

# PRIMJENA KLORA I KLORNIH SPOJEVA U DEZINFEKCIJI VODE

---

**Kaurinović, Andreja**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:578683>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-31**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Andreja Kaurinović

# **PRIMJENA KLORA I KLORNIH SPOJEVA U DEZINFEKCIJI VODE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Andreja Kaurinović

**APPLICATION OF CHLORINE AND  
CHLORINE COMPOUNDS IN WATER  
DISINFECTION**

Final paper

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Andreja Kaurinović

# **PRIMJENA KLORA I KLORNIH SPOJEVA U DEZINFEKCIJI VODE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc.Cindrić Ines, prof. v.š.

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579

Stručni studij: Sigurnost i zaštita  
Usmjerenje: Zaštita na radu  
Karlovac, 2022.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Andreja Kaurinović

Matični broj: 0248077226

Naslov: Primjena klora i klornih spojeva u dezinfekciji vode

Opis zadatka:

U ovom završnom radu obradit će se tematika dezinfekcije klorom i klornim spojevima koja će se primjeniti na vode za piće. Obradit će se najčešći korišteni spojevi, njihovo djelovanje i čimbenici koji utječu na njihovo djelovanje. U nastavku obradit će se i zaštitna sredstva koja se koriste prilikom rukovanja.

Mentor: dr.sc. Cindrić Ines

Predsjednik Ispitnog povjerenstva: dr.sc. Jasna Halambek

## **PREDGOVOR:**

Ovaj završni rad napisala sam samostalno uz pomoć korištenja stručnih literatura, izvora dostupnih na internetskim stranicama, dokumenata iz arhive tvrtke Same Deutz-Fahr Žetelice d.o.o. , u kojoj sam ujedno obavljala stručnu praksu, također iskoristila sam znanje koje sam stekla na prediplomskom studiju Sigurnosti i zaštite Veleučilišta u Karlovcu.

Zahvaljujem se mentorici dr.sc. Ines Cindrić, koja je svojim stručnim znanjima i usmjerenjima nesebično doprinijela izradi ovog završnog rada, kao i svim profesorima na strpljenju i podučavanju kroz sve tri godine studija.

Veliko hvala mojim roditeljima koji su mi bili podrška tijekom svih godina studiranja. Zahvaljujem se svojim prijateljima, kolegama na savjetovanju i podršci kroz najteži period studiranja.

## **SAŽETAK:**

Dezinfekcija vode je od velike važnosti za očuvanje zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju. Zadatak dezinfekcije vode je inaktivacija štetnih mikroorganizama u cilju sprječavanja prenošenja bolesti putem vode. Za dezinfekciju se koriste fizikalne i kemijske metode te se dezinfekcija obavlja u bistroj vodi jer i njeno najmanje замуćenje utječe na proces dezinfekcije. Kemijske metode dezinfekcije provode se primjenom dezinficijenasa. Najčešća primjenjiva sredstva za dezinfekciju su klor i klorni spojevi poput klornog dioksida ( $\text{ClO}_2$ ), kalcijev i natrijev hipoklorit ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ;  $\text{NaClO}$ ), elementarni klor ( $\text{Cl}_2$ ), kalcijev klorid-hipoklorit ( $\text{CaCl}(\text{ClO})$ ), te kloramin. Klor ubija bakterije brže ili polaganije, ovisno o obliku klora npr. plinoviti klor ubija najbrže, pa hipoklorit, dok kloramin djeluje najsporije. Spomenuta kemijska sredstva napadaju vitalne dijelove mikroorganizama, a potpuna dezinfekcija vode se postiže djelovanjem određene koncentracije klornog sredstva po ukupnoj količini vode za vrijeme kontakta. Osim što klor i klorni spojevi uništavaju bakterije u vodi, također uklanjaju željezo i mangan iz vode, ali i okus i miris.

**Ključne riječi: dezinfekcija klorom, dezinfekcija vode, klor, klorni spojevi**

## **SUMMARY:**

Disinfection of water is of great importance for preserving the healthiness of water for human consumption. The task of water disinfection is the inactivation of harmful microorganisms in order to prevent the transmission of diseases through water. Physical and chemical methods are used for disinfection, and disinfection is carried out in clear water, because even the slightest turbidity affects the disinfection process. Chemical methods of disinfection are carried out using disinfectants. The most commonly used disinfectants are chlorine and chlorine compounds such as chlorine dioxide ( $\text{ClO}_2$ ), calcium and sodium hypochlorite ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  ;  $\text{NaClO}$ ), elemental chlorine ( $\text{Cl}_2$ ), calcium chloride-hypochlorite ( $\text{CaCl}(\text{ClO})$ ), and chloramine . Chlorine and chlorine compounds work in different ways, they kill bacteria faster or slower, depending on the form of chlorine, eg gaseous chlorine kills the fastest, then hypochlorite, while chloramine works the slowest. The mentioned chemical agents attack vital parts of microorganisms, and complete water disinfection is achieved by the action of a certain concentration of chlorine agent per total amount of water during contact. In addition to the fact that chlorine and chlorine compounds destroy bacteria in the water, they also remove iron and manganese from the water, as well as the taste and smell.

**Keywords: chlorine, chlorine compounds, chlorine disinfection, water disinfection**



# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR:.....	II
SAŽETAK: .....	III
SUMMARY:.....	IV
UVOD.....	1
1. SVOJSTVA KLORA.....	2
2. DOBIVANJE KLORA .....	4
3. SPOJEVI KLORA .....	7
4. DEZINFEKCIJA VODE .....	9
4.1. Dezinfekcija vode klorom i njegovim spojevima .....	12
4.1.1. Klor dioksid .....	12
4.1.2. Natrijev hipoklorit .....	13
4.1.3. Kloramin .....	14
4.1.4. Elementarni klor .....	15
5. OPASNOSTI KLORA I KLORNIH SPOJEVA PRI SKLADIŠTENJU .....	21
5.1. Utjecaj klora i klornih spojeva na organizam .....	24
5.2. Osobna zaštitna sredstva pri radu sa klorom i klornim spojevima .....	25
6. ZAKLJUČAK.....	29
7. LITERATURA.....	30
8. POPIS PRILOGA .....	32
8.1. Popis slika .....	32
8.2. Popis tablica .....	32

## UVOD

Voda je najvažniji kemijski spoj u prirodi koja služi za održavanje biljnog, životinjskog i ljudskog života na Zemlji. Međutim, voda nam stoji na raspolaganju u ograničenoj količini. Ukupna količina vode na Zemlji iznosi  $1,386 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ , a od te količine 97,5% čine oceani i mora, a 2,5% slatke vode. Od 2,5% slatke vode 1,74% je zaleđeno, dok sve druge tekučice i stajačice čine 0,76% ukupne mase na Zemlji. No samo manji dio tekučica i stajačica ekonomski i ekološki je prihvatljiv za uporabu [8].

Značajne količine vode koriste se u domaćinstvima, poljoprivredi za navodnjavanje i industriji radi specifičnih fizikalno-kemijskih svojstva. Bilo koje od navednih aktivnosti uporabe vode rezultira sa njezinim onečišćenjem. Pomoću vode se prenose mnoge zarazne bolesti (trbušni tifus, hepatitis A, malarija, žuta groznica), infekcije, stočne zarazne bolesti od kojih pored životinja oboljevaju također i ljudi. Većina bolesti prenosi se fekalnooralnim putem, odnosno konzumacijom vode, no neke od njih se prenose udisanjem vodenog aerosola (tuširanje, prskanje). Najveći rizik za zdravlje predstavlja voda koja je kontaminirana ljudskim ili životinjskim ekskretima (fecesom) jer su oni najčešći izvor mikroorganizama patogenih za ljude. Kako bi se spriječile sve nuspojave nužno je provesti dezinfekciju vode. Cilj dezinfekcije je smanjiti broj mikroorganizama na onu razinu koja nije opasna po zdravlje. Provedba procesa dezinfekcije vode može se izvršiti različitim fizikalnim i kemijskim metodama, no provedba klorom i njegovim spojevima zbog svoje jednostavnosti, ekonomske prihvatljivosti te zbog prednosti rezidualnog dezinfekcijskog djelovanja, još uvijek predstavlja najčešće upotrebljavani način.

# 1. SVOJSTVA KLORA

Carl William Scheele (SE) 1774. godine je otkrio klor u Uppsali u Švedskoj. Prvi puta je dobio klor reakcijom klorovodične kiseline (HCl) i manganovog dioksida (MnO<sub>2</sub>). Ime mu dolazi od grčkog chloros, što znači žuto-zeleno, 1870. godine britanski kemičar Humphry Davy dokazao je njegovu elementarnu prirodu [1] [15].

Klor je kemijski element u skupini halogena. Žuto-zeleni plin koji je otrovan, oštrog i nadražujućeg mirisa. Dva i pol puta je teži od zraka; pritiskom i hlađenjem postaje kipuća žuta tekućina (slika 1.). Nakon fluora, elementarni klor je najreaktivnija vrsta: izravno se veže na sve ostale elemente osim kisika, dušika, plemenite plinove, iridija i ugljika. Mnoge metale oksidira izravno u soli. Oksidira organske spojeve, jer proizvodi kisik s vodom ili se veže na njihove molekule dodavanjem ili zamjenom vodika (uz razvoj klorovodika) [2]. Otapa se u vodi (2,3 grama u jednoj litri vode na 20°C), a dobivena otopina naziva se klorna voda, koja se u kemiji koristi kao oksidans. Dolazi do procesa fizičkog otapanja, nakon čega slijedi reakcija s vodom (hidroliza) otopljenog klora [1]:



Slika 1. Uzorak klora

Vrelište klora iznosi -34,04°C, dok mu je talište -101,05°C. Gustoća klora u plinovitom stanju iznosi 3,214 g/l, a u tekućem 1,537 g/cm<sup>3</sup>, dok je gustoća krutine klora 1,9 g/cm<sup>3</sup>. Specifični volumen klora iznosi 1,745 x 10<sup>-3</sup> L/g [3].

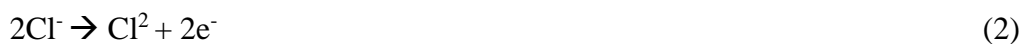
Tablica 1. Fizikalna svojstva klora pri određenim temperaturama

	113 K	239 K	273 K
Gustoća / $\text{gdm}^{-3}$ :	2030	1507	3,214
Molarni volumen / $\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$ :	17,46	23,53	22061,61

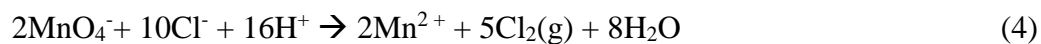
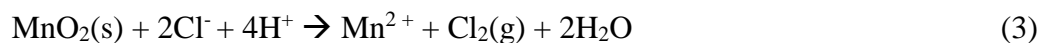
U prirodi se klor u elementarnom stanju može pronaći u vulkanskim ekshalacijama, dok je u obliku spojeva vrlo raširen u obliku minerala i stijena (Zemljina kora 0,013%) i to prije svega kao natrijev klorid (kamena sol, NaCl), kalijev klorid (silvin, KCl), kalijmagnezijev klorid (karnalit), dok je kao kloridni anion ( $\text{Cl}^-$ ) prisutan u oceanima (maseni udio je 2%), kopnenim morima i slanim jezerima [15].

## 2. DOBIVANJE KLORA

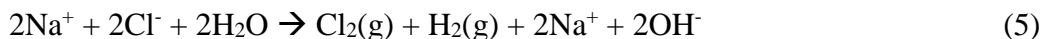
Proizvodnja klora se osniva na oksidaciji kloridnih ( $\text{Cl}^-$ ) iona koji se može odvijati elektrokemijskim ili kemijskim putem prema jednadžbi:



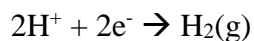
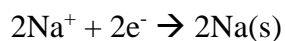
Laboratorijsko dobivanje klora osniva se na oksidaciji klorid-ionu prikladnim oksidacijskim sredstvom, npr.  $\text{MnO}_2$  ili  $\text{KMnO}_4$ . Reakcija se izvodi tako da se čvrsti  $\text{MnO}_2$  ili  $\text{KMnO}_4$  miješaju s koncentriranom klorovodičnom kiselinom uz slabo zagrijavanje:



Industrijski klor se dobiva isključivo elektrolizom čiste koncentrirane otopine natrij-klorida. Proces se može predočiti jednadžbom:



Kod elektrolize vodene otopine natrij-klorida prisutni su:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , molekula  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  ioni nastali disocijacijom vode. S toga na katodi dolazi do dvije reakcije:



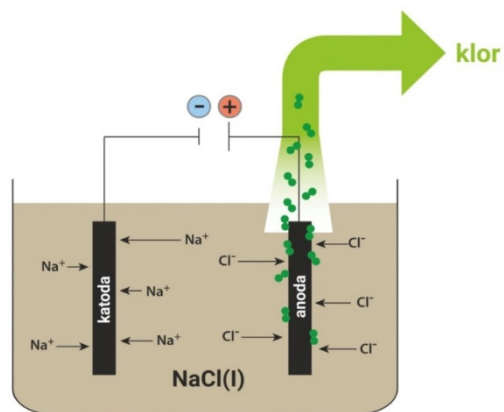
Prema metodi prostornog odvajanja anode i katode, kako bi se spriječilo miješanje nastalih proizvoda, koriste se tri procesa elektrolize: postupak sa dijafragmom, živina metoda i metoda polupropusnih membrana. Sve više i više postrojenja koja koriste živu za

odvajanje zatvara se zbog toksičnosti žive ili su pod strogim ekološkim standardima i strogim nadzorom proizvodnje [2].

U postupku s dijafragmom anodni i katodni prostor odvojeni su dijafragmom. U prostoru katode se nalazi otopina natrijeve lužine (NaOH), dok se u prostoru anode neprekidno dovodi svježja otopina soli NaCl. U plinovitoj fazi klor se izlučuje na anodi i sakuplja se u vakuumiranom prostoru hlađenim vodom iznad nje. Na katodi se oslobađa vodik, a otopina u katodnom dijelu sadrži  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  i  $\text{OH}^-$  ione. Prednost postupka s dijafragmom je u manjoj potrošnji energije i što se ne upotrebljava živa. Nedostatak postupka s dijafragmom je što je lužina onečišćena  $\text{Cl}^-$  ionima, koji se uklanjaju teško, pa se NaOH više ne može upotrebljavati u industriji [2].

Pri postupku sa živom anodni i katodni prostor čine zapravo dvije odvojene ćelije. U primarnoj ćeliji se na anodi oksidira klor, a na živinoj katodi reducira natrij. Reducirani natrij sa živom gradi amalgam koji ide u sekundarnu ćeliju. U tu ćeliju osim amalgama dolazi i voda. Na anodi se oksidira natrij, a na katodi reducira vodik. Vodik izlazi iz sekundarne ćelije u kojoj se gomilaju  $\text{Na}^+$  i  $\text{OH}^-$  ioni i preljevom otječu u spremište. Živa se vraća u primarnu ćeliju čime se zatvara kružni proces. U posljednjih desetak godina proizvodnja klora postupkom sa živom postala je neekonomična uslijed strogih propisa zbrinjavanja žive iz okoliša koji značajno utječu na ekonomičnost ovoga procesa s obzirom na konkurentne postupke proizvodnje [2].

U elektrolitskom postupku ili postupku s membranom bitna je visoko selektivna semipermeabilna membrana koja nosi negativni naboj i zbog toga propušta samo kation. Otopina elektrolita (alkalijskog klorida) se nalazi u elektrokemijskom reaktoru s tom membranom samo u anodnom prostoru. Na njegovoj se anodi oslobađa klor. U njegov katodni prostor dolazi čista voda. Na njegovoj se katodi oslobađa vodik, a zaostaju ioni  $\text{OH}^-$ , pa time nastaje otopina alkalijskog hidroksida. Tim se postupkom rješavaju bitni nedostaci postupka elektrolize alkalijskih klorida dijafragmom [23].



Slika 2. Prikaz elektrolize otopine natrij-klorida membranskim postupkom

Klor dobiven bilo kojim od navedenih postupaka mora se dalje doradivati. Ta dorada uvijek obuhvaća hlađenje i sušenje. Klor dobiven elektrolizom ima temperaturu od 70°C do 80°C i zasićen je parom. Veliki se dio pare uklanja iz plinovitog klora hlađenjem. Klor koji se ohladi suši se koncentriranom sumpornom kiselinom (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Za hlađenje klora obično se upotrebljava hladnjak od titana [23].

### 3. SPOJEVI KLORA

Klor stvara velik broj spojeva u kojima ima oksidacijski broj -1, +1, +2, +3, +4, +5, i +7. Spojevi s oksidacijskim brojem (-1) su najstabilniji spojevi koji stvaraju ionske kloride te kovalentne kloro-spojeve. Najznačajniji spojevi klora, a koji se koriste za dezinfekciju su: klorni dioksid ( $\text{ClO}_2$ ), kalcijev i natrijev hipoklorit ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  ;  $\text{NaClO}$ ), elementarni klor ( $\text{Cl}_2$ ), kalcijev klorid-hipoklorit ( $\text{CaCl}(\text{ClO})$ ), te kloramin [2] [6].

**Klorni dioksid** ( $\text{ClO}_2$ ) koristi se za pročišćavanje vode, kontrolira okus i miris vode, uklanja bakterije, također koristi se za oksidaciju nečistoća. Koristi se kada je pH vode povišen, izlučuje soli mangana u obliku mangandioksida, pri upotrebljavanju u postupku preklorinacije uklanja metale [5]. Klorni dioksid ( $\text{ClO}_2$ ) je crveno-žuti plin, ima oštar miris nalik kloru, gustoća mu je 9.99 g/L na 11°C, smrzava se na 59,5°C pretvara se u crvene kristale, eksplozivan na zraku u volumenskim koncentracijama većim od 10%, ali neopasan otopljen u vodi, razgrađuje se u vrućoj vodi, topljiv je u lužinama i  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Poželjan je kao dezinficijens u slučajevima kad se sumnja na prisutnost fenola u vodi. Klorni dioksid nastaje propuštanjem dušikovog dioksida kroz natrij klorat prema jednadžbi:



**Kalcijev hipoklorit** ( $\text{CaClO}_2$ ) dobiva se uvođenjem klora u gašeno vapno.

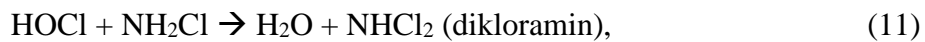
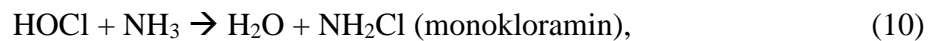


Sadržaj aktivnog klora je 30-40%. Kalcijev hipoklorit je bijela kristalna krutina, gustoće 2,35 g/cm<sup>3</sup>. Raspada se kada dosegne temperaturu 100°C. Topljiv je u alkoholu i u vodi.

**Natrijev hipoklorit** ( $\text{NaClO}$ ) koristi se kao kemikalija za kućanstvo u svrhu izbjeljivanja ili kao dezinficijens. Ovo je najstariji i najvažniji izbjeljivač na bazi klora. Natrijev hipoklorit je kristalna krutina blijedo-zelene boje, gustoća mu je 1,6 g/cm<sup>3</sup> te talište iznosi 18°C. Topljivost u vodi iznosi 29,3 g/100 mL na 0°C te je vodena otopina natrijevog hipoklorita vrlo stabilna [6].



**Kloramin** nastaje uslijed reakcije klora koji vrlo brzo reagira s amonijakom u vodi, dajući različite oblike kloramina, ovisno o temperaturi, pH, vremenu kontakta i početnom omjeru klora i amonijaka:



Monokloramin i dikloramin su slabiji dezinficijensi od kloramina. Kloramin se utvrđuje kao rezidualni klor [5].

## 4. DEZINFEKCIJA VODE

Pojam dezinfekcija je proces osiguravanja zdravstvene ispravnosti vode, tj. postupak uništavanja zaraznih mikroorganizama u vodi koji izazivaju zarazu bakterijama fekalnog porijekla [5] [8]. Procesu dezinfekcije se podvrgava ona voda koja je već prošla sve faze pročišćavanja-kondicioniranja vode (koagulacije, taloženja, filtracije). Naime uspješna se dezinfekcija vode može izvršiti samo u bistroj vodi jer u bistroj vodi nema lebdećih čestica koje bi mogle zaštititi bakterije od djelovanja dezinfekcijskog sredstva.

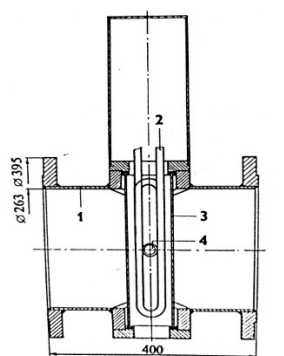
Prema mehanizmu djelovanja razlikujemo: mehaničku, fizikalnu i kemijsku metodu dezinfekciju vode.

*Mehanička metoda* dezinfekcije podrazumijeva mehaničko uklanjanje mikroorganizama s radnih površina i predmeta, a provodi se struganjem, metenjem, odmašćivanjem, pranjem, filtracijom, ventilacijom i taloženjem [8].

*Fizikalna metoda* dezinfekcije podrazumijeva uporabu topline, UV zračenja ili ultrazvuka, koji svojim djelovanjem uništavaju rast i razmnožavanje većinu mikroorganizama. Ovom skupinom postupaka se obavlja samo trenutna dezinfekcija vode, dok biomasa uništenih mikroorganizama i ostali organski spojevi zaostaju u vodi i ova voda, često je podložnija reinfekciji, nego sirova voda [8].

*Kemijska metoda* dezinfekcije podrazumijevaju uporabu kemijskih tvari - dezinficijensa, koje svojim djelovanjem uništavaju većinu mikroorganizama [16]. Kemijska sredstva koja se upotrebljavaju za dezinfekciju vode obuhvaćaju elementarni klor i klorni spojevi (hipoklorit, klor dioksid, kloramin), ozon, srebro i jod. Zajednička osobina svih kemijskih postupaka je ne samo uništavanje vegetativnih oblika mikroorganizama, nego se istovremeno oksidiraju i organski spojevi prisutni u vodi koji mogu predstavljati i ostatke biomase samih mikroorganizama, koji bi u slučaju reinfekcije mogli poslužiti kao supstrat za razvoj novih mikroorganizama [8].

Dezinfekcija vode fizikalnim postupcima provodi se toplinom, ultravioletnim zračenjem i primjenom ultrazvuka. **Dezinfekcija vode toplinom** je najjednostavniji postupak dezinfekcije. S obzirom da je većina bakterija osjetljiva na toplinu dolazi do njihove inaktivacije na temperaturi iznad 60°C. Provedbom vrenja vode u trajanju od minimalno 20 minuta uništava se većina štetnih mikroorganizma u vodi. No ovakav način dezinfekcije koristi se samo u elementarnim nepogodama uslijed ekonomske neisplativosti. **Ultravioletno zračenje** je metoda pogodna za dezinfekciju bistrih voda. Dužina vala UV zračenja prostire se između 15 i 400 nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ). Najveća učinkovitost dezinfekcije postiže se pri valnoj dužini 255 i 265 nm. Stupanj uništavanja mikroorganizama ovisi o valnoj dužini, intenzitetu zračenja, kakvoći i bistroći vode. Vrijeme kontakta iznosi 0,5 do 5 sekundi, a ovisi o količini mikroorganizama u vodi i optičkom prijenosu. Primjerna količina UV zračenja je između 30 i 40 mWs/cm<sup>2</sup>, prilikom čega potrošnja energije iznosi 16-20 Wh/m<sup>3</sup> obrađene vode.



Slika 3. Uređaj za dezinfekciju ultravioletnim zračenjem

Legenda:

1. Protočna cijev
2. UV-C odašiljač zraka
3. Kremena zaštitna cijev
4. Otvor za praćenje UV-C zračenja

Sustav sa UV zračenjem upotrebljava niskotlačna kvarcna svjetiljka kao izvor svjetlosti ,a sještina je stakleni cijevni sustav koji ju štiti od vode (vidi sliku 3.). Prednost dezinfekcije vode UV postupkom očituje se u tome što se vodi ne dodaju kemikalije te nema prekoračenja upotrebljene doze zračenja. Nedostatak metode dezinfekcije upotrebom UV zračenja vezane su prije svega na izostanak rezidualnog djelovanja stoga je naknadna kontaminacija vode u razvodnoj mreži izuzetno velika; No također brzo trošenje svjetiljki nepovoljan je aspekt i sa tehničkog i ekonomskog aspekta [5]. **Metoda ultrazvučnih valova** je najnovija metoda dezinfekcije vode. Na frekvenciji preko 20.000 Hz, ultrazvučni valovi uzrokuju mehaničko pucanje stanica mikroorganizama. Dezinfekcija vode ultrazvukom nije toliko čest proces radi visoke cijene uređaja, no prednost takvog načina dezinfekcije vode vezana je prije svega uz odsutnost organoleptičkih smetnji tretirane vode.

Najčešće korištena metoda koja se primjenjuje za dezinfekciju voda svakako je kemijska metoda dezinfekcije, radi mogućnosti rezidualnog djelovanja primjenjenog dezinfekcijskog sredstva, ali i njegove primarne učinkovitosti. Metoda kemijske dezinfekcije temelji se na djelovanju jakog oksidiracijskog sredstva u vodi koji oštećuje međumolekulske veze unutar stanične stijenke mikroorganizma vodeći k njihovom raspadu stanice. Budućnost dezinfekcije vode leži u kombinaciji kemijsko-fizikalnih metoda. Učinkovitost primjenjenog sredstava za dezinfekciju ovisi o nizu čimbenika kao što je vrijeme kontakta primjenjenog sredstva, temperatura medija, pH, prisutnost UV zračenja. Dezinfekcija se treba provesti u što kraćem vremenu zbog promjene temperature vode, prije će doći do uništenja bakterija u toploj vodi nego u hladnoj vodi. Mutnoća vode nije poželjna, mutne vode treba prvo izbistriti postupcima kao što su sedimentacija, filtracija, koagulacija, i taloženje. Tek nakon tih postupaka slijedi postupak dezinfekcije. Ukoliko su u vodi prisutne organske tvari, tada nastaju toksične tvari (trihalometani) koji prije dezinfekcije nisu postojali. Ultraljubičaste zrake dnevnog svjetla ubrzavaju proces dezinfekcije, ali u isto vrijeme utječu na gubitak dezinfekcijskog sredstva. Važan čimbenik dezinfekcije je pH vrijednost, naime za slabo kisele vode i one sa neutralnom pH vrijednosti učinak dezinfekcije je najveći.

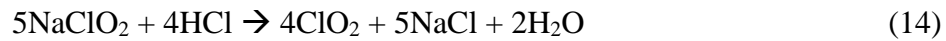
## 4.1. Dezinfekcija vode klorom i njegovim spojevima

Dezinfekcija klorom i njegovim spojevima je najrašireniji i gospodarski najprihvatljiviji postupak dezinfekcije vode za ljudsku potrošnju ali i otpadnih voda. Kloriranje se najčešće provodi elementarnim klorom ( $\text{Cl}_2$ ), klornim dioksidom ( $\text{ClO}_2$ ), natrijevim hipokloritom ( $\text{NaOCl}$ ) te kloraminom. Dezinfekcijska sposobnost spojeva na bazi klora ovisi o količini *aktivnog klora* u njima, a pod čijim pojmom se podrazumijeva količina hipokloritne kiseline koja se oslobađa dodatkom dezinfekcijskog sredstva u vodu. Klor i njegovi spojevi uništavaju mikroorganizme brže ili polaganije, ovisno o obliku klora. Plinoviti klor uništava mikroorganizme najbrže, potom slijedi hipoklorit dok kloramin djeluje najsporije.

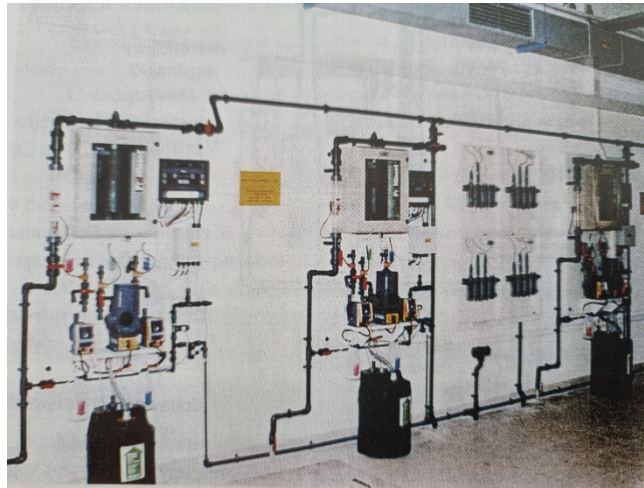
### 4.1.1. Klor dioksid

Klor dioksid je najučinkovitije sredstvo na bazi klora u smislu svog dezinfekcijskog učinka, otrovan plin, proizvodi se na mjestu upotrebe u obliku 2%-tne vodene otopine. Količina klor dioksida koja se dodaje vodi je 0,1 do 0,4 mg  $\text{ClO}_2/\text{L}$  vode.  $\text{ClO}_2$  je izvrstan dezinficijens čak i kod niskih koncentracija. Pri koncentraciji od 0,3 mg/l, pouzdano uklanja broj bakterija sa 1,000 CFu/ml na nulu kroz svega par minuta. Vrijeme dezinfekcije iznosi 15 minuta, a dezinfekcijsko djelovanje ne opada s porastom pH vrijednosti, kao što je slučaj s klorom. Njegova učinkovitost se postiže pri pH vrijednosti između 5-10. Klor dioksid ( $\text{ClO}_2$ ) u postupku dezinfekcije ne proizvodi spojeve trihalometana. Približno 50-70% klordioksida u postupku kondicioniranja se pojavljuje iza reakcije kao klorit, a ostatak kao klor. Rezidualni klorit svoju razgradnju nastavlja tijekom protjecanja opskrbnim sustavom. Svrha postupka je proizvodnja otopine visoke čistoće i najvećega učinka. Klor dioksid u postupku kondicioniranja razvija reakciju soli i klora u tekućem ili plinovitom stanju prema jednadžbama:





Kontrolira okus, miris, željezo i mangan u vodi. Klor dioksid ne reagira sa amonijakom koji uzrokuje pad rezidualnog klora. Klorofenoli, tvari intezivnog mirisa, koji se pojavljuju prilikom dezinfekcije vode klorom, ne stvaraju se prilikom korištenja klor dioksida. Klor dioksid svojim djelovanjem uklanja biofilmove i time uništava uvjete mikrobiologije u cjevovodu. Klor dioksid ne stvara klororganske tvari u onečišćenoj vodi dok se njegovom primjenom u vodi mogu razviti kloriti koji mogu dovesti do razvoja methemoglobinemije. Nestabilan je te se ne može skladištiti ni transportirati.



Slika 4. Uređaj za dezinfekciju vode klor dioksidom ( $\text{ClO}_2$ )

#### 4.1.2. Natrijev hipoklorit

Natrijev hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) sadrži 10-15% aktivnog klora. Natrijev hipoklorit je najzastupljenije sredstvo za dezinfekciju bazenskih voda, pri čemu sprječava razvoj bakterija i algi. Na tržištu se nalazi kao 3-4%-tna otopina pod nazivom varikina. Natrijev hipoklorit stvara rezidualni klor. Koristi se za dezinfekciju cisterni, zdenaca i bazena. Lako se skladišti, transportira i dozira. Otopina natrijevog hipoklorita može reagirati s drugim tvarima te tako postati zapaljiva.  $\text{NaOCl}$  se otapa u vodi i stvara hipokloritnu kiselinu ( $\text{HOCl}$ ) i hipokloritni ion ( $\text{OCl}^-$ ) koji imaju dezinfekcijsko djelovanje. pH vrijednost natrijevog hipoklorita je visoka ( $\text{pH}=13$ ) tako da njegova primjena utječe na pH vrijednost

vode. Korištenjem NaOCl povećava se pH vode te se za snižavanje pH vode koristi klorovodična kiselina (HCl) kako bi dezinfekcija bila uspješna. Nedostatci natrijevog hipoklorita su mogućnost korozivnog učinka, nestabilnost pri dužem skladištenju i razvitak kloroorganskih spojeva.



Slika 5. Uređaj za dezinfekciju natrijevim hipokloritom

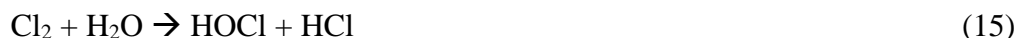
#### 4.1.3. Kloramin

Kloramini sadrže 25% aktivnog klora i stabilniji su od hipoklorita. Polako i postupno otpuštaju klor u vodu. Upotreba kloramina se može ručno primjeniti na bazenima, duže ostaju u vodi nego ostali klorni spojevi, primjenjuje se ručno na bazenima. Doziranje se obavlja istovremenim dodavanjem klora i amonijaka u vodu ili dodavanjem gotovih kloramina kao što su trikloramin, dikloramin i monokloramin. Također se sporo raspadaju do hipokloritne kiseline [20].

#### 4.1.4. Elementarni klor

Elementarni klor se može nabaviti stlačen u čeličnim bocama, uništava patogene mikroorganizme, jednostavno doziranje i mjerenje koncentracije u vodi. Klor uništava mikroorganizme tako što dodan vodi stvara hipoklornu kiselinu (HOCl) koja kemijski reagira sa sustavom enzima bakterijske stanice koji je važan za metaboličku funkciju organizma. Nedostaci elementarnog klora su nastanak kancerogenih trihalogenmetana pri reakciji elementarnog klora s organskim tvarima u vodi. Klor reagira sa fenolima, amonijakom, bromom i drugim tvarima pri čemu se troši dodatna količina klora.

Klor (Cl<sub>2</sub>) dodan slobodnoj vodi od organske tvari ili amonijaka razvija hipoklornu kiselinu (HOCl) prema jednadžbi:



HOCl dalje disocira prema izrazu:



Hipoklorna kiselina (HOCl) i hipoklorit ion OCl<sup>-</sup> označuju “slobodni klor” te su najučinkovitiji oblici klora u postupku dezinfekcije. Naime HClO je oksidacijsko sredstvo, a njezina dezinfekcijska moć pripisuje se ili disociranoj HClO (jed. 16) ili nastalom slobodnom radikalu kisika (O•) (jed. 17) koji nastaje uslijed velikog afiniteta klora prema vodik.

Chickov zakon izražava učinkovitost određene količine klora u uništavanju mikroorganizama koji u diferencijalnom obliku glasi:

$$dN / dt = -kN \quad (18)$$

Gdje je N- broj organizama, t- vrijeme kontakta (min), dN/dt- količina uništenih mikroorganizama, k- konstanta (1/min).



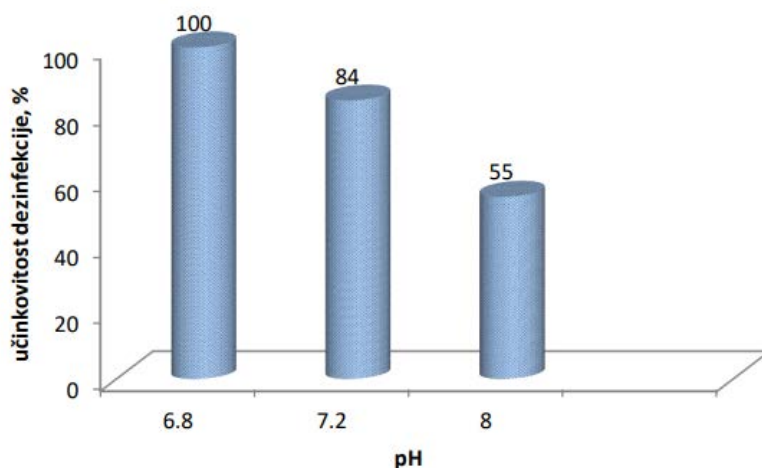
Prema jednadžbi (15) što je vrijeme kontakta dezinficijensa dulje veća je učinkovitost uništavanja bakterija.

Jednadžba poprima oblik integrirajući za  $t=0$  do vremena  $t$  :

$$N / N_0 = e^{-kt} \quad (19)$$

Gdje je  $N_0$ - broj organizama u vremenu  $t=0$  , a  $N$ - broj organizama u vremenu  $t$ .

Konstanta  $k$  je funkcija pH, količine klora i temperature. Učinkovitost klorinacije na uništavanju raznih mikroorganizama odgovara vrijednosti  $k$  u rasponu od 0,24 do 6,3 za 99%-tno uništavanje pri temperaturi 0-6 °C. Približno 90% slobodnog klora razvija se iz hipoklorne kiseline (HOCl) kada je pH vrijednost 6.8 (slika 6.) uz uvjet da voda ne sadrži amonijak. Pri povišenju pH pogoduje proces disocijacije i razvoj hipokloridnog iona ( $OCl^-$ ), ako je pH 9 pri temperaturi od 0°C samo 4,5 % slobodnog raspoloživog klora prisutno je u obliku hipoklorne kiseline [5].



Slika 6. Ovisnost učinkovitosti dezinfekcije klorom o pH vrijednosti

Dezinfekcija vode klorom nije izravan proces, već se odvija tijekom određenog vremena koje je potrebno za uništavanje određenih organizama. Količina rezidualnog klora je zakonski određena “Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće” (NN 182/2004) i iznosi 0,5 mg/L kod normalnih uvjeta, a u posebnim uvjetima iznosi 0,5-0,8 mg/L. Dezinfekcija vode klorom se provodi kao zadnji postupak kondicioniranja, tj. uz

bistru vodu. Najčešća obrada vode za piće prije dezinfekcije uključuje: koagulaciju i flokulaciju, filtraciju, uklanjanje željeza i mangana, uklanjanje organskih tvari. Koagulacija i flokulacija su bitan korak u pročišćavanju vode. Koagulacija je postupak izbijanja naboja koloidnih čestica. Flokulacija je postupak okupljanja destabiliziranih ili koaguliranih čestica da bi se stvorile veće nakupine ili flokule. Bez koagulacije ne može nastupiti flokulacija, odnosno taloženje čestica. Filtracija je proces kondicioniranja kojeg se voda protjecanjem kroz neku poroznu sredinu oslobađa suspendirane tvari. Tragovi željeza i mangana nalaze se u vodama raznog porijekla, količina željeza je 20 mg/l a mangana 5 mg/l, uklanjaju se postupkom separacije ili filtracijom [5] [17] [18].

Najvažniji pojmovi u dezinfekciji vodi se doza klorina, potreba za klorom i rezidualni klor koji se nalazi u sljedećoj vezi:

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

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

*Potreba vode za klorom* podrazumijeva se količina klorina (mg/L), kojeg je potrebno dodati vodi do pojave rezidualnog klorina.

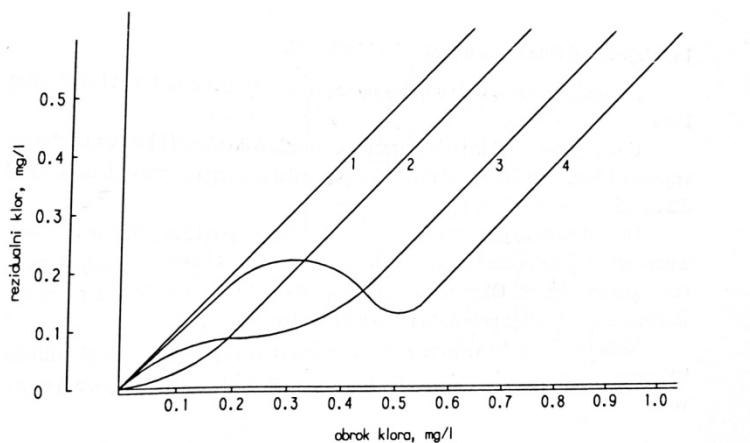
*Rezidualni klor* predstavlja koncentraciju klorina koja je zaostala u vodi kao višak nakon reakcija klorina s tvarima koje se mogu oksidirati u vodi, tj. nakon završenog procesa dezinfekcije [24].

Razlikujemo sljedeće postupke, s obzirom na tehnologiju kloriranja: standardni postupak, prekloriranje – dekloriranje, postupak kritične točke (“breakpoint”) i frakcionarno kloriranje. Zajedničko načelo pri ovim postupcima je: količina klorina po litri vode koja se dodaje mora zadovoljiti potrebu vode za klorom, djelovati kao dezinficijent, a ostatak kao rezidualni klor. Kada je u pitanju pitka voda vrijeme kontakta je 20 do 60 minuta.

Standardni postupak kloriranja djeluje tako da se potrebna količina klora dodaje vodi za dezinfekcijsko djelovanje. Količina od 0,2 do 0,5 mg/l dodaje se u bistru i nezagađenu vodu. Za vode poslije postupka kondicioniranja uobičajna količina klora iznosi 0,5 do 2,0 mg/l slobodnog klora.

Kod postupka prekloriranje-dekloriranje dodaje se poprilično veća količina od one koja je zapravo potrebna za baktericidno djelovanje – približno 1,5 – 10,0 mg/l. Količine slobodnog klora u vodi poprilično su veće od propisanih pa se višak slobodnog klora uklanja dekloriranjem. Prekloriranje se primjenjuje kada voda sadrži veće količine organskih tvari i kada se pokušava suzbiti okus i miris. Dekloriranje se obavlja filtracijom – aktivnim ugljenom i različitim kemijskim sredstvima.

U odnosu na opterećenje stranom tvari prikazan je proces klorinacije za razne vrste voda tzv. postupak kritične točke (“breakpoint”) (slika 7.). Kritična točka je obrok klora koji obilježava minimum krivulje. Vode siromašne organskom tvari nemaju kritičnu točku (“breakpoint”).



Slika 7. Shematski prikaz procesa kloriranja za razne vrste voda

Legenda:

Krivulja 1- Prikazuje zakon potrebe kisika za čistu vodu, potreba klora jednaka je 0.

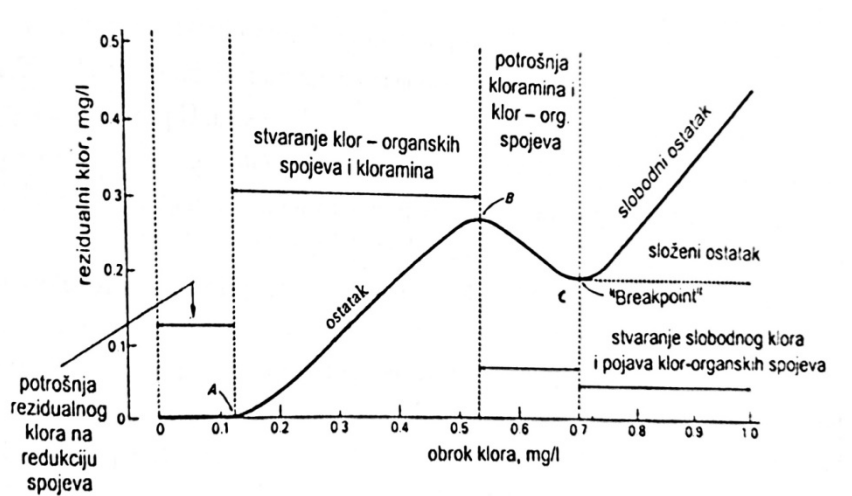
Krivulja 2- Voda bez organske tvari nema kritične točke (“breakpoint”).

Krivulja 3- Kritična se točka (“breakpoint”) nazire zato što voda sadrži organske tvari i amonijak ali u manjim količinama.

Krivulja 4- Kritična točka je izrazita zbog toga što voda sadrži amonijak i organske tvari

Kritična točka ili “breakpoint” je obrok klora koji označava minimum krivulje.

Siromašnije vode bez puno organskih tvari nemaju breakpoint.



Slika 8. Shematski prikaz tijeka procesa klorinacije

Na slici 8. prikazana je krivulja koja se dobije kada se u vodu koja sadrži amonijak dodaje klor, poslije svakog dodavanja određuje se sadržaj rezidualnog klora. Tvari koje djeluju sa klorom u vodi su organske tvari, Fe, Mn i  $H_2S$  reduciraju ga na klorion (točka A). Kad su završene sve potrebe klora, klor djeluje sa amonijakom i nastavlja u područje između točke A i točke B te tako nastaju kloramini i klor-organski spojevi. Nakon toga se događa uništenje klor-organskih organizama i kloramina i stvara se vezni rezidualni klor. Oblik krivulje je posljedica reagiranja klora i amonijaka. Točka C je prijelaz između dva stanja tzv. kritična točka, to je točka u kojoj se počinje javljati slobodni klor. Nakon kritične točke dodavanje klora održava se u direktno proporcionalnom rastu slobodno raspoloživog

kloru, čime je dezinfekcija uspješna. Kloriranje do točke prekida se izvodi zbog efikasne dezinfekcije vode [5].

Potrebna količina od 0,5 do 2,0 mg/l slobodnog kloru primjenjuje se za kondicioniranje vode. Ako su u pitanju površinske vode potrebna koncentracija je između 6 do 8 mg/l. U većini slučajeva koristi se voda koja sadrži koncentraciju od 50 mg/l kloru bez ikakvih posljedica, ali u kratkom vremenskom periodu. Okus kloru skoro je neprimjetan kad su koncentracije kloru manje od 2 mg/l. Okus se obično javlja kada klor djeluje u vodi s različitim sastojcima. Voda koja se zadržava u cijevima poprima neugodan okus. Ako se monitoringom ustanovi da voda nije zdravstveno ispravna, pravna osoba po "Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće" (NN 47/2008) na prijedlog zavoda za javno zdravstvo mora prekinuti isporuku ili ograničiti isporuku vode, obavijestiti potrošače i dati odgovarajuće preporuke, istražiti uzrok, provesti hitne mjere za uklanjanje uzroka zdravstvene neispravnosti, obavijestiti stručno povjerenstvo i nadležnu sanitarnu inspekciju odmah po saznanju, a najkasnije u roku od 24 sata. Stručno povjerenstvo, uzimajući u obzir stupanj prekoračenja MDK pojedinih pokazatelja predložit će mjere i procjenu ugroženosti zdravlja ljudi [5] [18].

Svaka dezinfekcija vode klorom u bilo kojem obliku mora biti pod trajnom kontrolom. Sve dezinfekcije i neutralizacije hiperklorirane vode provode se pod nadzorom odgovorne osobe za rad s kemikalijama. Sredstvo za dezinfekciju mora imati certifikat za kontakt s vodom za ljudsku potrošnju, može se koristiti samo od strane educiranih osoba sukladno propisanom Zakonu o kemikalijama (NN 18/2013), a prilikom upotrebe klorom i klornim spojevima dužni su koristiti zaštitnu opremu. Kontrola procesa dezinfekcije vode uključuje kontrolu aktivnosti klornih pripravaka, bakteriološku pretragu vode, te laboratorijsku i pogonsku kontrolu rezidualnog kloru [19].

## 5. OPASNOSTI KLORA I KLORNIH SPOJEVA PRI SKLADIŠTENJU

Klor se u tekućem obliku pod određenim tlakom uskladištava u čeličnim bocama ili u čeličnim bačvama. Isporučuje se u čeličnim bocama u količinama 33,61 ili 71 kg, a u bačvama 864 ili 966 kg, ili prema normama određenih zemalja. Tekući klor je otrovniji od plinskog klora. 1 kg tekućeg klora pri temperaturi od 0°C i tlaku od 1 bar razvija 315 l plinovitog klora. Tekućina zauzima 95% obujma boce, a preostalih 5% ispunjava plin. Pri temperature od 15°C i tlaku od 2 bara iz većina boca klor se upotrebljava u obliku plina, i to uz obrok od 1,0 do 1,5 kg/h za bačve. U slučaju velike potrošnje pri temperaturi od 5°C do 30°C klor je u spremnicima uskladišten u tekućem stanju pod tlakom 4 do 8 bara. Spremnici plinskog klora skladište se u posebno građenim objektima u odnosu na zračenje, sigurnost i temperature. Temperaturu je potrebno održavati iznad 10°C, a dostatno zračenje osigurava deset izmjena tijekom jednog sata. U prostoriju gdje se koristi klor ugrađuju se detektori osjetljivosti 0,5 ml/m<sup>3</sup> [5].

Izvori opasnosti pri skladištenju plinovitog klora su neispravnost ventila i britvi na ventilima čeličnih spremnika, nezaštićenost ventila na čeličnim kapama na bocama pod tlakom, skladištenje zapaljivih tvari i materijala u spremnicima s klorom, neosiguravanje boca od prevrtanja, oštećenja prilikom pada, neodvajanje punih i praznih boca/spremnika klora, neispravnost električnih instalacija, neosiguravanje ulaza neovlaštenim osobama u prostorije sa bocama klora. Također postoji opasnost od eksplozije zbog povećane temperature stijenke posude prouzrokovane korozijom, dok organske tvari s klorom reagiraju također eksplozivno [8].

Posebni uvjeti pri skladištenju plinskog klora su: potrebno je postaviti nadzorni sustav, postaviti protuprovalni alarm, automatska vrata koja se sama zatvaraju, potrebno je imati procjenu rizika u slučaju nesreće, također mora biti postavljen uređaj za neutralizaciju (neutralizator), skladišta moraju imati odobrenja od Ministarstva zdravlja (slika 9.) [10].



Slika 9. Skladištenje plinskog klora

**Natrijev hipoklorit** ( $\text{NaOCl}$ ) skladišti se u originalnom spremniku izvan dohvata sunčeve svjetlosti. Uslijed dugotrajnije izloženosti svjetlu može doći do raspadanja. Skladišti se odvojeno od hrane, pića i stočne hrane. Preporučena temperatura skladištenja je  $15\text{-}25^{\circ}\text{C}$ , spremnik ne smije biti hermetički zatvoren. Tijekom skladištenja  $\text{NaOCl}$  potrebno je nositi odgovarajuću zaštitnu opremu. Potrebno je nositi zaštitne naočale s bočnom zaštitom, nositi zaštitu za lice, nositi odgovarajuće zaštitne rukavice. Prikladne su rukavice za zaštitu od kemikalija ispitane prema EN 374. Natrijev hipoklorit uzrokuje teške opekline kože i ozljede oka, uzrokuje rane koje teško zarastaju. Pri udisanju natrijevim hipokloritom dolazi do kašljanja i otežanim disanjem [21].

**Klor dioksid** ( $\text{ClO}_2$ ) se skladišti na dobro prozračenom mjestu, drži se u zaključanoj ili zatvorenoj prostoriji dostupnoj samo kvalificiranim ili ovlaštenim osobama. Zaštitna odjeća je specifična za svako radno mjesto, ovisno o koncentracijama i količini opasnih tvari kojima se rukuje. Prilikom rada sa  $\text{ClO}_2$  potrebno je nositi zaštitu za lice i ne udisati mješavinu. Nakon rada promijeniti kontaminiranu odjeću, primjeniti zaštitnu kremu za kožu, oprati ruke i lice nakon rada sa  $\text{ClO}_2$ . Klor dioksid uzrokuje pad temperature, uznemirenost, grčeve, probavne smetnje, mučninu i iscrpljenost [22].

Tablica 2. Sigurnosno-tehnički list klora prema uredbi (EZ-a) 1907/2006 [9]

<b>RUKOVANJE I SKLADIŠTENJE</b>	
<b>Mjere zaštite</b>	
Mjere za sprječavanje požara	Spriječiti moguće oštećenje ambalaže, te ukloniti moguće izvore paljenja.
Ostale mjere	Osposobiti osoblje za sigurno rukovanje s kemikalijom. Rukovati oprezno. Upotrebljavati osobna zaštitna sredstva.
<b>Savjet o općoj higijeni na radnom mjestu</b>	
Brinuti za čistu radnu okolinu. Za vrijeme rada ne piti, jesti i ne pušiti. Po završetku rada se umiti, preobučiti i oprati kontaminiranu odjeću.	
<b>Uvjeti sigurnog skladištenja, uzimajući u obzir moguće inkompatibilnosti</b>	
Tehničke mjere i uvjeti skladištenja	U zatvorenoj originalnoj ambalaži hladnom prostoru, zaštićenom od direktnog udara sunca. Maksimalna količina punjenje spremnika je 80% volumena. Boce ili spremnici moraju biti zaštićeni od otvorenog plamena, visoke temperature, vlage i pada. Osigurati prozračivanje.
Materijali za spremnike	Boce i spremnici moraju biti od prikladnog materijala otpornog na kemikaliju.
Zahtjevi za skladišni prostor i spremnike	Osigurati detekciju i neutralizaciju nekontrolirano ispuštenog klora.
Ostali podaci o uvjetima skladištenja	Ne smije se zajedno skladištiti s gorivim tvarima (masti, acetilen), dušikovim spojevima (amonijak, amonijeve soli, amini), vodik, metali (titan, aluminij).
<b>Posebna krajnja uporaba ili uporabe</b>	
Preporuke:	Koristiti samo opremu koja je predviđena za ovu kemikaliju.



## 5.1. Utjecaj klora i klornih spojeva na organizam

Klor može biti toksičan ne samo za mikroorganizme nego i za ljude. Tekući klor uzrokuje jaku iritaciju kože i stvara mjehuriće na koži. Plin klora ima zagušljiv, oštar miris koji nadražuje nos i grlo, izaziva kašalj. Osobe koje su izložene određenim koncentracijama klora postaju nemirni, razvijaju upalu grla i pretjerano izlučuju slinu. Koncentracija od 40-60 ppm opasna je za život čak i pri kratkotrajnom udisanju. Učinci na tijelo su prikazani u tablici 3. [7]. Otrovan je ako se udiše, a dodir s kožom i očima uzrokuje teške opekline. Koncentracija od 15 ppm i vrijeme izloženosti od 5 minuta nadražuje oči, nos i dišni sustav, a 1000 ppm klora u zraku brzo postaje smrtonosno [1].

Tablica 3. Fiziološki učinci klora

1	Minimalna koncentracija koja uzrokuje blage simptome nakon par sati
3,5	Minimalna koncentracija koja se otkriva mirisom
4	Maksimalna koncentracija koja se udiše 1 sat bez oštećenja
15	Minimalna koncentracija koja uzrokuje iritaciju grla
30	Minimalna koncentracija koja uzrokuje kašalj
40-60	Koncentracija opasna unutar 30 minuta
1000	Koncentracija koja je smrtonosna nakon par dubokih udisaja

Veliku pažnju treba posvetiti zaštiti od mogućeg trovanja klorom. Zbog toga se na klornim stanicama postavljaju jasna upozorenja [8].

Tablica 4. Sigurnosno-tehnički list klora prema uredbi (EZ-a) br. 1907/2006 [9]

<b>Toksikološke informacije</b>				
<b>Akutna toksičnost:</b>				
Put unosa	Metoda	Organizam	Doza LD <sub>50</sub> /LC <sub>50</sub>	Vrijeme
Udisanje		Štakor/Čovjek	293 ppm/500 ppm	1 h/5 min
<b>Simptomi:</b>				
Dodir s kožom:	Crvenilo kože, žarenje, pojava opekлина			
Udisanje:	Kašalj, otežano disanje, osjećaj boli u predjelu gornjih dišnih puteva			
Dodir s očima:	Crvenilo, suženje, bol i nadraživanje očiju			
<b>Navod o slučaju potrebe za hitnom liječničkom pomoći i posebnom obradom</b>				
Edem pluća može se razviti i do 48h kasnije te je ozlijeđenog potrebno zadržati na medicinskom promatranju.				

## **5.2. Osobna zaštitna sredstva pri radu sa klorom i klornim spojevima**

Svrha osobne zaštitne opreme (OZO) je omogućiti zaposlenicima rad u okolišu u kojem oni, bez zaštite koju pruža osobna zaštitna oprema ne bi mogli normalno raditi, a da pritom ne budu ugroženi njihovo zdravlje ili život. Osobna zaštitna oprema također ima svrhu zaštititi zaposlenika od slučajnog ili neočekivanog izlaganja opasnosti pri opasnim situacijama.

Odjeća za zaštitu od kemijskih opasnosti proizvodi se u obliku zaštitnih odijela za zaštitu od opasnih kemikalija u plinovitom, tekućem i krutom obliku. Ovisno o vrsti uporabe i okolišu u kojem se koristi zaštitna odjeća od kemijskih opasnosti, mora biti izrađena od visokokvalitetnih materijala kako bi radnici mogli raditi u potpunoj sigurnosti. Danas se za izradu zaštitne odjeće od štetnih plinova, tekućina ili krutih kemikalija koriste

poliamidi, butilne gume, vitoni, polyester i drugi materijali visoke kemijske otpornosti i mogućih nuspojava otpornosti na vatru [11].

Tablica 5. Sigurnosno-tehnički list klora prema uredbi (EZ-a) br. 1907/2006 [9]

Osobne mjere zaštite, osobna zaštitna sredstva	
Zaštita očiju/lica: Uključena u zaštitu dišnih organa	
Zaštita kože: Zaštitna odjeća dugih rukava i nogavica HRN EN ISO 13688	
Zaštita ruku:	Zaštitne rukavice od butilne gume ili neoprena HRN EN 374
Zaštita ostalih dijelova tijela:	Zaštitna odjeća dugih rukava i nogavica HRN EN ISO 13688
Zaštita dišnog sustava:	Zaštitna cjeloobrazna maska- s filtrom za zaštitu od anorganskih plinova-filtar B HRN EN 14387



Slika 10. Zaštitna maska s filtrom

Zaštitnim sredstvima na bazi filtracije smatraju se sva sredstva koja obavljaju pročišćavanje okolnog zraka uz pomoć filtra. Zaštitna maska s filtrom za zaštitu od opasnih plinova i para upotrebljava se kada je u radnim prostorima poznato da je koncentracija onečišćenja zraka manja od 1% vol, a istovremeno koncentracija kisika nije manja od 17%.



Slika 11. Zaštitne rukavice od butilne gume

Kemijska otpornost rukavica ovisi o više čimbenika kao što je temperature, vrsta kemikalija, koncentracija i duljina izlaganja kemikaliji. Pri radu sa jakim kiselinama koriste se zaštitne rukavice od butilne gume [13].



Slika 12. Zaštitno odijelo dugih rukava i nogavica

Odjelo koje se primjenjuje za zaštitu od kemijskih opasnosti mora biti izrađeno od visokokvalitetnog materijala. Za izradu odijela za zaštitu od štetnih plinovitih, tekućih ili kemikalija u čvrstom stanju upotrebljavaju se materijali kao što su poliamidi, butili, vitoni, poliesteri i drugi materijali koji odlikuju otpornošću. Odijela moraju zadovoljiti otpornost na abraziju, pucanje pri savijanju, trganje, vlačna čvrstoća, probijanje, permeaciju za tekućine, zapaljenje i plamen [14].



Slika 13. Zaštitne kemijske nadčizme

Prije svake uporabe osoba koja oblači kemijsko zaštitno odijelo mora izvršiti vizualnu kontrolu prema uputama proizvođača s naznakom na što treba obratiti pažnju prilikom provođenja vizualnog pregleda. Pri oblačenju i skidanju kemijskog zašitnog odijela potrebno je osigurati osobu koja će pomoći pri manevriranju sa odijelom ili ukoliko to nije moguće nužno je osigurati stolicu [11].

## 6. ZAKLJUČAK

Za dezinfekciju vode se upotrebljavaju toplinske, kemijske-fizikalne metode dezinfekcije. Kemijska sredstva koja se upotrebljavaju za dezinfekciju vode su klor i klorini spojevi (hipoklorit, klor dioksid, kloramin), ozon, srebro i jod. Koncentracija aktivnog klora u natrijevom hipokloritu je 10-15%, klor dioksidu 2% te je u kloraminima koncentracija najveća i iznosi 25%. Dezinfekcija vode se također obavlja i fizikalnim postupcima kao što je toplina, ultravioletno zračenje i ultrazvukom. Budućnost dezinfekcije vode leži u kombinaciji kemijsko-fizikalnih metoda

Klor i njegovi spojevi ubijaju bakterije brže ili polaganije, ovisno o obliku klora – plinoviti klor ubija bakterije najbrže, pa hipoklorit, a kloramin djeluje najsporije. Fizički čimbenici kao što su: temperatura vode, pH, mutnoća vode, vrijeme kontakta imaju velik utjecaj na učinak klora u vodi. Temperature između 20°C i 2°C imaju značajnu razliku u količini uništavanja bakterija u vodi. Što je temperatura niža to je manja mogućnost uništavanja bakterija. Što je pH vode niži to je veći učinak djelovanja klora u vodi.

Razlikujemo sljedeće postupke kloriranja, s obzirom na tehnologiju: standardni postupak, prekloriranje–dekloriranje, postupak kritične točke (“breakpoint”), frakcionarno kloriranje. Svaka dezinfekcija vode klorom u bilo kojem obliku mora biti pod trajnom kontrolom.

Osobna zaštitna oprema ima svrhu zaštititi zaposlenika od slučajnog ili neočekivanog izlaganja opasnosti pri opasnim situacijama. Odjeća za zaštitu od kemijskih opasnosti proizvodi se u obliku zaštitnih odijela za zaštitu od opasnih kemikalija u plinovitom, tekućem i krutom obliku. Zaštitna odjeća od kemijskih opasnosti, mora biti izrađena od visoko kvalitetnih materijala kako bi radnici mogli raditi u potpunoj sigurnosti. Na klorinim stanicama obvezna su jasna upozorenja opasnosti.

## 7. LITERATURA

- [1] Periodni sustav elemenata, <https://www.periodni.com/hr/cl.html>, pristupljeno: 01.05.2022.
- [2] Filipović I, Lipanović S.: “Opća i anorganska kemija II. dio”, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb (1995.), pristupljeno: 02.05.2022.
- [3] Karakteristična i fizikalna svojstva klora, <https://hr.unansea.com/klor-karakteristican-kemijska-i-fizikalna-svojstva/>, pristupljeno 02.05.2022.
- [4] Elektrolizni članci, <https://cutt.ly/eKJ6zf7>, pristupljeno 05.05.2022.
- [5] Gulić I.: “Kondicioniranje vode”, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb (2003), ISBN 953-6686-07-4, pristupljeno 10.05.2022.
- [6] Pradyot P.: “Handbook of Inorganic Chemicals”, United States of America (2002.), ISBN 0-07-049439-8, pristupljeno 13.05.2022.
- [7] Carson P, Mumford C.: “Hazardous Chemicals Handbook”, Oxford (2002.), ISBN 0 7506-4888-0, pristupljeno 15.05.2022.
- [8] Tušar B.: “Pročišćavanje otpadnih voda” Zagreb (2009.), ISBN 978-953-6970-65-0, pristupljeno 23.05.2022.
- [9] Sigurnosno-tehnički list prema uredbi (EZ-a) 1907/2006, [https://gesta.hr/download/STL\\_Klor\\_3\\_izdanje.pdf](https://gesta.hr/download/STL_Klor_3_izdanje.pdf), pristupljeno 24.05.2022.
- [10] Savijeti privrednicima, posebni uvjeti.: <https://www.hzt.hr/savijeti-privrednicima.html>, pristupljeno 24.05.2022.
- [11] Horvat J., Regent A.: “Osobna zaštitna oprema”, Veleučilište u Rijeci, Rijeka (2009.), ISBN 978-953-6911-43-1, pristupljeno 01.06.2022.
- [12] Zaštitne naprave za disanje, HRN EN 132:2004.: pristupljeno 20.06.2022.

- [13] Osobna zaštitna sredstva za zaštitu ruku, HRN EN 374-3:2003.: pristupljeno 21.06.2022.
- [14] Zaštitno odijelo, HRN EN 943-1:2002.: pristupljeno 21.06.2022.
- [15] Klor, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=31978>, pristupljeno 06.07.2022.
- [16] Narodne novine, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007\\_04\\_35\\_1117.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_04_35_1117.html), pristupljeno 11.07.2022.
- [17] Koagulacija i flokulacija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Flokulacija>, pristupljeno 12.07.2022.
- [18] Narodne novine, [https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004\\_12\\_182\\_3147.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004_12_182_3147.html), pristupljeno 20.08.2022.
- [19] Narodne novine, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_02\\_18\\_294.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_02_18_294.html), pristupljeno 20.08.2022.
- [20] Valić F.: “Zdravstvena ekologija”, Medicinska naklada, Zagreb (2001.), ISBN 95-176-138-8, pristupljeno 07.09.2022.
- [21] Sigurnosno-tehnički list prema uredbi (EZ-a) 1907/2006, Natrijev hipoklorit, pristupljeno 07.09.2022.
- [22] Sigurnosno-tehnički list prema uredbi (EZ-a) 1907/2006, Klor dioksid, pristupljeno 07.09.2022.
- [23] Tehnička enciklopedija, <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/klor.pdf>, pristupljeno 10.09.2022.
- [24] Omerdić N.: Stručni prikaz: Kloriranje vode, <https://hrcak.srce.hr/file/380104>, pristupljeno 10.09.2022.



## 8. POPIS PRILOGA

### 8.1. Popis slika

Slika 1. Uzorak klora .....	2
Slika 2. Prikaz elektrolize otopine natrij-klorida membranskim postupkom .....	6
Slika 3. Uređaj za dezinfekciju ultravioletnim zračenjem.....	10
Slika 4. Uređaj za dezinfekciju vode klor dioksidom (ClO <sub>2</sub> ).....	13
Slika 5. Uređaj za dezinfekciju natrijevim hipokloritom .....	14
Slika 6. Ovisnost učinkovitosti dezinfekcije klorom o pH vrijednosti.....	16
Slika 7. Shematski prikaz procesa kloriranja za razne vrste voda.....	18
Slika 8. Shematski prikaz tijeka procesa klorinacije .....	19
Slika 9. Skladištenje plinskog klora .....	22
Slika 10. Zaštitna maska s filtrom .....	26
Slika 11. Zaštitne rukavice od butilne gume .....	27
Slika 12. Zaštitno odijelo dugih rukava i nogavica .....	27
Slika 13. Zaštitne kemijske nadčizme .....	28

### 8.2. Popis tablica

Tablica 1. Fizikalna svojstva klora pri određenim temperaturama .....	3
Tablica 2. Sigurnosno-tehnički list klora prema uredbi (EZ-a) 1907/2006 [9] .....	23
Tablica 3. Fiziološki učinci klora .....	24
Tablica 4. Sigurnosno-tehnički list klora prema uredbi (EZ-a) br. 1907/2006 [9]...	25
Tablica 5. Sigurnosno-tehnički list klora prema uredbi (EZ-a) br. 1907/2006 [9]...	26