajati u vodi.

Klor također reagira s fenolima stvarajući monoklorofenole, diklorofenole ili triklorofenole, koji uzrokuju problem okusa i mirisa na niskim razinama. Na višim razinama, klorofenoli su otrovni i utječu na proces disanja i skladištenja energije. Klorofenoli su uglavnom umjetni spojevi, ali se prirodno mogu naći u životinjskom otpadu i organskom materijalu koji se raspada.

5. UTJECAJ KLORA NA ORGANIZAM

Klor može biti toksičan ne samo za mikroorganizme već i za ljude. Ljudima klor nadražuje oči, nosne prolaze i dišni sustav. S plinom klora mora se pažljivo rukovati jer može prouzročiti akutne zdravstvene učinke i može biti smrtonosan u koncentracijama do 1000 ppm. Međutim, plinoviti klor ujedno je i najskuplji oblik klora za pročišćavanje vode, što ga čini atraktivnim izborom bez obzira na prijetnju zdravlju.

U vodi za piće koncentracija klora obično je vrlo niska i stoga ne zabrinjava u akutnoj izloženosti. Više zabrinjava dugoročni rizik od raka zbog kronične izloženosti kloriranoj vodi. To je uglavnom zbog trihalometana i ostalih nusproizvoda dezinfekcije, koji su nusproizvodi kloriranja. Trihalometani su kancerogeni i to je zabrinjavajuće kad se radi o kloriranoj vodi za piće. Klorirana voda povezana je s povećanim rizikom od raka mokraćnog mjehura, debelog crijeva i rektuma. U slučaju raka mokraćnog mjehura, rizik se može udvostručiti. Trihalometani su povezani s nekoliko vrsta karcinoma i smatraju se kancerogenima. Trihalometan koji najviše zabrinjava je kloroform, koji se naziva i triklorometan. Nekad se koristio kao anestetik tijekom operacije, ali sada se koristi u procesu stvaranja drugih kemikalija. Oko 900 ppm kloroforma može uzrokovati vrtoglavicu, umor i glavobolju. Kronična izloženost može uzrokovati oštećenje jetre i bubrega. Ostali štetni nusproizvodi za dezinfekciju su: trikloroetena kiselina, dikloroetena kiselina, neki haloacetitrili i klorofenoli. Trikloroetena kiselina se komercijalno proizvodi za upotrebu kao herbicid, a proizvodi se i u vodi za piće. Ova kemikalija nije klasificirana kao karcinogena za ljude, a za životinje postoje ograničene informacije. Dikloroetena kiselina je nadražujuća, nagrizajuća i destruktivno djeluje na sluznicu. Ona također trenutno nije klasificirana kao kancerogena za ljude. Haloacetitrili su se u prošlosti koristili kao pesticidi, ali se više ne proizvode. Nastaju kao rezultat reakcije između klora, prirodne organske tvari i bromida. Klorofenoli uzrokuju probleme s okusom i mirisom. Otrovni su, a kada su prisutni u većim koncentracijama, utječu na proces disanja i skladištenja energije u tijelu.

Iako postoji zabrinutost zbog karcinogena u vodi za piće, kloriranje vode i dalje je najpopularnija, najpouzdanija i najisplativija metoda dezinfekcije vode.

Health Canada 's laboratorijski centar za kontrolu bolesti kaže da su koristi klorirane vode u suzbijanju zaraznih bolesti veće od rizika povezanih s kloriranjem i ne bi bili dovoljni da opravdaju prekid liječenja.

6. ZAKLJUČAK

Klor je u svom elementarnom stanju plin i kao takav smatra se opasnom i otrovnom tvari. Istraživanja pokazuju da je za čovjeka najopasniji kada se nalazi u plinovitom stanju i kada ga disanjem unosimo u organizam. Činjenica je da se on nalazi u vodi koju pijemo i da ga tako svakodnevno unosimo u organizam. Ali, to je manja opasnost od konzumacije vode koja nije tretirana i dezinficirana jer bi se u takvoj vodi nalazili uzročnici mnogih bolesti koji bi vrlo brzo mogli dovesti do epidemije. Problem je činjenica što se takvom vodom tuširamo. Dio klora iz vode na višim temperaturama prilikom tuširanja toplom vodom isparava i prelazi u plinovito stanje. Tada, ne samo da ulazi u naš organizam preko kože, već ga i udišemo. Neke negativne posljedice klora vide se i golim okom u obliku crvenila, osipa i nadražaja kože, suhe i ispucale kože, crvenila očiju ili promjene u boji obojene kose. Puno opasnije su posljedice koje ne vidimo, a koje se događaju u našem tijelu nakon udisanja klora koji isparava iz vode. Novija istraživanja povezuju klor iz vode i pojavu astme kod djece koja su često izložena kloriranoj bazenskoj vodi i udišu štetne kemikalije, posebno klor. Klor, kada dođe u doticaj sa znojem, sapunom ili šamponom, dovodi do kemijske

reakcije u kojoj nastaje grupa kancerogenih kemijskih sastojaka naziva trihalometani.

Što se tiče vode za piće, neki rješenje vide u konzumaciji flaširane vode. To je loše rješenje. Osim što je i ta voda tretirana i dezinficirana kemijskim putem, ona sadrži i neke druge kancerogene tvari koje ispušta plastična ambalaža, posebice u ljetnim vrućinama i transportu gdje se plastika doslovice topi u vodu. Danas postoje različiti sustavi koji filtriraju vodu za piće, čiji filteri učinkovito uklanjaju čak i do 99 % opasnog klora pretvarajući ga u bezopasnu sol, a paralelno mogu uklanjati i kamenac kao i druge kontaminante koje sadrži voda kao što su to olovo ili živa.

Voda za piće na području republike Hrvatske je u većini slučajeva vrlo dobre kvalitete, što i nije uobičajeno, jer sve češće dolazimo do spoznaje da voda za piće koja nam dolazi iz gradskih vodovoda, bunara, distributivnih mreža ima vrlo veliku koncentraciju klora, visoku tvrdoću, a ponekad i veliku količinu željeza, mangana itd. Takva voda s vremenom utječe na naše zdravlje i na zdravlje naših obitelji te, na žalost, dovodi do težih zdravstvenih problema. Postoje zdraviji i sigurniji načini dezinfekcije vode, kao što je dezinfekcija vode sustavima koji funkcioniraju na bazi ozona ili UV zračenja, ali u pravilu ne možemo utjecati na to koje kemikalije za dezinfekciju koriste institucije zadužene za taj posao. Ono što možemo i moramo napraviti radi vlastitog zdravlja i zdravlja svojih ukućana jest zaštititi se što je više moguće od štetnog utjecaja klora u vlastitim domovima.

LITERATURA:

- Patrick J. Sullivan, Franklin J. Agardy, James J.J. Clark
The Water We Drink, The Environmental Science of Drinking Water, 2005, 1-28
- F. Briški
Zaštita okoliša, interna skripta, FKIT, Zagreb, 2012
- G. Bitton
Wastewater Microbiology, John Wiley & Sons, New York, 1996..
- P.A. Carson, C.J. Mumford
Hazardous Chemicals Handbook, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
- T.J. Casey
Unit treatment processes in water and wastewater engineering, John Wiley & Sons, 1996.
- W.W.Jr. Eckenfelder
Industrial Water Pollution Control, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1998.
- D.W. Sundstrom, H.E. Klei
Wastewater treatment, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1979.
- C.W.K. Chow
Water Analysis, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, from Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition), 2005, 253-262
- S.B. Somani, N.W. Ingole
Alternative approach to chlorination for disinfection of drinking water, International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, 2011
- T.H.Y. Tebbutt
Principes of Water Quality Control, Pergamon Press, Oxford, 1971.
- D. Kučić
Kemija u zaštiti okoliša, interna skripta, FKIT, Zagreb, 2011.
- N.F. Gray, Ph.D., Sc.D.
Drinking Water Contamination, Water Technology (Third Edition), An Introduction for Environmental Scientists and Engineers, 2010, 328-359
- P.M. Huck, P.M. Fedorak, W.B. Anderson
Biodegradation of aquatic organic matter with reference to drinking water treatment, Science of The Total Environment, 1992, 531-541
- C.R. Hayes
Microbiological Quality Control In The Provision Of Safe Drinking Water, Water Pollution Research and Control Brighton, 1988, 559-566 68
- W. Schmidt, U.Böhme, F.Sacher, H.J. Bra
The Impact Of Natural Organic Matter (Nom) On The Formation Of Inorganic Disinfection By-Products: Chlorite, Chlorate, Bromate And Iodate, Disinfection By-Products in Drinking Water, 1999.
- A. Štrkalj
Onečišćenje i zaštita voda, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.