

Talousveden klooraus

Vesilaitosyhdistyksen
julkaisusarja nro 59

Helsinki 2014



Vesilaitosyhdistys
Aleksanterinkatu 44, 00100 Helsinki
sähköposti: vvy@vvy.fi
kotisivu <http://www.vvy.fi>

ISSN-L 2242-7317
ISSN 2242-7317

ISBN 978-952-6697-99-4 (nid.)
ISBN 978-952-7545-22-5 (pdf-versio)

Painopaikka Helsinki 2014
2. painos

KUVAILULEHTI			
Julkaisija	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
Tekijät	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
Julkaisun nimi	Talousveden klooraus		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 59		
Julkaisun teema			
Saatavuus	Julkaisu on saatavilla Vesilaitosyhdistyksen verkkokaupasta.		
Tiivistelmä	Vesilaitosyhdistys (VVY) julkaisi Talousveden klooraus -oppaan vuonna 2006. Vesilaitoksille lainsäädännön kautta odotettu velvoite desinfiointivalmiuteen ja väliaikaisen kloorauksen toteutuksen haasteet käytännön tilanteissa ovat tuoneet esiin tarpeen opastaa tarkemmin väliaikaisesti toteutettavaa kloorausta. Tähän tarpeeseen vastaamiseksi Talousveden klooraus -opas päivitettiin vuonna 2013. Oikein käytettynä klooraus on turvallinen ja varma tapa turvata talousveden mikrobiologinen laatu. Klooraus on myös ainoa talousveden desinfiointikeino, jolla pystytään turvaamaan veden laatua myös käsittelyn jälkeen verkostossa. Vaikka klooria ei normaalisti käytettäisikään talousveden laadun viimeistelyssä, pitää vesilaitoksella olla valmius aloittaa kloorin syöttö tarvittaessa hyvinkin nopeasti. Kloorin turvallinen käyttö edellyttää sen käyttäjiltä tietoa kemikaaleista ja kloorauksen toteutuksesta. Talousveden klooraus –oppaassa on perustiedot kloorikemikaaleista, klooraukseen vaikuttavista tekijöistä, kloorauksen suorittamisesta eri kemikaaleilla sekä jatkuvatoimisesti että väliaikaisesti. Oppaassa on huomioitu kloorikemikaalien käyttöön liittyvät turvallisuusnäkökohdat. Opas on tarkoitettu tukemaan käytännön työtä vesilaitoksilla ja siinä on annettu konkreettisia esimerkkejä kloorin käyttöön liittyvistä annostuksista ja laskelmista. Oppaan sisältöä on päivityksen yhteydessä tarkennettu kauttaaltaan. Erityisesti on lisätty tietoa väliaikaisen kloorauksen toteutuksesta verkostossa, vesisäiliöissä, kalkkikivisuodattimissa ja kaivoissa. Oppaan liitteistä löytyy uudistettuja laskukaavoja ja esimerkkejä sekä tietoa kloorikemikaaleista.		
Avainsanat			
Rahoittaja/toimeksiantaja	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
	ISBN (nid.) 978-952-6697-99-4 ISBN (pdf) 978-952-7545-22-5		ISSN 2242-7317 2.painos
	Sivuja 61	Kieli suomi	luottamuksellisuus julkinen
Julkaisun jakelu	Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi		
Painopaikka ja -aika	Copy-Set Oy, Helsinki 2014		

BESKRIVNINGSBLAG			
Publicerat av	Finlands Vattenverksförening r.f.		
Författare	Finlands Vattenverksförening r.f.		
Publikationens titel	Klorering av hushållsvatten		
Publikationsseriens titel och nummer	Vattenverksföreningens publikationsserie nr 59		
Publikationens tema			
Tillgänglighet	Publikationen kan beställas från Vattenverksföreningen		
Sammanfattning	Vattenverksföreningen (VVY) publicerade 2006 en handbok i klorering av hushållsvatten. Förpliktelsen ifråga om beredskap för desinficering som genom lagstiftningen förväntas av vattenverken och utmaningarna kring genomförande av tillfällig klorering i praktiska situationer har lyft fram behovet att ge närmare vägledning om tillfälligt utförd klorning. För uppfyllande av behovet uppdaterades handboken i klorering av hushållsvatten 2013. Vid korrekt användning är klorering en trygg och säker metod för tryggnad av hushållsvattnets mikrobiologiska kvalitet. Klorering är den enda desinficeringsmetoden med vilken vattnets kvalitet kan tryggas efter behandling i vattenledningsnät. Även om klor normalt inte skulle användas vid slutbehandlingen för hushållsvattnets kvalitet ska vattenverken ha beredskap för inmatning av klor mycket snabbt vid behov. Trygg användning av klorering kräver att personer som använder den har kunskaper om kemikalier och hur klorering utförs. Handboken i klorering av hushållsvatten innehåller grundläggande information om klorkemikalier, faktorer som påverkar klorering och hur klorering med olika kemikalier såväl kontinuerligt som tillfälligt utförs. Säkerhetssynpunkterna på användning av klorkemikalier beaktas i handboken. Handboken är avsedd att stödja det praktiska arbetet vid vattenverken och den innehåller konkreta exempel på doseringar och kalkyler i anknytning till användning av klor. I samband med uppdateringen har innehållet i handboken helt igenom preciserats. Informationen har i synnerhet utökats vad gäller verkställande av tillfällig klorering av vattenledningsnät, vattenbehållare, kalkstensfilter och brunnar. Bilagorna till handboken innehåller förnyade beräkningsformler och exempel samt information om klorkemikalier		
Nyckelord			
Finansiär/uppdragsgivare	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	ISBN (inbunden) 978-952 6697-99-4 ISBN (pdf) 978-952-7545-22-5		ISSN 2242-7317 2. uppl.
	Sidantal 61	Språk finska	Konfidentialitet offentlig
Distribution av publikationen	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		
Tryckort och tidpunkt för tryck	Copy-Set Oy, Helsingfors 2014		

Esipuhe

Veden kloorauksella on säästetty vuosikymmenien saatossa miljoonien ihmisten henki. Oikein käytettynä klooraus on turvallinen ja varma tapa tuhota esimerkiksi ripulia aiheuttavat kampylobakteerit vedestä. Vaikka klooria ei normaalisti käytettäisikään talousveden laadun viimeistelyssä, tulisi vesilaitoksella olla valmius aloittaa kloorin syöttö tarvittaessa hyvinkin nopeasti. Tilanteessa, jossa epäillään veden saastuneen mikrobiologisesti, veden kloorauksen nopealla aloittamisella voidaan vähentää tehokkaasti sairastuneiden määrää.

Oikein käytettynä kloori turvaa veden laatua. Kloorin käyttöön liittyy kuitenkin riskejä, joiden vuoksi käyttäjien tulee hallita sen käyttö. Pelkästään kloorin syöttöliuoksen teko ja annoksen laskeminen ovat tehtäviä, joihin kokeneetkin vesihuollon ammattilaiset tarvitsevat apua. Tämä opas toimii käsikirjana kloorausta vesilaitoksilla käytännössä toteuttaville. Erityisesti se on suunnattu vesilaitosten käyttöhenkilökunnalle sekä verkoston kloorauksen parissa työskenteleville.

Alkuperäisen oppaan ovat laatineet Eija Isomäki ja Matti Valve Suomen ympäristökeskuksesta yhteistyössä useiden organisaatioiden kanssa. Arvokkaita parannusehdotuksia antoivat erityisesti Irina Nordman, Turun vesilaitos; Ilkka Miettinen, KTL; Tapio Hyttinen, Taivassalon vesilaitos sekä Timo Pekko ja Marita Honkasalo, Hyvinkään vesilaitos.

VVY:n Talousveden klooraus-opas päivitettiin vuonna 2013. Sisältöä on päivityksen yhteydessä tarkennettu kauttaaltaan ja erityisesti lisättiin ohjeistusta erityistilanteiden väliaikaisen kloorauksen suorittamiseen. Oppaan päivitti FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy vastuuhenkilönään Elina Antila. Päivitystyötä ohjasi työryhmä, johon kuuluivat Tapio Helenius (Keravan kaupunki), Tapio Lankinen (Vihdin Vesi), Markku Lehtola (Kuopion Vesi), Juha Lemmetyinen (Joensuun Vesi), Riina Liikanen (Vesilaitosyhdistys), Ilkka Miettinen (Terveysten- ja hyvinvoinninlaitos), Jari Mäntylä (Seinäjoen vesi), Timo Ranta-Pere (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä), Jarkko Rapala (Sosiaali- ja terveysministeriö), Sami Sillstén (Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut Kuntayhtymä), Tapio Tolvanen (Verlatek Oy) ja Emmi-Maria Ukko (Kymenlaakson Vesi) ja Veli-Pekka Vuorilehto (Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut Kuntayhtymä).

Vesilaitosyhdistys kiittää kaikkia oppaan tekemiseen ja sen päivittämiseen osallistuneita heidän aktiivisesta panostuksestaan.

Helsingissä 24.1.2014

Vesilaitosyhdistys

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Klooriyhdisteet	5
2.1	Hypokloriitit	5
2.1.1	Natriumhypokloriitti	5
2.1.2	Kalsiumhypokloriitti	7
2.2	Klooriamiinit	7
2.3	Klooridioksidi	8
2.4	Kloorikaasu	9
2.5	Kloorauskemikaalien vertailu	10
2.6	Dekloorauskemikaalit	11
3	Kloorin määrittäminen	12
3.1	Sähköinen eli amperometrinen mittaus	13
3.2	Väriin perustuva mittaus	13
3.3	Kloorin annostuksen tarkistaminen	13
4	Kloorauksen tehokkuus ja siihen vaikuttavat tekijät	14
4.1	CT- arvo: pitoisuus ja viipymä	14
4.2	pH	15
4.3	Lämpötila	16
4.4	Vedenlaatu	16
4.5	Käsiteltävä mikrobi	17
4.6	Vesijohtoverkosto	17
5	Kloorauksen suorittaminen	18
5.1	Jatkuva klooraus	18
5.1.1	Klooraus natriumhypokloriitilla	18
5.1.2	Klooriamiiniklooraus	20
5.1.3	Klooraus klooridioksidilla	20
5.1.4	Klooraus kloorikaasulla	21
5.2	Ajoittainen klooraus	23
5.2.1	Varautuminen klooraukseen	23
5.2.2	Vesijohtoverkoston klooraus	24
5.2.3	Ala- ja ylävesisäiliöiden klooraus	27
5.2.4	Kalkkikivisuodattimien klooraus	28
5.2.5	Kaivon pesuklooraus	29
5.3	Kloorin annostelun säätäminen	29
6	Kloorauslaitteiden ylläpito	31
6.1	Hypokloriittilaitteisto	31
6.2	Kloorikaasujärjestelmät	31
7	Käyttöturvallisuus ja työsuojelu	33
7.1	Ensiapu	34
8	Kirjallisuutta	35
9	Liitteet	37

Liite 1. Kloorin reaktiot

Liite 2. Kloorauksen desinfiointiteho

Liite 3. Laskukaavat ja esimerkit

Liite 4. Mittareita ja analysointilaitteita

Liite 5. Kloorin määrittäminen

Liite 6. Sanasto

Liite 7. Kloorauksessa käytettävien kemikaalien luokitus ja merkinnät, terveysvaikutukset, käsittely ja varastointi

1 JOHDANTO

Desinfioinnilla pyritään varmistamaan, ettei vesi sisällä tauteja aiheuttavia mikrobeja. Kloorauksen lisäksi muita desinfiointitapoja ovat UV-säteilytys, otsonointi ja joissakin tapauksissa vetyperoksidikäsitely. Niitä ei tässä oppaassa käsitellä. Vesilaitosyhdistys on julkaissut erillisen oppaan UV-desinfioinnista (opas päivitetty v. 2013).

Kloorauksen käyttöönotto on ollut merkittävin edistysaskel veden hygienian ja sen kautta väestön yleisen terveydentilan parantamiseksi. Klooraus keksittiin noin sata vuotta sitten ja se on yleisin tapa desinfioida vettä. Klooraus on yksinkertaista ja edullista toteuttaa

Klooraus voidaan toteuttaa hypokloriitilla, klooriamiinilla, klooridioksidilla tai kloorikaasulla. Näistä kaksi ensin mainittua ovat tällä hetkellä Suomessa yleisimmin käytettyjä. Klooridioksidin desinfiointiteho on muita parempi, mutta desinfiointi on teknisesti vaativampi toteuttaa kuin natriumhypokloriitin käyttö. Klooriamiiniklooraus on kloorauksen erityismuoto, jota käytetään ylläpitämään veden hygieenisyyttä verkostossa. Kloori, hypokloriittiyhdisteet ja klooridioksidi ovat erittäin tehokkaita bakteerien inaktivoinnissa ja klooridioksidi myös virusten ja alkueläinten tuhoamisessa.

Kloorauksen tehokkuus riippuu annostuksesta, kontaktiajasta, veden pH-arvosta, lämpötilasta ja käsiteltävästä mikrobista sekä eräistä käsiteltävän veden muista ominaisuuksista, joita käsitellään oppaan luvussa 3.

Kloorauksen tarkoituksena on tuhota vedestä taudinaiheuttajamikrobit. Kaikkien niiden määrittäminen on hankalaa, joten tehokkuuden mittana käytetään indikaattoribakteereja (*E.coli* ja koliformiset bakteerit sekä suolistoperäiset enterokokit). Indikaattoreiksi on valittu bakteereja, joita esiintyy aina suolistossa yhdessä taudinaiheuttajien kanssa. Indikaattoribakteereita esiintyy saastuneissa vesissä tauteja aiheuttavia mikrobeja paljon suurempia määriä. Indikaattorien tuhoutuessa myös tautia aiheuttavat bakteerit tuhoutuvat.

Virusten sekä tautia aiheuttavien alkueläinten osalta tilanne on erilainen. Useissa tutkimuksissa on todettu, että tietyt virukset kestävät kloorausta paremmin kuin kloorauksen tehokkuuden mittareina käytetyt indikaattoribakteerit. Myös eräät tautia aiheuttavat alkueläimet ja niiden kystat ovat kestävämpiä kuin indikaattoribakteerit. Alkueläimet, kystat ja virukset saadaan tuhottua vedestä käyttämällä klooria tehokkaampia hapettimia (otsoni, klooridioksidi) tai UV-desinfiointia.

Kloorauksen haittana on haju ja maku sekä kloorin kyky muodostaa orgaanisen aineen (humus) kanssa reagoidessaan orgaanisia klooriyhdisteitä, kuten trihalometaaneja (THM) ja 2,2-diklooripropionihappoa, joka on myös torjunta-aine (Dalaponi). Klooridioksidia käytettäessä ei tätä ongelmaa ole. Trihalometaanit lisäävät veden mutageenisuutta ja suuret THM-pitoisuudet voivat lisätä veden syöpäriskiä. Pintavesissä on runsaasti humusta, joka on poistettava tehokkaasti ennen desinfiointia, jottei desinfioinnin sivutuotteena synny orgaanisia klooriyhdisteitä. Desinfioinnin sivutuotteita ei muodostu merkittävästi, kun kloorataan vähän orgaanista ainesta sisältäviä pohjavesiä tai tehokkaasti esikäsiteltyjä pintavesiä. Talousvedelle on säädetty raja-arvo THM-yhdisteille ja niiden pitoisuutta pitää seurata säännöllisesti verkostovedestä. Kloorauksen sivutuotteena syntyvä 2,2-diklooripropionihappoa tarkastellaan desinfioinnin sivutuotteena eikä siihen sovelleta talousvesiasetuksessa esitettyä torjunta-aineiden raja-arvoa.

Kloorin käytön haittapuolena voidaan pitää myös kloorin käytön riskejä työntekijöille. Kloorin käyttö vaatii erityistä huolellisuutta ja kemikaalityöskentelyn osaamista. Työsuojelun näkökohdat on otettava tarkasti huomioon.

Kloori on talousveden toimituksessa kriittinen kemikaali. Talousvesijärjestelmän mikrobiologisen likaantumisen yhteydessä kloorin avulla voidaan taata turvallinen juomavesi kuluttajille. Esimerkiksi tulvista aiheutuneet raakavesilähteiden, vedenottamoiden tai vesijohtoverkoston likaantumiset voivat luoda tarpeen veden desinfioinnille. Vesihuoltolaitos on vastuussa toimittavansa veden laadusta. Tämä sitoo vesihuoltolaitosta erityistilanteissakin.

Häiriö kemikaalitoimituksissa, esimerkiksi kuljetusalan lakon seurauksena, on otettava huomioon laitoksilla, joilla kloorikemikaaleja käytetään veden desinfiointiin. Kloorikemikaalien hankinta on suunniteltava huolellisesti ja tarvittavat varasuunnitelmat on oltava valmiina, mikäli ongelmia ilmenee. Varastointimääriä ei kuitenkaan ole hyvä kasvattaa turhaan, koska turvallisuusluokitus ja riskit kasvavat varastomäärän myötä. Natriumhypokloriitin klooripitoisuus laskee varastoinnin aikana.

2 KLOORIYHDISTEET

Desinfiointiin käytettävät klooriyhdisteet ovat natrium- ja kalsiumhypokloriitti, klooriamiini, klooridioksidi ja kloorikaasu. Seuraavassa on esitetty kloorikemikaalien ominaisuuksia ja käytössä huomioitavia asioita. Luvuissa 5 ja 7 kerrotaan tarkemmin kemikaalien käytöstä ja turvallisuuteen liittyviä asioita.

Kaikkien vedenkäsittelyssä käytettävien kemikaalien pitää olla SFS-EN talousvesikemikaalistandardien mukaisia tai täyttää vastaavat laatuvaatimukset ja olla käyttötarkoitukseen soveltuvia. Juomaveden desinfiointiin käytettävien kemikaalien pitää jatkossa olla myös syyskuussa 2014 voimaanastuneen EU:n biosidiasetuksen mukaisesti hyväksytyjä.

2.1 HYPOKLORIITIT

Hypokloriitit ovat alikloorihapokkeen suoloja. Ne voivat olla joko nestemäisiä (natriumhypokloriitti) tai kiinteitä (kalsiumhypokloriitti). Hypokloriitit ovat emäksisiä ja näin ollen ne pyrkivät nostamaan veden pH:ta. Erittäin heikosti puskuroituja vesiä lukuunottamatta pH:ta nostava vaikutus on kuitenkin yleensä merkitykseltään vähäinen. Hypokloriitit toimivat desinfioinnissa kemiallisesti samalla tavalla ja yhtä tehokkaasti kuin kloori. Niiden bakteerien desinfiointiteho on hyvä, mutta virusten ja alkueläinten inaktivointi ei ole kovin tehokasta, kuten liitteen 2 taulukoista selviää.

2.1.1 Natriumhypokloriitti

Natriumhypokloriitin kemiallinen merkki on NaClO.

Natriumhypokloriitti toimitetaan vesiliuoksena tai sitä valmistetaan paikanpäällä elektrolyttisesti ruokasuolaliuoksesta. Kaupallisen liuoksena toimitettavan natriumhypokloriitin aktiivisen kloorin pitoisuus on 10, 13 tai 15 %. Liuos on kellertävä, emäksinen (pH 12–14) ja pistävän hajuinen. Se sisältää natriumhypokloriittia, natriumhydroksidia (lipeää) ja usein myös natriumkloridia. Natriumhypokloriitti on hapettava aine. Se syövyttää heikosti metalleja ja liuottaa nahkaa, eräitä muoveja, tekstiilejä, terästä sekä betonia. Natriumhypokloriitti ärsyttää ja syövyttää ihoa, silmiä ja limakalvoja.

Veteen liuotettaessa natriumhypokloriitti hajoaa hypokloriitti-ioniksi ja natriumioniksi. Natriumhypokloriitin reaktiot vedessä on esitetty liitteen 1 reaktioissa 4-5. Natriumhypokloriitti reagoi vastaavasti kuin kloorikaasu, mutta lisäksi se nostaa veden pH:ta ja alkaliuteettia.

Kaupallisen natriumhypokloriittiliuoksen koostumusta on esitetty taulukossa 1. Elektrolyttisesti valmistetun natriumhypokloriitin aktiivisen kloorin pitoisuus on huomattavasti pienempi (klooripitoisuus noin 5-25 g/l riippuen valmistustekniikasta) kuin nestemäisen natriumhypokloriitin ja se nostaa veden pH:ta vähemmän. Elektrolyttisen valmistuksen etuna on se, että ruokasuolaa on helppo varastoida eikä sen laadussa tapahdu muutoksia varastoinnin aikana.

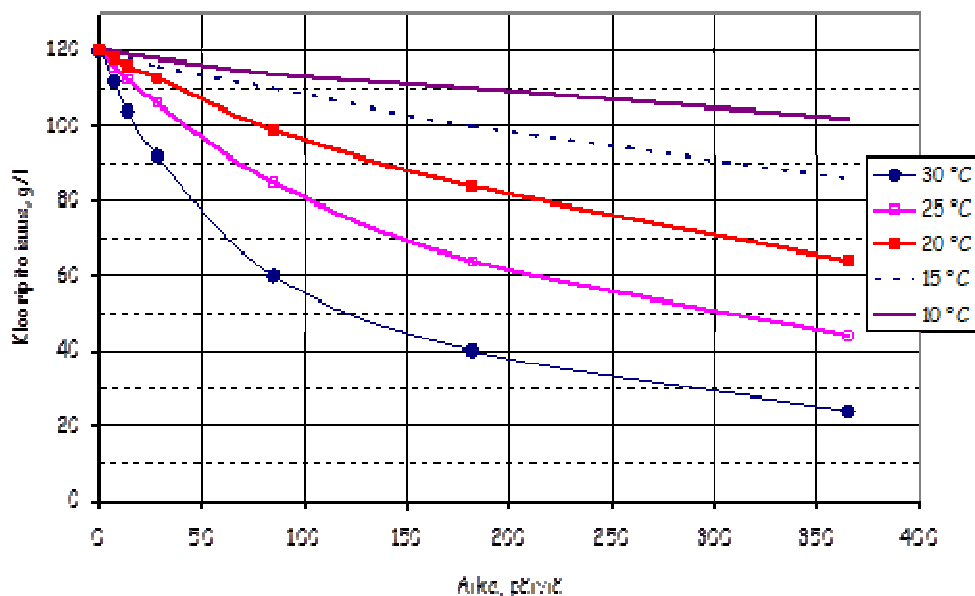
Taulukko 1. Natriumhypokloriitin tyypillinen koostumus (Algol Chemicals Oy)

Liuos	Aktiivista klooria g/l	Natriumhydroksidia g/l	Tiheys, kg/l
10%	115 – 125	10 – 25	1,155 - 1,185
13%	150 – 175	15 – 25	1,230 - 1,260
15%	176 – 187	15 – 30	1,259 - 1,265

Natriumhypokloriitin aktiivisen kloorin määrä vähenee vähitellen. Natriumhypokloriitin pysyvyys heikkenee alle 11 pH:ssa, lämpötilan noustessa ja valon vaikutuksesta. Pysyvyyden parantamiseksi natriumhypokloriittiliuos varastoidaan valolta suojattuna ja mahdollisimman viileässä. Mikäli tuote on oikein varastoitu ja sitä ei ole laimennettu, kloorin pitoisuus laskee n. 20 °C lämpötilassa seuraavasti:

- 10 % liuos – n. 0,5 prosenttiyksikköä/ viikko
- 15 % liuos – n. 0,7 prosenttiyksikköä/ viikko.

5 – 10 °C lämpötilassa kummankin liuoksen pitoisuudet laskevat n. 0,3 prosenttiyksikköä viikossa. Kuvassa 1 on esitetty 10 %-natriumhypokloriitin klooripitoisuuden muutos ajan myötä.



Kuva 1. 10 %-natriumhypokloriittiliuoksen klooripitoisuuden muutos ajan funktiona eri lämpötiloissa.

Natriumhypokloriitti on vettä tiheämpää. Liuoksen tasainen sekoittuminen laimennusveden sekä käsiteltävään veteen pitää varmistaa. Natriumhypokloriitin pysyvyys heikkenee entisestään laimennettuna, etenkin jos liuoksen pH on alle 11 ja laimennusvedessä on epäpuhtauksina esim. rautaa, mangaania, kuparia, nikkeliä tai kobolttia.

Natriumhypokloriitti syövyttää metalleja, joten varasto- ja laimennussäiliöiden pitää olla muovisia. Laimennussäiliöt pitää varustaa vuotojen varalta täyden tilavuuden suojaaltailla.

Natriumhypokloriitti on liuos ja sitä annostellaan veteen kalvo- tai mäntäpumpuilla.

Natriumhypokloriitin annostelu tarkistetaan, kun otetaan käyttöön uusi erä.

Natriumhypokloriittia toimitetaan tällä hetkellä Suomessa säiliöautoilla (10, 15 %), konteissa (10%, 800 ja 920 l, 14 % ja 15 % 1000 kg) ja muovikanistereissa (10 % 30 l). Sitä myyvät vedenkäsittelykemikaaleja välittävät yritykset sekä pieniä määriä apteekit.

Kemikaaliyritysten natriumhypokloriitin toimitusaika on yleensä vähintään 2-3 vuorokautta ja tilauksia voi tehdä ainoastaan arkipäivinä. Sitä ei kannata varastoida enempää kuin 2 – 3 kuukauden tarvetta vastaava määrä.

2.1.2 Kalsiumhypokloriitti

Kalsiumhypokloriitin kemiallinen merkki $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.

Kalsiumhypokloriitti on kiinteä aine ja sitä on saatavilla rakeina ja tabletteina. Tuotteet sisältävät yleensä 60 – 70 % aktiivista klooria. Kalsiumhypokloriittia myyvät mm. vedenkäsittelykemikaaleja välittävät yritykset sekä apteekit.

Kalsiumhypokloriittia ei juuri käytetä vesilaitoksilla, koska se on ensin liuotettava veteen. Sitä käytetään esimerkiksi kaivojen ja yksittäisten vesijohtoputkien klooraukseen. Kalsiumhypokloriitti liukenee erittäin huonosti alle 5 asteiseen veteen. Tabletit ja rakeet on suunniteltu liuotettaviksi hitaasti lämpimähkään veteen sekoittamalla, jolloin saadaan varmistettua klooriliuoksen tasainen klooripitoisuus ja pitoisuuden säätäminen onnistuu mittaamalla. Kalsiumhypokloriittia ei pidä annostella suoraan kaivoon tai putkeen sillä klooripitoisuus ei tällöin ole tasainen, eikä kemikaali todennäköisesti liukene kunnolla.

Veteen liuotettaessa kalsiumhypokloriitti reagoi kuten natriumhypokloriittikin ja reaktiot on esitetty liitteen 1 reaktioissa 4-5.

Kalsiumhypokloriitti on erittäin voimakas hapetin ja se on säilytettävä suljetussa astias-
sa kuivassa, viileässä paikassa. Mikäli se joutuu kosketuksiin orgaanisten yhdisteiden, esimerkiksi öljyisten rätien kanssa, se voi aiheuttaa tulipalon. Myös kalsiumhypokloriitin liuokset ovat syövyttäviä. Näin ollen ne säilytetään ja käsitellään korroosiota sietävissä materiaaleissa, kuten lasi, titaani, keramiikka ja useimmat muovit (ei PVC). Kalsiumhypokloriitin säilytysaika on noin puoli vuotta sen jälkeen, kun astia on avattu. Mikäli se säilytetään "märkinä" eli veteen liuotettuna, sen säilyvyys on erittäin heikko.

2.2 KLOORIAMINIIT

Kemialliset merkit klooriamiineille ovat NH_2Cl , NHCl_2 ja NCl_3 (mono-, di- ja triklooriamiini). Puhekielessä veden desinfioinnissa käytetään yleisesti termiä kloramiini, joka on eri yhdiste, eikä sitä saa käyttää talousveden desinfioinnissa.

Klooriamiineja syntyy kloorin reagoidessa ammoniumin kanssa. Klooriamiineja valmistetaan lisäämällä veteen natriumhypokloriitin tai kloorikaasun lisäksi ammoniakkia tai

ammoniumsuolaa, ellei vedessä ennestään ole ammoniumioneja. Liitteessä 1 on esitetty kloorin reaktiot ammoniumin kanssa (reaktiot10-12).

Klooriamiinikloorauksessa tavoitteena on muodostaa monoklooriamiinia. Tällöin veden kloorin haju on vähäinen ja pysyvyys verkostossa hyvä. Sopiva klooriannostuksen suhde ammoniumtyyppeen on noin 5:1 $\text{Cl}_2:\text{NH}_4\text{-N}$ (katso luku 5.12). Oikealla annostuksella lähes kaikki veden kloori on sidottua monokloramiinia. Klooriamiinikloorauksessa klooriannostuksen kasvaessa ensin tulee mono-, sitten di- ja lopuksi triklooriamiinia. Tämän jälkeen klooriannostuksen vielä kasvaessa amiinit alkavat hajota typpikaasuksi. Täten syötetty ammonium voi hävitä niin, ettei jäljelle jää amiinia.

Klooriamiiniklooraus soveltuu hyvin varmistamaan veden hygieenisyyttä vesijohtoverkostossa. Klooriamiinit eivät ole yhtä tehokkaita desinfiointiteholtaan kuin klooridioksidi, natriumhypokloriitti ja kloori, kuten liitteen 2 taulukoista selviää. Näin ollen niitä tulee käyttää tehokkaampien desinfiointimenetelmien lisänä vedenkäsittelyn viimeisenä vaiheena, ns. sekundäärisenä desinfiointina.

Haittana klooriamiinikloorauksessa saattaa olla nitriitin muodostus. Klooriamiinit muodostavat hajotessaan ammonium-ioneja, jotka verkostossa edelleen hapettuvat bakteerien toiminnan seurauksena nitriitiksi. Nitriitin STM:n asetuksen laatuvaatimus (nitriittitypelle 0,15 mgN/l) ylittyy harvoin, mutta klooriamiinikloorausta käytettäessä sen seurantaan on kiinnitettävä huomiota.

2.3 KLOORIDIOKSIDI

Klooridioksidin kemiallinen merkki on ClO_2 .

Klooridioksidi on nesteeseen liuotettua kaasua ja se haihtuu liuoksesta helposti. Pieninä pitoisuuksina klooridioksidi on väriltään kellanvihreää ja hajultaan makeahkoa. Suurina pitoisuuksina se on oranssia ja hajultaan tymeän pistävää.

Klooridioksidi on voimakas hapetin ja sen reaktiot poikkeavat hypokloriittien ja kloorin reaktioista. Klooridioksidin reaktiot on esitetty liitteen 1 reaktioissa 13 ja 14. Klooridioksidi tehoaa bakteerien ja virusten lisäksi hyvin myös alkueläimiin, kuten liitteen 2 taulukoista selviää. Klooridioksidin desinfiointikyky ei riipu veden pH:sta. Klooridioksidia käytetään myös maun, hajun, värin, raudan ja mangaanin poistoon sekä levien tuhoamiseen. Yliannostus tekee veden hajusta ja mausta epämiellyttävää.

Klooridioksidi valmistetaan paikan päällä, eikä sitä voida varastoida valmiina liuoksena edes lyhyitä aikoja. Klooridioksidi valmistetaan sekoittamalla natriumkloriittiliuosta kloorikaasun tai suolahapon kanssa (katso luku 5.1.3).

Klooridioksidi ei muodosta trihalometaaneja, muita orgaanisia klooriyhdisteitä eikä klooriamiineja. Klooridioksidia voidaan käyttää myös sellaisissa kohteissa, joissa veden orgaanisten yhdisteiden pitoisuus on suuri ja muita kloorikemikaaleja käytettäessä muodostuisi THM-yhdisteitä. Sen sijaan klooridioksidin hajotessa syntyy kloriitteja ja kloraatteja niiden pitoisuutta on tarkkailtava käytettäessä klooridioksidia. Klooridioksidin annostelumäärällä ja analysoimalla veden kloriittipitoisuutta täytyy varmistaa, ettei haitallisia määriä kloriittia ja kloraattia pääse muodostumaan. Kloriitin ja kloraatin haitallisuus perustuu niiden hapetuskyvyn mahdollisiin haittoihin punasoluille. WHO:n antama raja-arvo kloriitille on 0,7 ppm. Saksassa on säädetty talousvedelle klooridioksidin enimmäisannostusmääräksi 0,4 ppm, enimmäisjäännösmääräksi 0,2 ppm ja kloriitin enimmäismääräksi 0,2 ppm.

2.4 KLOORIKAASU

Kloorin kemiallinen merkki on Cl ja kaasumaisessa muodossa Cl₂.

Kloorikaasu on kellanvihreä, pistävän hajuinen, ilmaa noin 2,5 kertaa raskaampi myrkyllinen kaasu. Kaupallisesti kloori toimitetaan nestemäisenä painesäiliöissä, kaasupulloissa tai valmistetaan paikan päällä elektrolyytisesti ruokasuolasta. Nestemäisessä olomuodossa kloori on noin 1,5 kertaa vettä raskaampaa. Kun paineenalainen nestekloori vapautuu, se kaasuuntuu välittömästi. Ilmakehän paineessa yksi litra nesteklooria muodostaa höyrystyessään noin 400 litraa kloorikaasua. Painesäiliöissä kloorin säilyvyys on rajaton, kun säilytys on ohjeiden mukaista.

Painesäiliöt sisältävät usein sekä nestemäistä että kaasumaista klooria. Kloorin varastointi, säilytys, syöttöputkisto- ja laitteisto pitää olla TUKESin edellyttämien vaatimusten ja ohjeiden mukaista. Lämpötilan noustessa kaasun paine säiliössä nousee, ja siksi säiliöitä on säilytettävä niin, että lämpötilan nousu on ehkäisty esimerkiksi ilmastoinnin avulla.

Kloorin säilytyksessä on oltava erityisen huolellinen, sillä vaikka se ei itsessään ole räjähtävää tai helposti syttyvää, se voi tukea joidenkin aineiden palamista. Siksi se on syytä säilyttää erillään syttyvistä materiaaleista ja toisista pakatuista kaasuista (esim. ammoniakki).

Liuetessaan kloorikaasu reagoi veden kanssa muodostaen alikloorihapoketta, joka edelleen pH-arvosta riippuen hajoaa hypokloriitti-ioniksi ja vetyioniksi (liitteen 1 reaktiot 1-3). Alikloorihapoke ja hypokloriitti-ioni ovat hapettimia ja aiheuttavat kloorin desinfiointivaikutuksen. Kloori reagoi erittäin helposti ammoniumin ja muiden typpiyhdisteiden kanssa muodostaen erilaisia klooriamiineja.

Vesiliuoksena kloorin säilytys on ongelmallista. Märkää kloorikaasua sietävät vain kulta, platina ja titaani sekä esim. teflonpinnoitteet. Kuivan (kaasumaisen / nestemäisen) kloorin kanssa tavallisimmat metallit eivät syövy. Ainoat poikkeukset tähän ovat alumiini sekä hiiliteräs kuumissa olosuhteissa.

2.5 KLOORAUSKEMIKAALIEN VERTAILU

Taulukkoon 2. on koottu joitain kloorauskemikaalien ominaisuuksia ja taulukossa 3. vertailtu eri desinfiointimenetelmiä.

Taulukko 2. Kloorauskemikaalien vertailu

Kemikaali	Edut	Ongelmat
Natriumhypokloriitti	• Yksinkertainen käyttää • Suhteellisen turvallinen • Yksinkertainen tekniikka • Voidaan syöttää suoraan kuljetussäiliöstään • Hyvä saatavuus • Soveltuu pienille laitoksille	• Hajoaa ajan myötä säilytyksessä • Emäksinen ja syövyttävä • THM-yhdisteiden muodostuminen • Desinfiointiteho alkueläimiin huono • Teho riippuu veden pH arvosta • Veteen hajua ja makua
Kalsiumhypokloriitti	• Pysyvä suljetussa säiliössä kiinteässä olomuodossa • Turvallinen käyttää • Soveltuu kertaluonteiseen klooraukseen	• Vaatii liuottamisen ennen käyttöä – monimutkaisempi käyttö ja annostelu kuin natriumhypokloriittiliuoksella. • THM-yhdisteiden muodostuminen • Desinfiointiteho alkueläimiin huono • Teho riippuu veden pH arvosta • Veteen hajua ja makua • Palo- ja räjähdysvaara kuivana
Klooriamiini	• Hyvä pysyvyys verkostossa • Käytetään lähinnä verkostojen bakteerikasvun hillitsemiseen • Ei muodosta THM-yhdisteitä • Teho ei ole pH riippuvainen • Kloorin haju ja maku vähäinen	• Huono desinfiointiteho, ei toimi viruksiin eikä alkueläimiin • Tarkka säätö • Nitriitin muodostuminen mahdollista
Klooridioksidi	• Erittäin tehokas, tuhoaa myös alkueläimet ja virukset • Ei muodosta THM-yhdisteitä • Teho ei ole pH riippuvainen • Ei aiheuta makuvirheitä • Voi käyttää esikloorauksessa	• Valmistettava paikan päällä • Operointi ja hallinta vaativaa • Kloriitin ja kloraatin muodostuminen
Kloorikaasu	• Edullinen • Kemiallisesti pysyvä	• Työsuojeluriskit • Vaativa tekniikka • Vaatii koulutetun henkilökunnan • Vaatii tehokkaan valvonnan ja hälytysjärjestelmät • Riskit ympäristön asukkaille • THM-yhdisteiden muodostuminen • Desinfiointiteho alkueläimiin huono • Teho riippuu veden pH arvost • Huono saatavuus Suomessa

Taulukko 3. Desinfointimenetelmien vertailua

	Kloori ja hypokloriitti	Klooridi-oksidi	Klooriamiini	UV	Otsoni
Desinfiointikyky	Kohtalainen	Hyvä	Heikko	Erinomainen	Erinomainen
Riippuvuus pH-arvosta	On	Ei ole	Ei ole	Ei ole	Ei ole
Jälkivaikutus verkostossa	Kohtalainen	Hyvä	Erinomainen	Huono	Huono
Sivutuotteet	THM, klooripitoiset orgaaniset yhdisteet	Kloriitti	Ei (oikein annosteltuna), nitriitti	Matalapainelampuilla ei ole Keskipainelampuilla mahdollisesti nitriitti	Ei ole

2.6 DEKLOORAUSKEMIKAALIT

Eräissä tapauksissa, joissa desinfioidaan kertaluonteisesti kloorauksella putkia tai altaita, on käytettävä tavanomaista voimakkaampia klooriliuoksia. Etukäteen on selvítettävä minne ja miten klooripitoiset vedet voidaan johtaa. Käytetystä klooriliuksesta ei saa aiheutua ympäristöhaittaa eikä haittaa jätevedenpuhdistamon toiminnalle. Jätevesiviemäriässä kloori kuluu yleensä nopeasti, mutta klooripitoisten jätevesien johtamisesta jätevesiviemäriin on aina sovittava viemärilaitoksen kanssa. Viemärilaitos päättää onko dekloraus tarpeen jätevedenpuhdistamon mikrobikannan suojelemiseksi. Kiinteistökohtaisiin jätevedenpuhdistusjärjestelmiin klooria ei saa laittaa. Jos klooripitoisia huuhdeteluesiä on tarkoitus johtaa luontoon, on otettava yhteyttä kunnan ympäristönsuojeluviranomaiseen dekloraustarpeen määrittämiseksi.

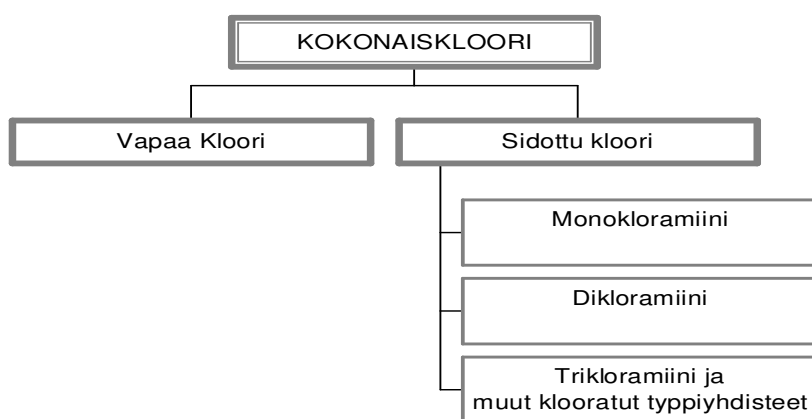
Dekloraus tehdään siihen soveltuvilla kemikaaleilla, joita voi ostaa kemikaalitoimittajilta (esim. VWR International Oy, Cheminert Oy). Deklorauskemikaaleja ei saa olla talousvedessä.

Natriumvetysulfiitti (NaHSO_3) (natriumbisulfiitti) on valkoinen rakeinen tai jauhomainen aine, joka liukenee helposti veteen.. Rakeisena tai jauhomaisena natriumvetysulfiittia saa 500 g ja 1 kg pakkauksissa. Sitä saa myös valmiina liuoksena, jonka pitoisuus on 39 % ja tiheys 1,37 kg/l. Valmiin liuoksen pakkauskoot ovat 1,0 ja 2,5 l:n pulloissa (toimittajasta ja koosta riippuen materiaalina lasi/muovi) sekä 25 l:n ja 60 l:n muoviastiasa. Myös liuosta, jonka pitoisuus on 50 %, on saatavilla 1 l ja 5 l astioissa.

Natriummetabisulfiitti ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (natriumdisulfiitti, natriumpyrosulfiitti) on kermanväri- nen jauhe. Ainetta on saatavana useassa pakkauskoossa 100 g – 50 kg. Aine on liuotettava veteen ennen syöttämistä.

3 KLOORIN MÄÄRITYS

Vedessä olevan klooripitoisuuden määrittämisessä on voitava erottaa toisistaan käytettävissä oleva vapaa kloori ja sidottu käytettävissä oleva kloori. Kun klooria annostellaan veteen, kuluu sitä vedessä olevan mangaanin, raudan ja orgaanisten yhdisteiden hapettamiseen, ja jäljelle jäävä kloori on vapaata klooria. Tämä vapaa kloori on tehokasta mikrobien tuhoamisen kannalta. Osa kloorista sitoutuu vedessä luonnostaan olevan tai klooriamiinikloorauksen yhteydessä lisätyn ammonium-ionien kanssa ja näin muodostuu klooriamiineja. Sidottu kloori muodostuu mono- di ja triklooriamiinista sekä muista klooratuista typpiyhdisteistä. Monoklooriamiinilla on desinfioiva vaikutus ja siksi sitä pyritään muodostamaan klooriamiinikloorauksessa.



Kuva 2. Klooriyhdisteiden luokittelu.

Mahdollinen sidottu kloori saattaa vaikuttaa vapaan kloorin määrittäytulokseen ja siksi mittaus tulee tehdä huolellisesti standardien ja muiden ohjeiden mukaan. Näyte kloorimäärittystä varten otetaan niin, ettei se ilmastu ja klooripitoisuus laske. Kloorimäärittys tehdään mahdollisimman nopeasti näytteenoton jälkeen, koska klooripitoisuus laskee näytteessä nopeasti.

Klooripitoisuus määritetään joko titraamalla tai valmiiden testien avulla, jotka ovat joko tabletti-, jauhe tai kyvettitestejä. Valmistestit soveltuvat käyttäviksi sekä laitoksella että laboratorioissa. Näillä menetelmillä pystytään määrittämään enimmillään 1-5 mg/l klooripitoisuuksia. Jos klooripitoisuudet ovat tätä suurempia, täytyy näytteet toimittaa laboratorioon analysoitaviksi tai näyte pitää laimentaa ennen analysointia. Liitteessä 4 on listattu vuonna 2013 markkinoilla olevia kloorimittareita ja liitteessä 5 on kerrottu tarkemmin näytteen laimennuksesta sekä kloorin määrittämismenetelmistä.

Klooripitoisuuden analysointiin on kahdenlaisia analysointimenetelmiä: sähköisiin ominaisuuksiin tai värinmuodostukseen perustuvia.

3.1 SÄHKÖINEN ELI AMPEROMETRINEN MITTAUS

Sähköinen ns. amperometrinen mittaus mittaa sähkövirran voimakkuutta klooriyhdisteiden pelkistämisessä. Mittauksessa saadaan sekä vapaan että sidotun kloorin pitoisuudet. Mittaus tapahtuu elektrodin avulla.

3.2 VÄRIIN PERUSTUVA MITTAUS

Kolorimetrillä (fotometrillä) mitataan värin voimakkuutta, mikä korreloi kloorin pitoisuuteen. Käyttämällä eri reagensseja voidaan määrittää joko vapaan tai kokonaiskloorin pitoisuus. Kyvetiin tai koeputkeen lisätään näyte ja reagenssit ja tietyn ajan kuluttua mitataan värin voimakkuus. Värin voimakkuutta voidaan mitata komparaattorilla, fotometrillä tai spektrofotometrillä. Komparaattorissa värin voimakkuutta arvioidaan silmämääräisesti vertaamalla värikiekkoon. Fotometrit ja spektrofotometrit ovat komparaattoreita monipuolisempia ja tarkempia laitteita.

3.3 KLOORIN ANNOSTUKSEN TARKISTAMINEN

Laitoksen veden tarvitsema kloorin annostus määritetään tekemällä lähtevästä vedestä ja verkostovesinäytteistä kloorimittauksia joko laboratoriossa, tai mikäli vesilaitoksella on tarvittava varustus, paikan päällä. Käyttötarkkailussa klooripitoisuus tarkistetaan laitokselta lähtevästä vedestä sekä verkoston eri osista. Verkostomittauksilla varmistetaan, että klooria on jäljellä myös verkoston äärilaidoilla. Kloorin annostusta säädetään joko vapaan tai sidotun jäännösklooripitoisuuden perusteella ja tarkistustiheys riippuu laitoksen koosta.

Lähtevän veden klooripitoisuutta mitataan jatkuvatoimisella mittalaitteella jatkuvasti. Verkostoveden klooripitoisuutta mitataan käsimittarilla tai laboratoriossa. Myös verkostoon voidaan asentaa jatkuvatoimisia klooripitoisuuden mittareita.

Klooriamiinikloorauksessa sidotun kloorin määrän lisäksi on seurattava ammoniumin määrää ja niiden määrien suhdetta.

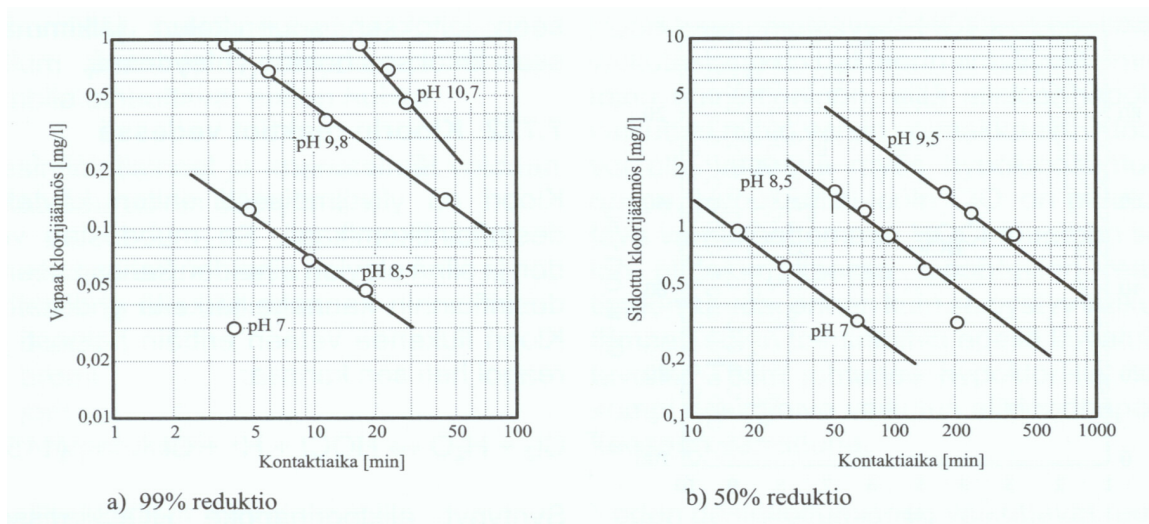
4 KLOORAUKSEN TEHOKKUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kloorauksen tehokkuus riippuu monista tekijöistä, kuten käytettävästä klooriyhdisteestä, klooripitoisuudesta ja kontaktiajasta. Muita klooraukseen vaikuttavia tekijöitä kloorikemikaalista riippuen ovat veden pH, veden lämpötila sekä veden sisältämien kiintoainien ja orgaanisten yhdisteiden määrä. Kloorauksen tehokkuus vaihtelee myös käsiteltävien mikrobien mukaan. Kloorikemikaalin pitää sekoittua tasaisesti käsiteltävään veteen, jotta desinfiointi onnistuu tehokkaasti.

Desinfiointin tehokkuus ilmoitetaan haitallisten mikrobien poistotehona. Poistoteho ilmoitetaan joko prosentuaalisena tai logaritmisena poistumana. Log10-yksiköissä ilmoitettu arvo 1log poistuma vastaa 90 % poistoa, 2log vastaa 99 % poistoa, 3log vastaa 99,9 % poistoa, 4log vastaa 99,99 % poistoa ja jne.

4.1 CT- ARVO: PITOISUUS JA VIIPYMÄ

Desinfiointikemikaalien tehoa eri mikrobeille kuvataan pitoisuuden ja viipymän tulona eli Ct-arvona. Ct-arvon yksikkö on mg/l x min. Desinfiointiteho on siis suoraan verrannollinen kemikaalin pitoisuuteen ja viipymään kuten kuvassa 3 on esitetty *E.coli*-bakteerille. Taulukossa 4 ja liitteessä 2 on esitetty eri kemikaalien Ct-arvoja eri mikrobeille.



Kuva 3. Desinfiointiajan ja konsentraation riippuvuuksia lämpötilassa 2...5 °C *E.coli* bakteerille (RIL 124-2 Vesihuolto II, 2004)

Viipymällä tarkoitetaan sitä, kuinka kauan desinfiointikemikaali vaikuttaa vedessä. Kemikaalin viipymä määräytyy puhdasvesisäiliön tilavuuden ja virtaaman perusteella, klooriamiinikloorauksessa kloorikemikaalin vaikutusajalla ennen kloorin sitomista monoklooriamiiniksi tai jos vesi johdetaan kemikaalin syötön jälkeen suoraan verkostoon, ennen ensimmäistä käyttäjää verkostossa käytössä olevalla putkitilavuudella ja virtaamalla.

Vaadittuun desinfiointitehoon tarvittava CT-arvo riippuu veden laadusta, aiempien käsittelyvaiheiden tehosta mikrobien poistossa, verkoston kunnosta ja pituudesta sekä vesisäiliöiden kunnosta ja koosta. Kemikaalin annostus onkin määriteltävä tapauskohtaisesti, mutta taulukon 4 Ct-arvoja voidaan hyödyntää tarvittavaa annosta määriteltäessä.

Esimerkiksi, jos vesisäiliön tilavuus on 60 m³ ja veden virtaus 120 m³/h, on veden viipymä altaassa 30 minuuttia. Jos desinfiointiin käytetään natriumhypokloriittia ja vesi on alkaloitu ja sen pH on >8 ja lämpötila 4 °C, taulukon mukainen tarvittava bakteerien ja virusten tuhoamiseen tarvittava Ct-arvo on 8.0 mg/lxmin. Tällöin on syötettävä ennen puhdasvesisäiliötä natriumhypokloriittia niin paljon, että säiliöstä mitattu vapaan kloorin pitoisuus on vähintään 0.3 mg/l. Jos halutaan varmistaa myös Giardia-alkueläinten tuhoutuminen, tarvittava klooripitoisuus on noin 6 mg/l. Koska jatkuvassa desinfioinnissa ei voida käyttää näin suuria klooripitoisuuksia, alkueläinten tuhoamiseksi tarvitaan lisäksi UV-desinfiointi, otsonointi tai klooridioksidikäsittely.

Jos natriumhypokloriittia annostellaan suoraan vesijohtoputkeen ja kloorauspisteestä on matkaa esimerkiksi 300 metriä ensimmäiseen käyttöpisteeseen, on veden viipymä putkessa noin 5 minuuttia, jos veden virtausnopeus putkessa on 1 m/s. Tällöin klooripitoisuus putken sisällä olevassa vedessä pitää olla vähintään noin 1.6 mg/l.

Desinfiointikemikaalin pitoisuuden ja viipymän riittävyyttä arvioitaessa on huomioitava mahdolliset oikovirtaukset, jotka lyhentävät viipymää ja heikentävät desinfiointitehoa.

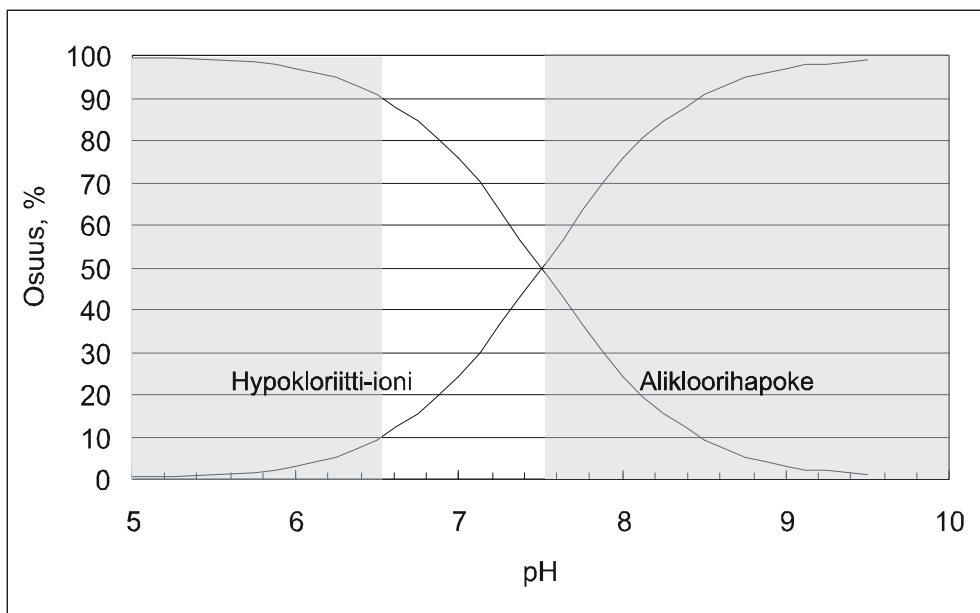
Taulukko 4. Ct (mg/l * min)-arvoja bakteerien, virusten ja alkueläimien inaktivointiin (lähde Norsk Vann Rapport 170/2009)

Lämpötila	Bakteerit 3 log inaktivointi		Virukset 3 log inaktivointi		Giardia 2 log inaktivointi		Cryptosporidium 2 log inaktivointi	
	4 °C	0.5 °C	4 °C	0.5 °C	4 °C	0.5 °C	4 °C	0.5 °C
Kloori								
pH<7	1,0	1,5	4,0	6,0	75	100	*	*
pH 7-8	1,5	2,0	6,0	8,0	100	150	*	*
pH>8	2,0	3,0	8,0	12,0	175	250	*	*
Klooriamiini	100	200	1500	2000	1750	2500	*	*
Klooridioksidi	1,0	1,5	20	25	25	40	1000	1250
Otsoni	0,5	0,75	1,0	1,5	1,5	2,0	30	45

*) arvoa ei saatavilla. Ct-arvo olisi niin suuri, ettei käytännössä voida niin suuria pitoisuuksia käyttää.

4.2 PH

Veden pH vaikuttaa kloorikaasun ja natriumhypokloriitin tehoon (Ct-arvoon). Kloorin desinfiointiteho heikkenee jos pH on yli 7,5. Tämä johtuu siitä, että korkeassa pH:ssa kloori on desinfiointiteholtaan heikompana hypokloriittina. (kuva 4). Mitä korkeampi pH on, sitä pidempi on oltava kloorin kontaktiajan. Klooridioksidin ja klooriamiinin teho ei ole riippuvainen veden pH-arvosta.



Kuva 4. Kloorin komponenttien suhteelliset osuudet pH:n funktiona. Alikloorihapoke on hypokloriitti-ioniä tehokkaampi mikrobien tuhoamisessa. Vaalea alue on tehokkain tuhoamaan mikrobeja.

4.3 LÄMPÖTILA

Mitä korkeampi käsiteltävän veden lämpötila on, sen tehokkaampi on kloorin desinfioiva vaikutus. Veden käsittelyssä ei lämpötilaa voida säätää, mutta se on otettava huomioon laitoksen suunnittelussa ja kloorin annostuksessa. Pohjavesilaitoksilla lämpötila on tasaisempi kuin pintavesilaitoksilla, joilla lämpötilaero voi olla jopa yli 20 astetta eri vuodenaikoina.

Desinfiointinopeus hidastuu puoleen tai kolmannekseen lämpötilan laskiessa 10 asteella. Toisaalta kloorin häviäminen verkostossa on nopeampaa lämpötilan noustessa.

4.4 VEDENLAATU

Kiintoaine suojaa mikrobeja desinfiointikemikaalien vaikutukselta sekä kuluttaa kloorikemikaalia. Mikäli vedessä on kiintoainetta, mikrobit pyrkivät kiinnittymään kiintoainehiukkasten pinnalle. Orgaaninen aine ja veden sisältämät muut hapettuvat aineet, kuten rauta- ja mangaani, kuluttavat klooria ja heikentävät kloorauksen tehoa. Kloorikaasu ja natriumhypokloriitti muodostavat orgaanisen aineksen kanssa trihalometaaneja. Ennen kloorausta orgaaninen aine on poistettava tehokkaasti saostamalla ja selkeyttämällä ja suodattamalla tai kontaktisuodattamalla (saostuskemikaalia annostelemalla ja hiekkasuodatuksella).

Kiintoaine-, mangaani-, rauta- ja orgaanisen aineen pitoisuus voidaan tarkistaa vedestä laboratorioanalyysillä. Vedenlaatua seurataan myös sameusmittareilla.

4.5 KÄSITELTÄVÄ MIKROBI

Klooridioksidi, hypokloriitti ja kaasumainen kloori ovat suunnilleen yhtä tehokkaita bakteerien ja virusten inaktivoimiseen neutraalissa pH-arvossa. Korkeammassa pH-arvossa, esimerkiksi 8,5:ssä klooridioksidi on tehokkaampi kuin kloorikaasu ja hypokloriitit. Klooriamiinin desinfiointiteho on kaikille mikrobeille heikko, joten se ei riitä ainoaksi desinfiointimenetelmäksi. Klooridioksidi on tehokas myös *Giardia* ja *Cryptosporidiumin* inaktivointiin, kun taas muut klooriyhdisteet eivät ole. Alkueläimien tuhoamiseen raakavedestä tarvitaankin laitoksella otsonointi, klooridioksidin annostelu tai UV-desinfiointi.

UV-säteily on tehokas bakteerien, virusten ja alkueläinten inaktivoimiseen, mutta UV-säteilyn vaikutus ei ulotu verkostoon toisin kuin kloorikemikaaleilla.

Liitteessä 2 on tietoa kemikaalien tehosta eri mikrobien desinfioinnissa.

4.6 VESIJOHTOVERKOSTO

Vesijohdon kunto, pituus, viipymä ja materiaali vaikuttavat veden hygieenisen laadun säilymiseen kuluttajalle saakka.

Koska vapaa kloori on voimakas hapetin, se myös kuluu nopeasti loppuun, mikäli se joutuu tekemisiin hapettuvien aineiden kanssa. Putkistojen seinämien saostumat ja biofilmit kuluttavat klooria. Jos verkosto on laaja, eli viipymät ovat pitkiä, kloori kuluu loppuun jo ennen veden johtumista verkoston äärilaidoille. Kloorin kulumista voidaan vähentää puhdistamalla verkostoa mekaanisesti, juoksuttamalla vettä tai järjestämällä veden kiertoyhteys.

Vesijohdon korroosio heikentää desinfiointikemikaalien tehoa. Korroosio aiheuttaa epätasaisuuksia putken pinnalle. Korroosion aiheuttamat jäljet ovat karkeita ja niihin mikrobien on erityisen helppo takertua. Mikrobien aineenvaihdunnan seurauksena korroosio vielä kiihtyy ja kloorin tunkeutuminen biofilmiin vaikeutuu.

Vesijohtoverkon laadun ylläpitämiseen käytetään usein klooriamiinikloorausta, sillä se säilyy verkostossa vapaata klooria paremmin ja näin sen vaikutus on pysyvämpi.

Desinfioinnin tehoon vaikuttaa kemikaalin lisäksi pitoisuus, viipymä, kloorikaasulla ja hypokloriitilla pH, lämpötila, orgaanisen aineen ja kiintoaineen määrä.

5 KOORAUKSEN SUORITTAMINEN

5.1 JATKUVA KLOORAUS

Taulukossa 5 on koottuna esimerkkejä vesilaitosten käyttämistä desinfiointimenetelmistä ja laitokselta lähtevän veden keskimääräisistä klooripitoisuuksista jatkuvassa kloorauksessa. Kaikilla laitoksilla on kloorauksen lisäksi muita (tai muu) desinfiointimenetelmiä veden hygieenisen laadun varmistamiseksi. Jokaiselle laitokselle on valittava sille parhaiten soveltuva kloorauskemikaali ja klooripitoisuus.

WHO:n antama terveydellinen maksimi raja-arvo veden käyttäjille johdettavan veden klooripitoisuudelle on 5 mg/l.

Taulukko 5. Vesilaitoksilla käytettäviä desinfiointimenetelmiä ja verkostoon pumpatun veden keskimääräinen laatu Helsingin, Kuopion ja Kymenlaakson veden vesilaitoksilla sekä TSV:n säiliöissä 1.1 – 31.7.2013, Oulun vesilaitoksilla v. 2012 ja Turun Halisten vesilaitoksella 14.2.-10.10.2013,

Vesilaitos	kok- Cl, mg/l	vapaa Cl, mg/l	NH4- N, mg/l	pH	Vesilaitos tyyppi	Desinfiointimenetelmä
Helsinki Pitkälampi	0,39		0,13	8,5	pintavesi	otsoni+UV+klooriamiini*
Helsinki Vanhakaupunki	0,38		0,12	8,5	pintavesi	"
Kuopio Itkonniemi	0,45	0,35	<0,006	7,7	pintavesi	natriumhypokloriitti-
Oulu, Hintta	0,32		0,059	8,3	pintavesi	otsoni+klooriamiini**
Oulu, Kurkelanranta	0,32		0,059	8,3	pintavesi	"
Turku, Halinen	0,54	0,06	0,09	8,4	pintavesi	natriumhypokloriitti.+ klooriamiini**
Turun Seudun Vesi, Saramäen kalliosäiliö	0,2	0,06	<0,003	8,5	tekopohja	klooriamiini**
Turun Seudun Vesi, Laakkarin alavesisäiliö	0,18	0,03	<0,003	8,4	tekopohja	klooriamiini**
Kymenlaakson Vesi	0,3***	0,10	0,15	8,4	tekopohja	klooriamiini **

*natriumhypokloriitti+ammoniakkivesi

** natriumhypokloriitti+ammoniumkloridi

***tavoitetaso

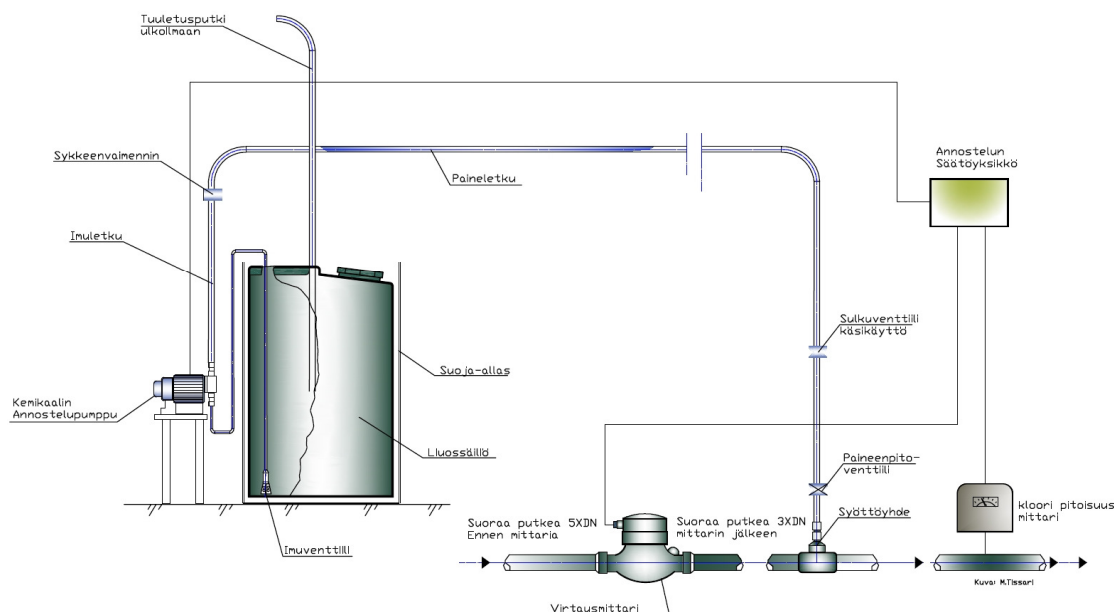
5.1.1 Klooraus natriumhypokloriitilla

Useimmiten, etenkin pienillä vesilaitoksilla, klooraus on toteutettu natriumhypokloriit-
tiannostuksella, koska se on yksinkertainen ja suhteellisen turvallinen. Ainoana, pri-
määridesinfiointina, se ei ole riittävä varmistamaan kaikkien mikrobien, etenkin al-
kueläimien, tuhoutumista.

Annostelu tapahtuu kalvo- tai mäntäpumpulla natriumhypokloriitin säiliöstä. Pumppu-,
putki- ja letkumateriaaliksi soveltuu polypropeeni tai teflonpinnoite. Mikäli natriumhypo-
kloriitin tarve on pieni, 10 % - tai 15 % liuosta on laimennettava esimerkiksi 1:10, jotta
annostus saadaan riittävän tarkaksi. Ohjeita kemikaalin laimentamiseen on liitteessä 3.

Kloorin syöttöpiste sijoitetaan ennen painesäiliötä tai varastoallasta, jotta myös säiliö tai allas saadaan suojattua kloorilla sekä viipymää pidennettyä ennen verkostoon johtamista. Esimerkkikaavio kloorauksen järjestelystä natriumhypokloriitilla on kuvassa 5.

Hypokloriittisäiliö on sijoitettava suoja-altaaseen vuotojen varalle. Isoilla laitoksilla suurten säiliöiden suoja-altaat on varustettava pumpulla, joilla vuotanut liuos saadaan pumpattua takaisin varastosäiliöön. Onnettomuustilanteessa hypokloriittiliuosta ei saa laskea suoja-altaasta suoraan viemäriin tai ympäristöön.



Kuva 5. Esimerkki hypokloriittikloorauksen toteutuksesta

Oikean kemikaalin annostelumäärän varmistamiseksi on huomioitava, että hypokloriitti kaasuuntuu osittain annostelulaitteistossa ja putkistossa. Hypokloriitin annostelumäärää pitää seurata virtausmittarilla, liuosinnan alenemisella tai varastosäiliön mittalasin avulla. Lisäksi kemikaalien käyttöä on seurattava käyttöpäiväkirjalla. Jokaisesta liuoserästä lasketaan kemikaalin annostus vesi-m³ kohti. Tulosta verrataan kloorimittaustulokseen ja varmistetaan, että kloorimittaustulos ja laskennallinen keskimääräinen klooriannos ovat samaa suuruusluokkaa. Klooratun veden klooripitoisuutta pitää seurata jatkuvatoimisella mittauksella yli- ja aliannostelun havaitsemiseksi.

Tarvittava kemikaaliannostus määritellään tapauskohtaisesti. Liitteessä 3 on esitetty laskentakaavoja hypokloriitin annostelun laskemiseksi.

Esimerkki hypokloriitin annostelun suuruusluokasta: Pyrittäessä klooripitoisuuteen 0,5 mg/l, 10 % natriumhypokloriittia tarvitaan noin 4 ml vesi-m³ kohti.

Yleensä annosteltava hypokloriittimäärä on varsin pieni, joten kemikaalia annostellaan laimennettuna.

5.1.2 Klooriamiiniklooraus

Klooriamiinikloorauksessa veteen syötetään pieni määrä ammoniakivettä tai ammoniumsuolaa, kuten ammoniumkloridia sekä klooria. Klooriamiiniklooraus tapahtuu aina prosessin viimeisenä vaiheena. Syöttöjärjestys voi olla joko sellainen, että ensin lisätään ammonium ja sitten kloori tai päinvastoin.

Ammoniakin käyttöturvallisuusriskien takia sitä tulisi käyttää vain suurilla vesilaitoksilla, joilla laitoksen valvonta on jatkuvaa. Pienillä laitoksilla on turvallisempaa käyttää ammoniumkloridia.

Suomessa klooriamiiniklooraus toteutetaan yleensä tehokkaasti puhdistetulle vedelle., Klooriamiiniklooraus suositellaan järjestettäväksi siten, että kloori syötetään ensin ja sille varataan riittävä viipymä (vähintään 0,5 h) tehokkaan desinfioinnin aikaansaamiseksi. Vasta sitten syötetään ammoniumsuola, joka sitoo jäljellä olevan vapaan kloorin klooriamiiniksi.

Mikäli vedessä on orgaanisia yhdisteitä, kannattaa ammoniumsuola lisätä ensin, koska kloori reagoi helpommin vapaan ammoniumin kanssa ja näin estetään orgaanisten klooriyhdisteiden muodostuminen. Näin päin tehtynä kloorauksen desinfiointiteho jää kuitenkin vaatimattomaksi.

Klooriamiinikloorauksessa valmistetaan monoklooriamiinia, jota muodostuu nopeasti pH:n ollessa 7-8,5 ja kun kloorin ja ammoniumin (Cl_2 : $\text{NH}_4\text{-N}$) välinen painosuhde on 5:1. Tämä vastaa kloorin ja ammoniumkloridin (Cl_2 : NH_4Cl) suhdetta (1 : 1,3). Jos klooria on liikaa suhteessa ammoniumiin, muodostuu veteen di- ja triklooriamiineja, jotka aiheuttavat veteen haju- ja makuvirheitä. Onkin tärkeätä seurata sekä vapaan että sidotun kloori pitoisuutta vedessä. Myös ammoniumin määrää on seurattava. Liian suuri klooriannostus suhteessa ammoniumin määrään alentaa sidotun kloorin määrää, koska se hajoaa klorideiksi ja typpikaasuksi. Seuranta tapahtuu laboratorioanalyysillä (kts. luku 3 ja liite 5).

On vielä huomattava, että talousveden suurin sallittu ammoniumpitoisuus on 0,5 mg/l.

Klooriamiiniklooraus ei riitä yksinomaiseksi klooraustavaksi, vaan ainoastaan muuten desinfioidun veden hygieenisyyden ylläpitämiseksi verkostossa.

5.1.3 Klooraus klooridioksidilla

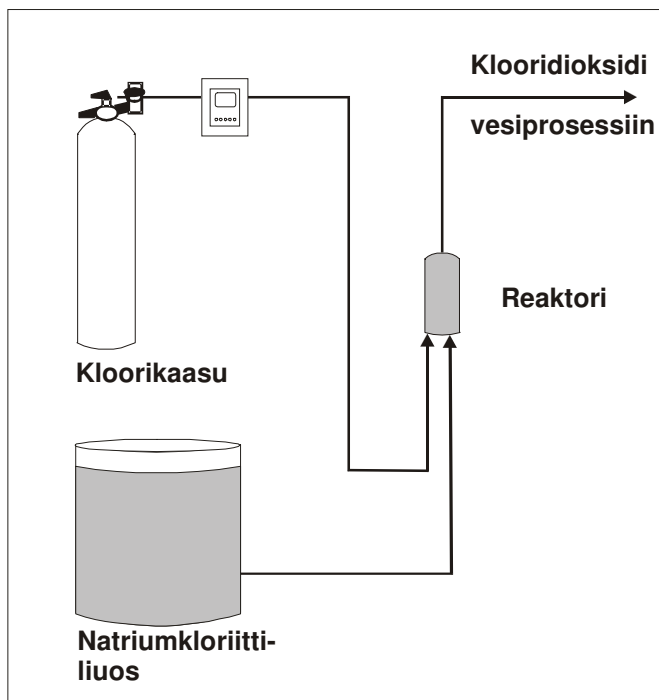
Klooridioksidi on pysymätön yhdiste ja se on valmistettava paikan päällä. Lähtöaineina voivat olla joko suolahappo ja natriumkloriitti tai kloorikaasu ja natriumkloriitti. Kloorikaasu voidaan syöttää joko kaasumaisena tai veteen liuotettuna kloorivetenä. Natriumkloriitti on yleensä 25 prosenttisena liuksena ja klooridioksidi muodostuu liuokseen. Kuvassa 6 on kaavio klooridioksidin valmistusprosessista. Markkinoilla on kompakteja happo – natriumkloraattiliuosjärjestelmiä, joiden tuotto on 5 – 2000 g ClO_2 /h. Happona käytetään yleensä suolahappoa.

Natriumkloriitti voi olla myös kiinteässä olomuodossa ja silloin se täytyy ensin liuottaa veteen. Kiinteää natriumkloriittia ei suositella vesilaitokselle, koska se syttyy helposti itsestäänkin ja siksi sen käsittely ja varastointi on vaarallista.

Klooridioksidia käytetään talousveden desinfiointiin laajasti Euroopassa, etenkin Saksassa, enenevässä määrin Ruotsissa, mutta toistaiseksi Suomessa sitä käytetään harvoin vesilaitoksilla. Yhdysvalloissa klooridioksidia käytetään hapettimena vesilaitoksilla. Klooridioksidin käyttöön on kehitelty turvallisia ja kustannustehokkaita laitteita, mutta ne ovat edelleen kalliimpia kuin natriumhypokloriitin annostelulaitteisto.

Tarvittavan klooridioksidin annosmäärä riippuu veden sisältämistä hapettuvista yhdisteistä, kuten raudasta, mangaanista ja orgaanisista yhdisteistä. Annostus onkin testattava jokaisessa tapauksessa yksilöllisesti.

Klooridioksidia käytettäessä käsitellyn veden klooridioksidin ja kloriitin pitoisuutta tarkkaillaan jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. WHO:n terveysperusteinen raja-arvo kloriitti- ja kloraattipitoisuudelle on 0,7 ppm.



Kuva 6. Kaavio klooridioksidin valmistuksesta. Kloorikaasun sijaan voidaan käyttää suolahappoa.

5.1.4 Klooraus kloorikaasulla

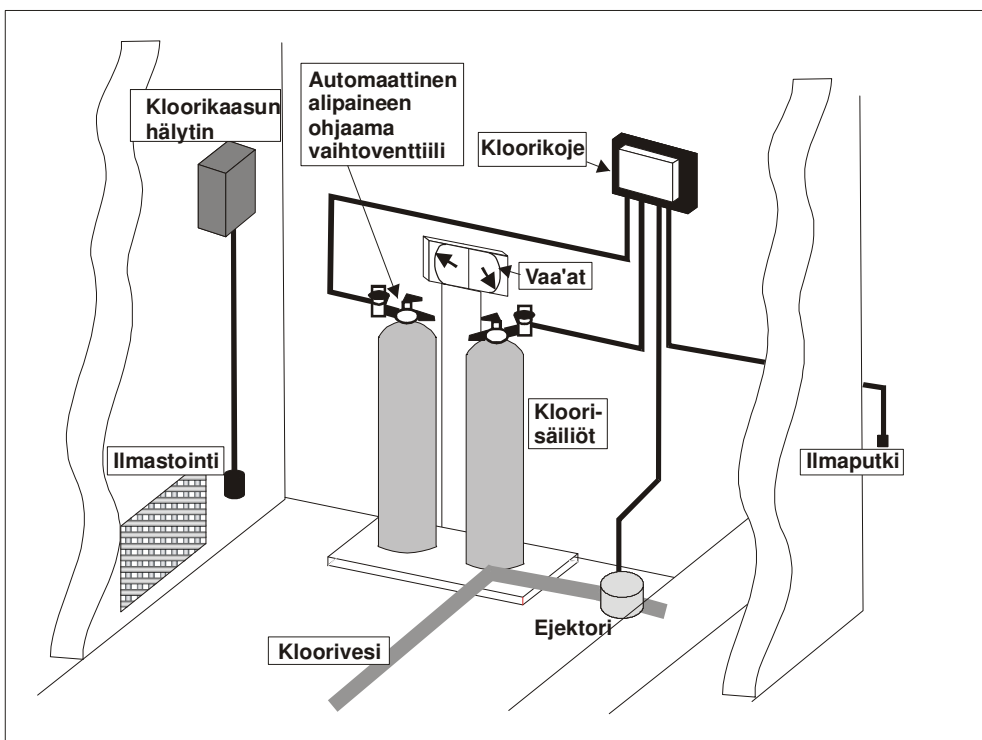
Kloorikaasun merkittävistä turvallisuusriskeistä johtuen sen käyttö edellyttää henkilöstön osaamista, soveltuvia laitosrakenteita, hallittua vedenkäsittelyprosessia sekä riittävää ymmärrystä kloorikaasun riskeistä ja sen vaatimista työturvallisuusnäkökohdista. Joissain maissa kloorin kuljettaminen on kielletty taajamissa. Kloorikaasun kuljetuksesta aiheutuu riskejä ja siksi sen kuljettaminen ei ole kaikkialla mahdollista, mikä rajoittaa sen käyttöä vesilaitoksilla. Kloorikaasua ei valmisteta tällä hetkellä Suomessa. Suomessa on tällä hetkellä ainoastaan yksi vesilaitos, joka käyttää kloorikaasua.

Kloori toimitetaan laitokselle joko kaasupulloissa tai -säiliöissä. Turvallisuussyistä kaasupulloja ja -säiliöitä on säilytettävä laitoksella erillisessä kloorihuoneessa, jossa on vaa'at, kloori-ilmaisimet, -hälyttimet ja tehokas ilmanvaihto asianmukaisesti järjestettynä. Kloorikaasun käyttöä on valvottava jatkuvasti. Vaikka kaasunsyöttölaitteisto olisikin

automaattinen, on laitoksella käytävä päivittäin tarkistamassa laitteiden toimivuus. Kloorikaasulaitteisto vaatii säännöllistä huoltoa.

Klooraus perustuu alipainejärjestelmään, jolloin vuodon sattuessa järjestelmästä ei karkaa kloorikaasua, vaan ilmaa joutuu kloorausjärjestelmään. Alipaine muodostetaan ejektorilla, jossa pieni vesimäärä puristetaan suuttimen läpi. Syntynyt alipaine avaa varmuusventtiilin ejektoriyksikössä sekä kloorikojeessa olevan venttiilin. Kaasumainen kloori virtaa ejektoriin ja liukenee veteen. Kloorisäiliöissä on kaksi poistoventtiiliä. Toinen säiliön yläosassa, josta kloori otetaan kaasuna ja toinen alaosassa, josta kloori otetaan nesteinä. Klooripulloista voidaan kloori ottaa nesteinä kääntämällä ne ylösalaisin.

Kloorivesi sekoitetaan käsiteltävään veteen. Kloorikaasun virtaus mitataan esimerkiksi rotametrimillä. Klooriveden tuottoa voidaan ohjata joko magneettiventtiilin avulla tai erillisellä pumpulla, jota ohjaavat joko virtaamamittari tai vesilinjan pumpput. Kloorin kulutusta tarkkaillaan myös asentamalla kloorisäiliöt vaakojen päälle. Esimerkkikaavio kaasukloorauksen järjestämisestä on kuvassa 7.



Kuva 7. Esimerkki kaasukloorauksen järjestelystä

5.2 AJOITTAINEN KLOORAUS

5.2.1 Varautuminen klooraukseen

Riski mikrobien pääsystä talousvesijärjestelmään on aina olemassa esimerkiksi tekniikan pettämisen, poikkeuksellisten sateiden ja tulvien sekä putkirikkojen ja vesitorneissa olevien vuotokohtien seurauksena.

Jatkuva desinfiointi (esimerkiksi UV-desinfiointi) on suositeltavaa kaikille laitoksille. Tämän lisäksi kaikkien laitosten pitää varautua tilapäiseen klooraukseen, jolla desinfiointiteho saadaan ulottumaan verkostoonkin.

Tilapäiseen klooraukseen varautuminen merkitsee sitä, että vesilaitoksella on tekninen valmius natriumhypokloriitin syöttöön vedenkäsittelylaitoksilla ja tarvittavissa kohteissa verkostossa kuten paineenkorotus- ja mittausasemilla sekä ala- ja ylävesisäiliöissä. Laitoksella on oltava sopiva annostelulaitteisto, sopivat liitokset kemikaalin syöttämiseen talousvesijärjestelmään, sähkönsaantimahdollisuus mahdollisissa käyttökohteissa, klooripitoisuuden mittauslaite sekä käyttökelpoista natriumhypokloriittiliuosta.

Koska natriumhypokloriittiliuoksen aktiivisen kloorin pitoisuus laskee ajan myötä, on tiedettävä liuoksen hankinta-aika sekä ajan ja säilytyslämpötilan perusteella arvioitava käyttöhetken klooripitoisuus. Annostus säädetään sellaiseksi, että haluttu jäännöskloorin pitoisuus saavutetaan. Tilapäistä kloorausta varten ei välttämättä ole järkevää ylläpitää omaa natriumhypokloriittivarastoa, vaan nopeasta kloorinsaannista on etukäteen sovittava esimerkiksi lähialueella olevan ja jatkuvasti natriumhypokloriitilla klooraavan vesilaitoksen tai uimahallin kanssa. Kloorikemikaalin soveltuvuus talousveden valmistukseen pitää varmistaa.

Laitoksella on oltava ennalta laadittu suunnitelma ja ohjeistus sekä riittävä osaaminen tilapäisen kloorauksen aloittamiseksi ja käyttämiseksi. Valmiudessa olevan kloorauslaitteiston kunnosta ja toimintakyvystä on huolehdittava säännöllisellä huollolla sekä testikäytöllä. Laitteistoa voidaan testata esimerkiksi käyttämällä puhdasta vettä.

Ellei laitoksella ole erikseen laitteistoa natriumhypokloriitin annosteluun, sitä voidaan annostella tilapäisesti lipeän annostelulaitteistolla. Muiden, erityisesti happoa sisältävien kemikaalien, annostelulaitteisiin natriumhypokloriittia ei saa laittaa, sillä natriumhypokloriitti muodostaa vaarallista kloorikaasua hapon kanssa reagoidessaan.

Laitoksella on oltava klooripitoisuuden mittauslaite, jotta kloorauksen onnistuminen saadaan varmistettua. Klooripitoisuuden mittauksessa tarvittavia reagensseja on oltava laitoksella ja niiden käyttökelpoisuus pitää tarkistaa säännöllisesti. Etukäteen on selvítettävä, että mikrobimäärityksiä voidaan teettää laboratoriossa tarvittaessa myös iltaisin ja viikonloppuisin. Jos tämä ei ole mahdollista, pitää laitoksella pystyä tekemään oma-toimisesti alustavat bakteerimääritykset pikamääritysmenetelmällä (Colilert tai vastaava).

Aina kun tehdään verkostotöitä tai kunnostetaan vesisäiliöitä tai suodattimia täytyy huolehtia, että myös työkalut ja varusteet ovat puhtaita. Varusteet ja työkalut voidaan desinfioida esim. 1000 mg/L klooripitoisella liuoksella (10 ml 10 % natriumhypokloriittia 1 litraan liuosta).

5.2.2 Vesijohtoverkoston klooraus

Otettaessa käyttöön uusi vesijohto tai kun vanhaa verkostoa on korjattu, on uuden tai korjatun verkostonosan hygieenisyys varmistettava. Ensisijaisesti putket pyritään suojaamaan oikeilla ja hygieenisillä työtavoilla ja tulppaamalla putket rakennustöiden ajaksi, jotta likaantuminen estetään. Ennen käyttöönottoa putket on aina puhdistettava kiintoaineesta ja huuhdeltava sekä tarvittaessa desinfioitava. Vesihuuhtelua tehostetaan tarvittaessa paineilmalla.

Desinfiointiin voidaan käyttää joko natrium- tai kalsiumhypokloriittia. Jos käytetään kiinteää kalsiumhypokloriittia pitää se ensin liuottaa veteen ja valmistaa tietyn vahvuinen liuos, jota annostellaan desinfioitavaan putkeen. Kiinteää kalsiumhypokloriittia ei saa laittaa suoraan vesijohtoon. Desinfiointiliuoksen valmistukseen ja verkoston huuhteluun käytetään puhdasta vesijohtoverkoston vettä.

Verkostoa kloorattaessa klooria kuluttaa myös putken sisäpinnalle kertyvä sakka ja biofilmi (=mikrobeista muodostunut kerros), mikä on huomioitava annostelussa.

Annostelu tehdään lisäämällä laimennettua klooriliuosta annostelupumpulla verkostoon johdettavaan veteen. Liuoksen lisääminen voidaan tehdä esim. palopostista, paineenkorotusasemalta, mittakaivolta tai kiinteistöstä pois otetun vesimittarin paikalta niin, että liuos leviää koko suljetulle putkistoalueelle. Hypokloriittiliuos pitää annostella huuhteluveteen aina virtaaman suhteen ohjattuna.

Vesijohtoverkoston desinfioinnissa käytettäviä klooripitoisuuksia ja minimiaikoja:

- uuden putken desinfiointi, klooriliuos ei voi päätyä asiakkaille: 20-50 mg/l, ainakin 12-24 h
- korjatun verkostonosan desinfiointi, klooriliuos ei voi päätyä asiakkaille: 20 (2 h) - 50 (30 min.) mg/l
- korjatun verkostonosan desinfiointi, klooriliuos voi päätyä asiakkaille: 5 mg/l, ainakin 4-8 h
- mikrobiologisesti likaantuneen vesijohtoverkoston desinfiointi, klooriliuos päätyy asiakkaille: 5-10 mg/l ainakin 24 h, 1-5 mg/l ainakin 48 h, 1-2 mg/l kunnes verkoston ääripäistä otetut näytteet osoittavat verkoston mikrobiologisesti puhtaaksi löydetyistä patogeeneistä.

Uudet putket

Ennen kuin uudet putket liitetään vesijohtoverkostoon ja otetaan käyttöön, on rakennettu johto-osuus puhdistettava, vesitiiveys varmistettava painekokeella, desinfioitava klooripitoisella vedellä sekä lopuksi huuhdeltava.

Pitkät ja suuriläpimittaiset (> 160 mm) siirtovesijohdot on suositeltavaa puhdistaa puhdistuselementeillä (putkipossuilla) tai sykepuhdistuksella (vesi-ilmahuuhtelu), sillä vesihuuhtelu ei yleensä ole riittävän tehokas poistamaan kaikkea kiintoainesta. Kiintoaineen poisto ennen desinfiointia on tärkeää, ettei kiintoaine alenna desinfiointitehoa. Putkeen jäänyt kiintoaine tarjoaa hyvän kasvualustan mikrobikasvulle.

Desinfioinnissa putki täytetään vesijohtoverkon vedellä ja kloorikemikaalin annostus järjestetään niin, että veden klooripitoisuus on putkessa tasaisesti noin 20 -50 mg/l. Klooriliuos jätetään putkeen liuoksen pitoisuudesta riippuen vähintään 12-24 tunnin ajaksi. Tämän ajan jälkeen veden pitäisi sisältää koko desinfioitavassa johdossa vielä vähintään puolet alkuperäisestä vapaan kloorin määrästä. Tämä osoittaa, että putkessa

ei ole mitään ylimääräistä klooria kuluttavaa epäpuhtautta. Mikäli kloorin kulutus on suurempaa, putki täytyy puhdistaa uudelleen.

Huuhtelussa putki täytetään pienellä virtamaalla, minkä jälkeen huuhteluvirtaamaa lisätään vähitellen enimmäisarvoonsa. Tämän jälkeen huuhtelua jatketaan maksimivirtaamalla 10 – 15 minuuttia. Putkesta tulevan veden kirkkaus tarkistetaan silmämääräisesti. Suurissa putkissa virtaamaa ei saada riittävän suureksi, jolloin apuna käytetään painepesulaitetta. Kun kloori on huuhdeltu pois putkesta, veden annetaan virrata putkessa hitaasti vielä vuorokauden, jotta tilanne tasaantuu kloorauksen jälkeen. Tämän jälkeen putkesta otatetaan näyte mikrobiologisiin analyysihin desinfiointituloksen tarkistamiseksi. Vedessä ei saa olla koliformisia bakteereja eikä *E.colija* ja heterotrofisen pesäkeluvun tulee olla verkoston normaalitasolla.

Taulukossa 6 on yhteenveto toimenpiteiksi uuden vesijohdon puhtauden varmistamiseksi ennen käyttöönottoa.

Taulukko 6. Uuden putken puhdistus ja desinfiointi (Mukaillen Safe Piped Water, WHO 2004, s. 92).

Toimenpide	Menetelmä
Asennus	Työn aikana huolehditaan, ettei putken sisälle pääse maa ainesta tai maaperän tai sadevesiä
Mahdollisen kiintoaineen poisto putkesta	Elementtipuhdistus ("possutus"), ilma-vesi-huuhtelu tai vesihuuhtelu
Puhdistustuloksen tarkistus	Juoksuta putkesta vettä Veden sameuden ja ulkonäön tulee olla sama kuin putkeen menevän
Desinfiointi	Täytä putki vedellä, jonka klooripitoisuus on 20 – 50 mg/l (esim. 10 % natriumhypokloriittia 170 – 420 ml/m ³) Anna kloorin vaikuttaa ainakin 12 – 24 tuntia Desinfiointitehon parantamiseksi veden pH voidaan alentaa alle 7,5:n
Desinfiointituloksen tarkistus	Kloorin vaikutusajan jälkeen tarkista veden klooripitoisuus, oltava vähintään 10 – 25 mg/l
Putken loppuhuuhtelu	Huuhtele putki huolellisesti kunnes klooripitoisuus on verkostoveden normaalilla tasolla
Veden juoksutus ennen näytteenottoa	Juoksuta vettä vähintään 24 tuntia
Näytteenotto	Juoksuta vettä putkesta ja ota näyte Näytteestä tutkitaan ainakin <i>E. coli</i> , koliformiset bakteerit, suolistoperäiset enterokokit sekä sameus ja aistinvarainen laatu Lisäksi voidaan tutkia heterotrofinen pesäkeluku
Putken käyttöönotto	Putki voidaan ottaa käyttöön, jos - siinä ei ole koliformisia bakteereita eikä <i>E. coli</i> - sameus ei poikkea normaalista verkostovedestä - vedessä ei ole vierasta hajua tai makua - heterotrofinen pesäkeluku alle asetetun tavoitteen - klooripitoisuus on verkoston normaalilla tasolla ja vähintään alle 5 mg/l (WHO:n raja-arvo)

Putkirikot

Jos vesijohto joudutaan tekemään paineettomaksi korjaustöiden aikana, on olemassa suuri hygieeninen riski, koska maa-ainesta ja maaperän likaamaa vettä voi päästä putken sisälle. Tällöin on hygieenisyyden varmistamiseksi usein tarpeen desinfioida korjattu putkiosuus ennen käyttöönottoa. Puhtaaltakin näyttävä maaperä voi sisältää haitallisia bakteereja. Erityistä vaaraa aiheutuu jätevesiviemärin läheisyydessä. Jos vesijohtoverkoston putkirikko on korjattu korjausmuhveilla paineelliseen vesijohtoon, ei yleensä tarvita erityisiä toimia putkilinjan puhtauden ja hygieenisyyden varmistamiseksi.

Mikäli likaantumisen ei oleteta levinneen korjausta varten suljettua putkilinjaa laajemmalle, desinfiointi on suositeltavaa suorittaa vain muusta verkostosta suljetussa verkostonosassa. Tällöin estetään muun verkoston likaantuminen ja voidaan käyttää korkeampia klooripitoisuuksia ja lyhyempää vaikutusaikaa.

Aina verkoston sulkeminen ei ole mahdollista tai verkosto on jo ehtinyt likaantua laajemmin ennen kuin putkirikko havaitaan ja korjataan. Tällöin verkosto joudutaan desinfioimaan laajemmin tai jopa kokonaan, syöttämällä desinfiointikemikaalia joko laitoksella ja/tai mittaus- ja paineenkorotusasemilla.

Taulukossa 7 on yhteenveto toimenpiteiksi korjatun vesijohdon puhtauden varmistamiseksi ennen käyttöönottoa.

Taulukko 7. Korjatun putken puhdistustoimenpiteet (Mukaillen Safe Piped Water, WHO 2004, s. 93 sekä Vesijohtoverkostojen putkirikkotilanteet ja niiden hallittu korjaaminen, VVY 2011)

Toimenpide	Menetelmä
Korjaus	Korjaustoimenpiteen aikana pyri estämään maa-aineksen ja veden pääsy putkeen. Tarvittaessa leikkauskohta ja liitoskappalet desinfioidaan 1000 mg/L klooripitoisella liuoksella.
Huuhtelu	Huuhtele niin kauan, että vesi on kirkasta Pääsääntöisesti huuhtelu tehdään ensin virtaussuunnassa korjauspaikan alapuolelta ja sen jälkeen yläpuolelta paloposteista ja sammutusvesiasemilta. Jos verkostoon on päässyt kiintoainetta elementtipuhdistus tai sykepuhdistus voi olla tarpeen.
Jälkidesinfiointi	Jos korjattuun linjaan on päässyt tai epäillään päässeen vettä putkiston ulkopuolelta tai kiintoainetta se on desinfioitava. Putki desinfioidaan täyttämällä putki klooripitoisella vedellä esim.: - 50 mg/l 30 minuuttia tai - 20 mg/l 2 tuntia Desinfioitua verkostonosaa huuhdellaan kunnes kloori on hävinnyt.
Näytteenotto	Huuhdellusta putkesta otetaan näyte ainakin <i>E. coli</i> ja koliformisten bakteerien ja klooripitoisuuden tutkimiseksi.
Käyttöönotto	Putki voidaan ottaa käyttöön, kun - siinä ei ole koliformisia bakteereja eikä <i>E. coli</i> - klooripitoisuus on verkoston normaalilla tasolla ja ainakin alle 5 mg/l (WHOn raja-arvo). - ellei epäillä mikrobiologista saastumista, harkinnan mukaan desinfioinnin jälkeen, ennen mikrobiologisten analyysien valmistumistakin - vedessä ei ole vierasta ja hajua tai makua

5.2.3 Ala- ja ylävesisäiliöiden klooraus

Säiliöt täytyy tarkistaa, huoltaa ja pestä säännöllisesti ja desinfioida tarvittaessa, jos säiliöiden vedessä todetaan tai epäillään mikrobiologista likaantumista. Uusi, kunnostettu tai saneerattu säiliö on puhdistettava huolellisesti esimerkiksi painepesurilla ja sen jälkeen desinfioitava. Desinfiointi tehtyjen toimenpiteiden jälkeen on tärkeää, jotta varmistutaan, että säiliön mahdollinen työnaikainen likaantuminen saadaan desinfioitua. Säiliötyöskentelyssä täytyy huolehtia työturvallisuudesta erityisen huolella.

Desinfiointi voidaan tehdä joko ottamalla säiliö täyteen vettä ja lisäämällä desinfiointikemikaali veteen tai ruiskuttamalla klooriliuosta säiliön sisäpinnoille.

Erityisesti ruiskutusdesinfioinnissa tulee huomioida ruiskuttajan ja mahdollisten avustajien ihon, silmien ja hengityselinten suojaus suojavaattein ja kasvomaskein. Ruiskutetun klooriliuoksen annetaan vaikuttaa säiliön pinnoilla muutaman tunnin, jonka jälkeen säiliö täytetään verkostovedellä. Erillistä huuhtelua ei tarvita, sillä suureen vesimäärään sekoittuessaan säiliöveden klooripitoisuus ei nouse korkeaksi. Joissakin tapauksissa ruiskuttamalla tehtävä desinfiointi ei onnistu kunnolla johtuen säiliön koosta tai rakenteesta. Ruiskutettaessa kloorin vaikutusaika jää paikoin lyhyeksi, sillä liuos valuu ja haihtuu pois pinnoilta.

Täyttämällä tehtävä desinfiointi on ruiskutusta työturvallisempi vaihtoehto, mutta edellyttää erotusventtiilien täydellistä tiiveyttä, jotta klooripitoista vettä ei pääse vesijohtoverkostoon. Lisäksi siinä syntyy säiliöllinen klooriliuosta, joka täytyy johtaa joko viemäriin tai ympäristöön. Täyttämällä tehtävässä desinfioinnissa pitää varmistua kloorin tasaisesta sekoittumisesta veteen. Klooriliuoksen annetaan vaikuttaa säiliössä 12-24 tuntia. Desinfiointiajan päätyttyä klooriliuksella täytetty säiliö tyhjennetään ennalta sovitun mukaisesti hallitusti joko viemäriin tai ympäristöön.

Koska liikkuminen säiliössä kunnostus ja saneeraustöiden yhteydessä aiheuttaa suurimman vaaran säiliön likaantumiseen, säiliön pohja ja seinien alaosa ovat yleensä tärkeimmät desinfioitavat pinnat. Täyttämällä tehtävä klooraus voidaankin toteuttaa myös ottamalla säiliön pohjalle noin 0,5-1 m syvyydeltä klooriliuosta. Vaikutusajan jälkeen säiliö joko tyhjennetään suoraan kuten edellä on kuvattu tai täytetään ensin kokonaan, jolloin ylemmätkin pinnat tulevat kosketuksiin klooripitoisen veden kanssa.

Säiliön desinfioinnissa suositellaan käytettävän natriumhypokloriitista valmistettua klooriliuosta, jonka klooripitoisuus on 10 mg/l. Mikäli säiliön tiedetään likaantuneen mikrobiologisesti, voidaan harkinnan mukaan käyttää koreampiakin pitoisuuksia. Klooripitoisuus tulee määritellä riittävän tehokkaaksi, mutta säiliötiloissa työskentelyyn sopivaksi sekä siten, että säiliön rakenteet eivät vaurioidu.

Pesun ja desinfioinnin onnistumisen varmistamiseksi säiliöstä otetaan edustava vesinäyte. Ennen vesinäytteen ottamista on huolehdittava, ettei desinfiointiin käytetty kloori vaikuta enää vedenlaatuun. Säiliö otetaan käyttöön mikäli analyysit osoittavat, ettei vedessä ole koliformisia bakteereja eikä *E.colija*, veden klooripitoisuus on hyväksyttävällä tasolla, aistinvarainen laatu kunnossa ja heterotrofinen pesäkeluku on normaalilla tasolla.

5.2.4 Kalkkikivisuodattimien klooraus

Kalkkikivirouheet varastoidaan ulkokasoilla, joten se saattaa sisältää epäpuhtauksia. Ennen käyttöönottoa sekä aina, kun suodattimeen on lisätty kalkkikivirouhetta, täytyy suodatin huuhdella ja desinfioida. Ennen kalkkikivirouheen desinfiointia, suodattimesta on poistettava hieno pölymäinen aine huuhtelemalla kunnes vesi on kirkasta. Rouheen desinfioinnissa käytetään klooripitoisuutta 20-50 mg/l ja klooripitoisen veden annetaan seistä suodattimessa klooripitoisuudesta riippuen 15-24 tuntia.

Desinfiointiliuos, jonka klooripitoisuus on 50 mg/l, valmistetaan sekoittamalla 0,4 l 10 % natriumhypokloriittia 1 m³ puhdasta vettä. Klooripitoinen liuos johdetaan kalkkikivialtaaseen ja annetaan liuoksen vaikuttaa vähintään 15 tuntia. Tämän jälkeen rouhetta huuhtellaan puhtaalla vedellä kunnes klooripitoisuus on laskenut hyväksyttävälle tasolle. Suodattimelta tulevasta vedestä otetaan vesinäytteitä mikrobiologisen laadun varmistamiseksi. Vedessä ei saa olla koliformisia bakteereja eikä *E.colija*. Tarvittaessa

desinfiointi ja huuhtelu toistetaan. Desinfiointi voidaan toteuttaa myös puhtaalla höyryllä.

5.2.5 Kaivon pesuklooraus

Kun otetaan käyttöön uusi kaivo tai kaivo on jostain syystä puhdistettava ja desinfioitava, se voidaan tehdä seuraavien periaatteiden mukaan. Ohje perustuu Suomen ympäristökeskuksen verkkosivuilla olevaan ohjeistukseen kaivon desinfioinnista.

Kaivon puhdistuksen ja tarvittavan kunnostuksen jälkeen kaivo pumpataan mahdollisimman tyhjäksi ennen desinfiointia. Kaivoveden pintaa ei saa kuitenkaan alentaa liikaa, koska tällöin vaarana on kaivon pohjan murtuma. Huuhteluvirtaaman on oltava riittävän suuri, jotta kaivossa oleva kiintoaine poistuu. Porakaivojen ja siiviläputkikaivojen huuhtelussa voi olla hyvä liikutella huuhtelupumpun imuputken päätä kaivon eri syvyydessä. Kaikkien huuhtelussa käytettävien välineiden pitää olla puhtaita, jotta vältetään riski kaivon likaantumisesta. Välineiden pitää olla vain puhtaan veden kanssa kosketuksissa käytettyjä ja niiden hygieenisuus voidaan varmistaa pesun jälkeen desinfioimalla noin 1000 mg/l klooria sisältävällä liuoksella (10 ml 10 % natriumhypokloriittia litraan vettä).

Kloorauskemikaalina käytetään natriumhypokloriittia tai veteen liuotettua kalsiumhypokloriittiliuosta. Kloorausliuoksen vahvuudeksi suositellaan 10 mg klooria litrassa ja käsittelemiseksi 12 - 24 tuntia. Kloorausliuos valellaan kaivon seinämiin ruiskuttamalla kaivoon, juoksutetaan vettä kaivoon ja klooripitoinen vesi jätetään seisomaan kaivoon ja putkistoon. Vaikutusajan jälkeen kaivoa ja putkistoa on huuhdeltava niin kauan, että klooripitoisuus laskee vesilaitoksen veden normaalitasolle.

Kaivosta otetaan vesinäyte mikrobiologisia tutkimuksia varten ja näyte toimitetaan laboratorioon. Vesinäyte voidaan ottaa aikaisintaan noin viikon kuluttua kaivon puhdistuksesta ja desinfioinnista. Kaivovedestä ei saa löytyä koliformisia bakteereja, tai *E.colija* eikä suolistoperäisiä enterokokkeja ja heterotrofisen pesäkeluvun (68 h, 22 °C) pitää olla normaalitasolla.

5.3 KLOORIN ANNOSTELUN SÄÄTÄMINEN

Kloorin annostelussa on tärkeää annostella kemikaalia riittävästi tarvittavan desinfiointitehon saavuttamiseksi, mutta myös estää yliannostus. Tarvittavaan kemikaaliannokseen vaikuttaa kloorattavan veden laatu, verkoston kunto ja pituus sekä vesisäiliöiden kunto ja koko. Kloorin säilyminen verkostossa selvitetään kloorimittauksin, joiden tulokset huomioidaan annostelussa. Natriumhypokloriittia käytettäessä pitää huomioida kemikaalin pitoisuuden lasku varastoitaessa.

Oikean kemikaalimäärän annosteluun vaikuttaa kemikaalimäärän säädön lisäksi annostelu- ja mittauslaitteiston kunto. Laitteiden säännöllistä tarkistusta ja huoltoa on käsitelty luvussa 6.

Annostelun onnistumista seurataan säädön lisäksi esimerkiksi kloorikemikaalin pinnan korkeuden (säiliössä mitta-asteikko tai mittalasi) tai painon (säiliö sijoitetaan vaa'an päälle) seurantaan varastosäiliössä. Seuraavassa on esitetty tarkemmin kloorauksen säätömenetelmiä.

Jatkuvassa kloorauksessa tarvitaan automaattinen sekä virtaamaan että jäännöskloorin pitoisuuden mittaukseen perustuva säätö. Automaattisella annostelulaitteiston säädöllä pidetään käsiteltävän veden klooripitoisuus halutussa arvossa riippumatta kloorin tarpeen ja virtauksen muuttumisesta. Tämän lisäksi automaatioon on asetettava klooripitoisuudelle ylä- ja alarajat hälytykselle ja kloorauskemikaalin annostelun pysäytys, jos klooripitoisuus nousee asetetun arvon yli. Tapauskohtaisesti on myös harkittava, että pitääkö verkostoon pumppauksen pysähtyä, jos kloorin annostelu keskeytyy tai klooripitoisuus on liian alhainen. Laitokselle sopivat raja-arvot on mietittävä tapauskohtaisesti.

Annostelulaitteistoon kuuluu virtaamamittari ja kloorianalysaattori sekä kloorin annostelupumppu, joka vastaanottaa signaaleja edellisistä. Laitteisto on tehokkain, kun virtaaman muutosta käytetään pääasiallisena suureena kloorin syötön ohjauksessa ja jäännöskloorin pitoisuuden mittausta käytetään hienosäätöön. Kloorin pitoisuuden mittauksessa arvot muuttuvat erittäin hitaasti ja niitä käytetään vain mahdollisesti tarvittavaan hienosäätöön sekä häiriöiden hälytyksiin. Analysaattorin virheellinen lukema ei saa johtaa kloorin yliannostukseen.

Väliaikaisessa kloorauksessa säätö tapahtuu joko samoin kuin jatkuvassa kloorauksessa tai automaattisesti virtaamaohjattuna yhdessä käsimittarilla tai laboratoriossa tehtyjen klooripitoisuusmittausten avulla. Jälkimmäisessä tapauksessa laite ohjaa kloorin syöttömäärää automaattisesti ja jatkuvasti virtaaman mukaisesti pyrkien samaan suhteelliseen annostukseen. Operaattori puolestaan määrää annostuksen esimerkiksi käsimittarilla tai laboratoriossa tehtyjen klooripitoisuusmittausten perusteella. Kemikaalin annostelumäärää kannattaa nostaa vähitellen suuremmaksi ja tehdä klooripitoisuuden tarkistusmittauksia käsiteltävästä vedestä. Menetelmä soveltuu väliaikaiseen klooraukseen esimerkiksi uusia putkia tai säiliöitä desinfioitaessa.

6 KLOORAUSLAITTEIDEN YLLÄPITO

Kloorauslaitteiden ylläpito ja huolto on tehtävä laitteiden mukana tulevien käyttö- ja huolto-ohjeiden mukaisesti

Erityisesti on huomattava seuraavissa kappaleissa esitettävät asiat.

6.1 HYPOKLORIITILAITTEISTO

Kalvotyyppisiä annostelupumppuja käytettäessä kalvot on vaihdettava ajoittain. Vaihtoväli riippuu hypokloriittiliuoksen väkevyydestä ja vastapaineesta. Venttiilit saattavat lakata toimimasta korroosion, kovettumisen tai saostumien seurauksena. Erityisesti karbonaattisakkaa muodostuu venttiileihin, pumpunpäähän ja putkiin. Sakka voidaan poistaa pumppaamalla 5 prosentista suolahappoa pumpun ja letkujen läpi, kunhan hypokloriitti on ensin huuhdottu kokonaan pois järjestelmästä. Hypokloriitti ja happo muodostavat vaarallista kloorikaasua ja siksi natriumhypokloriitti on huuhdeltava huolellisesti pois letkuista ja pumpuista ennen pesua hapolla. Pesujen aikana täytyy käyttää tarvittavia käyttöturvallisuustiedotteen mukaisia suojavarusteita (kasvosuojus, esiliina ja suojakäsineet). Letkut haurastuvat ajan myötä ja niiden kuntoa on jatkuvasti tarkkailtava ja ne on vaihdettava säännöllisesti.

Laimennettua hypokloriittia annosteltaessa putkilinjaan ja pumppuun syntyy saostumia. Saostumat on poistettava säännöllisellä huuhtelulla ja pumpunpään puhdistuksella. Erityisesti on tarkkailtava venttiileitä ja niiden toimivuutta. Myös hypokloriittiastiassa oleva pohjaventtiili ja siivilä on tarkastettava. Puhdistukset on hyvä tehdä viikoittain. Saostumien muodostumista voidaan vähentää käyttämällä laimennukseen pehmennettyä vettä.

Natriumhypokloriitti syövyttää metalleja ja se pitää huomioida myös syöttöpisteessä, esimerkiksi varmistamalla että natriumhypokloriitti syötetään putken keskelle ja/tai se sekoittuu hyvin veteen.

Annostelupumpun tuotto eli sen annostustarkkuus pitää tarkistaa säännöllisesti esimerkiksi kellon ja liuossäiliössä olevan mittalasin avulla.

Myös valmiudessa olevien hypokloriittilaitteistojen kunnosta pitää huolehtia ja tarkistaa ja koekäyttää laitteita säännöllisesti.

6.2 KLOORIKAASUJÄRJESTELMÄT

Kosteus

Mikäli kloorikaasujärjestelmissä on kosteutta, aiheuttaa kloorikaasu voimakasta korroosiota teräksisiin järjestelmän osiin ja useimpiin muihinkin metalleihin. Yleensä kloorikojeessa on vain muoviosia, mutta jotkut liittimet ja venttiilit saattavat sisältää metallia. Mikäli joku liitos katkeaa, aukot on heti tukittava. Koska korroosio tapahtuu yleensä sisältä päin, ei sitä havaita helposti. Kosteuden pääsy varusteisiin on estettävä korroosion ehkäisemiseksi.

Kloorin epäpuhtaudet

Kloorikaasu on hyvin puhdasta, mutta joitakin yhdisteitä, kuten ferrikloridia ja heksakloorietaania, saattaa esiintyä pieniä määriä.

Ferrikloridia saattaa myös syntyä kloorisäiliöissä korroosion seurauksena tai mikäli kosteutta on vahingossa päässyt järjestelmään. Ferrikloridi näkyy ruskeana siirappimaisen yhdisteenä, joka liukenee helposti veteen. Laitteiden puhdistamisen jälkeen on osat kuivattava kunnolla ennen uudelleen kokoamista, jottei ferrikloridia syntyisi.

Heksakloorietaania saostuu kaasulinjassa paikkoihin, joissa paine tai lämpötila laskee. Se voidaan poistaa liuottamalla trikloorietaanilla. Trikloorietaani on vedessä jo hyvin pieninä pitoisuuksina vakava laatuvirhe. Se on poistettava huuhtelemalla huolellisesti.

Joustavat liitokset ja tiivisteet

Metalliset joustavat putket, joilla kytketään kloorisäiliöt kloorausjärjestelmään, on vaihdettava vuosittain metallin väsymisen vuoksi.

Joustavat aineet ja O-renkaat haurastuvat ajan myötä. Paisuneet, epämuodostuneet ja kuivuneet tiivisteet on vaihdettava. Tiivisteitä on tarkkailtava säännöllisesti. Kun säiliötä vaihdetaan tai kloorikoje liitetään järjestelmään, on myös tiivisteet vaihdettava.

7 KÄYTTÖTURVALLISUUS JA TYÖSUOJELU

Veden klooridesinfiointiin käytettyjen kemikaalien käsittely vaatii erityistä huolellisuutta. Vaarallisten aineiden käsittelyn turvallisuus edellyttää työntekijöiden koulutusta ja tiedottamista sekä riittävästi turvaohjeita, ohjausta sekä turvavälineiden käyttöä.

Työntekijän koulutukseen on sisällytettävä:

- Ohjeet ja harjoitukset kemikaalien turvalliseen käyttöön työtehtävissä
- Ohjeet ja harjoitukset koskien paloturvallisuus varusteiden, hälytysten sekä hätätäkaisimien (kuten venttiilit ja katkaisijat) sijaintia, tarkoitusta ja käyttöä
- Ohjeet ja harjoitukset koskien turvavarusteiden sijaintia, tarkoitusta ja käyttöä
- Ohjeet ja harjoitukset työntekijöiden osalta koskien ensiapuvälineiden sijaintia, tarkoitusta ja käyttöä
- Ohjeet välttää myrkyllisten kaasujen hengittämistä sekä suoraa kontaktia syövyttävien nesteiden kanssa
- Ohjeet raportoida oikealle viranomaiselle kaikista vuodoista ja laitehäiriöistä

Uusi työntekijä on opastettava työhönsä erityisen huolellisesti.
--

Liitteeseen 7 on koottu kloorauskemikaalien varoitusmerkit sekä tarkempia ohjeita kemikaalien varastointiin ja käsittelyyn liittyen. Kun ostetaan tai säilytetään kemikaaleja, varoitusmerkit ja standardilausekkeet on löydettävä kemikaalipulloon/-säiliöön kiinnitettyinä. Kemikaalia ostettaessa on saatava myös kemikaalin säilytysohjeet.

Kloorauksessa käytettävien kemikaalien käsittelyä ja varastointia koskee Valtioneuvoston asetus 855/2012 vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta. Asetuksen mukaisesti kloorin varastointimäärän ollessa alle 0,1 tonnia, on kyseessä vähäinen varastointi, joka ei ole ilmoituksenvaraista. Kloorin varastointimäärän ylittäessä 0,1 tonnia tulee varastoinnista tehdä ilmoitus pelastusviranomaiselle. Mikäli samalla toimipaikalla toimii useita toiminnanharjoittajia, joista osa harjoittaa laajamittaista varastointia ja osa vähäistä ja toiminnanharjoittajien toiminta muodostaa toiminnallisen kokonaisuuden, tulee ilmoitus kuitenkin tehdä Turvallisuus- ja kemikaalivirastolle. Varastointimäärän ylittäessä 2 tonnia on kyseessä laajamittainen varastointi, jolle tulee hakea kirjallinen lupa Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta.

Säiliöt ja astiat sekä niiden merkinnät on oltava lakien ja määräysten mukaisia.

Sosiaali- ja terveysministeriö on määritellyt HTP-arvot eli haitallisiksi tunnettujen pitoisuuksien arvot (109/2005). HTP-arvot on otettava huomioon tarkasteltaessa ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä.

Kaikkien kloorauskemikaalien käsittely edellyttää henkilökunnalta suojavarusteiden käyttöä. Kumi- tai muovikäsineet, esiliina, silmäsuojaimet, hengityssuojain (tyyppi B) sekä muut soveltuvat suojavälineet on oltava käytössä valmistettaessa ja käsiteltäessä liuoksia. Käsiteltäessä on oltava erittäin huolellisia ja vältettävä roiskeita. Altistuneet vaatteet on poistettava heti sekä roiskeet huuhdeltava runsaalla vedellä.

Perushuoltotoimenpiteitä ja mahdollisia vaaratilanteita varten on laitoksella hyvä olla turvalaitteita henkilökunnalle. Kaasunaamio on oleellinen kaasuaumentuvien aineiden ollessa käytössä. Kaasunaamioiden soveltuvuus kyseiseen käyttötarkoitukseen on varmistettava. Vaaratilanteita varten lisävarusteita tulee säilyttää sen tilan ulkopuolella, jossa klooria säilytetään. Peittäviä suojalaseja olisi hyvä olla vaaratilanteita varten sa-

moin kuin muita suojaruuvareita. Hätäsuihkujen, silmienhuuhtelulaitteiden tai vastaavien huuhtelusysteemien tulee sijaita vaarapaikan läheisyydessä.

Kloorikaasua käytettäessä tulee asentaa automaattiset kloorivuotojen havainnointilaitteet. Tiloissa, joissa klooria tai klooridioksidia käsitellään, varastoidaan tai annostellaan, täytyy olla pitoisuusmittarit ja hälyttimet. Paikalla, jolla klooria käsitellään, on oltava tehokas ilmanvaihto. Mikäli vuotava säiliö havaitaan, on se välittömästi poistettava säilytystilasta, sillä se voi aiheuttaa korroosiota muille säiliöille tai alueella oleville laitteille. Kosteus vahvistaa kloorin korrodoivia ominaisuuksia.

Natriumhypokloriitin helpommin taattava turvallisuus suhteessa kloorikaasuun on syytä ottaa huomioon kloorausmenetelmää valittaessa.

7.1 ENSIAPU

Käytössä olevien kemikaalien tarkemmat ensiapuohjeet täytyy selvittää etukäteen. Ensiapuohjeet täytyy olla etukäteen tiedossa myös silloin, kun kloorauskemikaalin käyttöön on vain varauduttu. Hätätilanteessa apua ja ohjeita saa yleisestä hätänumerosta 112. Lisäohjeita saa tarvittaessa **Myrkytystietokeskuksesta** puh.09-471 977. Myrkytystietokeskus vastaa puhelimesta ympäri vuorokauden äkillisten myrkytysten ehkäisyyn ja hoitoon liittyviin kysymyksiin. Keskus palvelee koko maata.

Seuraavassa on yleisiä ohjeita ensiapuun:

- Mikäli tuotetta on joutunut silmiin, silmiä on huuhdeltava vedellä riittävän pitkään. Huuhtelu on suoritettava silmäluomet auki. Piilolinssit on poistettava, jos sen voi tehdä helposti. Tämän jälkeen potilas on toimitettava lääkärin hoitoon.
- Mikäli tuotetta on joutunut iholle, huuhdellaan alue runsaalla vedellä riittävän pitkään ja riisutaan kloorin likaama vaatetus heti. Potilas on toimitettava lääkäriin. Mikäli tuotetta on iholla tai vaatteissa merkittäviä määriä, on henkilön, joka auttaa puhdistuksessa pidettävä huoli myös omasta turvallisuudestaan. Auttajan tulee käyttää suojakäsineitä ja kokonaamaria, jossa on kloorisuodatin. Kloorin likaamia vaatteita ei saa viedä sisätiloihin, koska haihtuva kloori ärsyttää voimakkaasti silmiä ja ylähengitysteitä. Likaantuneet vaatteet voidaan laittaa esimerkiksi muovisäkkiin. Mikäli henkilö on niellyt hypokloriittia, on suu ensin huuhdeltava vedellä ja potilaan on juotava välittömästi runsaasti vettä. Tämän jälkeen on otettava yhteys lääkäriin. Potilasta ei saa oksennuttaa.
- Kloorikaasu- tai klooridioksidimyrkytyksen saanut potilas on välittömästi siirrettävä pois saastuneelta alueelta. Potilas siirretään puoli-istuvaan asentoon. Mikäli kaasua on joutunut hengitysteihin, on syytä soittaa ambulanssi. Uhri on syytä pitää avoimessa tilassa, sillä hänen vaatteensa ovat mahdollisesti imeneet merkittävät määrät kloorikaasua. Olosuhteet huomioon ottaen (ilman lämpötila, mahdollisien peittojen saatavuus) uhrin vaatteet on syytä poistaa. Mikäli potilaan hengitys vaikeutuu, annetaan hänelle tarvittaessa tekohengitystä.

Ensiapuun liittyviä tärkeimpiä asioita eri kloorauskemikaaleille on kerrottu liitteessä 7.

8 KIRJALLISUUTTA

Ahlberg, K. 1985. Gas handbook, AGA Ab, 581 s

American Water Works Association 1973. Water Chlorination Principles and Practices. AWWA MANUAL M20. 84s

Letterman R. 1999. Water Quality & Treatment, American Water Works Association. 1841s

Drinking Water Chlorination - A Review of Disinfection Practices and Issues. The Chlorine Chemistry Council. 2003. Verkko-osoite: http://c3.org/chlorine_issues/disinfection/c3white2003.html

EPA United States Office of Water. 1991. Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources. Washington DC, United States Environmental Protection Agency. Verkko-osoite: <http://www.epa.gov/safewater/mdbp/guidsws.pdf> 18.9.2013

EPA, United States Office of Water 1999. Alternative Disinfectants and Oxidants. Guidance Manual 1999. EPA 815-R-99-014. 346 s. Verkko-osoite: www.epa.gov/safewater/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf

Geo Clifford White 1999. Handbook of chlorination and alternative disinfectants. 4. ed. John Wiley Sons, Inc, 1569 s

Svenskt Vatten 2013. God Desinfektion Praxis (Förenklad GDP), Svenskt Vatten raport. 25 s

Hammer, Mark 1975. Water and Waste-Water Technology. Canada: John Wiley & Sons Inc

Cotruvo J., Craun G., Hearne, N. (toim.) 1999. International Symposium on Drinking Water in Small Systems. Providing safe drinking water in small systems: Technology, Operations and Economics. , Washington D.C.: CRC Press

LeChevallier, M.W and Kwok-Keung Au. 2004. Water treatment and pathogen control. Process efficiency in achieving safe drinking water. IWA Publishing, London. WHO Verkko-osoite: http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/en/watreatpath.pdf 18.9.2013

Montana Water Center 1999. Ground Water Manual for Small Water Systems. Montana University. Verkko-osoite: <http://water.montana.edu/training/gw/default.htm>, 29.12.2004

Norsk Vann 2009. Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis. Norsk Vann Rapport 170/2009. 99 s

RIL 2004. Vesihuolto II. Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki. 684 s

RIL 2013. Vesitornien ja alavesisäiliöiden kunnonhallinta. Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki. luonnos

VAV 1996. Dricksvattenteknik. Efterbehandling. Distribution. Publikation P73

Vesilaitosyhdistys 2014. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla, 49 s

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 2011. Vesijohtoverkostojen putkirikkotilanteet ja niiden hallittu korjaaminen, 61 s

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 2012. Vesilaitostekniikka ja hygienia, 56 s

Vesihuollon osto-opas 2006. KL-kustannus Oy, 14. vsk

Virolainen, K. Lautkaski R., Enbom S., Tiihonen J. 2003. Klooridioksidin valmistuksen turvallisuusopas. TUKES-julkaisu 6/2003. Turvatekniikan keskus. 42 s.

Warf C 1999. Chlorine dioxide and the small drinking water system. Teoksessa: Cotruvo J., Craun G. & Hearne N. (toimittajat). Providing safe drinking water in small systems. Washington, USA: CRC Press LLC, s. 121 – 131

Ronald J. Holden & Michael Gaper 2003. Water Well Disinfection Manual. Water Division, Michigan Department of Environmental Quality, 50 s

WHO 2011: Guidelines for Drinking-water Quality. 4. ed. World Health Organization. Verkko-osoite:http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf 18.9.2013.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, www.tukes.fi

Työterveyslaitos, onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet –turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet):

- Natriumhypokloriitti www.ttl.fi/ova/nathyklo.html
- Klooridioksidi: www.ttl.fi/ova/klooridio.html
- Kloori: www.ttl.fi/ova/kloori.html

WHO 2004.WHO, Safe Piped Water. s.92-93

9 LIITTEET

- Liite 1 Kloorin reaktiot
- Liite 2 Kloorauksen desinfiointiteho
- Liite 3 Laskukaavat ja esimerkit
- Liite 4 Mittareita ja analysaattoreita
- Liite 5 Kloorin määrittäminen
- Liite 6 Sanastoa
- Liite 7 Kloorauksessa käytettävien kemikaalien luokitus ja merkinnät, terveysvaikutukset, käsittely ja varastointi

Liite 1 Kloorin reaktiot

Kloorikaasua liuotettaessa veteen syntyy alikloorihapoketta:



Reaktio on erittäin nopea tavallisissa veden lämpötiloissa ja hydrolyysi tapahtuu noin sekunnissa lämpötilan ollessa + 3 °C. HOCl on heikko happo, jonka happovakio pKa on 7,5. Alikloorihapokkeen ja hypokloriitti-ionin suhde siis riippuu veden pH:sta. Kloorikaasu alentaa hieman veden pH:ta sekä alkaliteettia. Alikloorihapoke protolysoituu seuraavasti:



pH:sta riippuen alikloorihapoke on tasapainossa vedessä hypokloriitti-ionin kanssa seuraavasti.



Käytännössä se merkitsee sitä, että kun veden pH on alle 7, suurin osa alikloorihapokkeesta on dissosioitumatonta ja kun pH on yli 8, kaikki happo on dissosioitunut (Reaktio 3). Tämä on erityisen tärkeää, koska kloorauksessa dissosioitumaton alikloorihapoke on 80 – 100 kertaa tehokkaampi tuhoamaan bakteereja kuin dissosioitunut muoto.

Natriumhypokloriitti ja kalsiumhypokloriitti reagoivat samalla tavoin eli ne dissosioituvat täydellisesti (reaktiot 4a ja 4b) ja syntynyt hypokloriitti-ioni asettuu tasapainoon alikloorihapokkeen kanssa (reaktio 5):



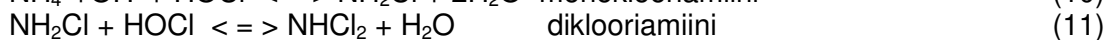
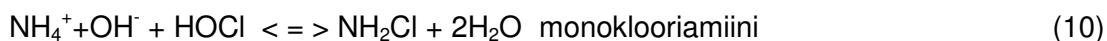
Koska hypokloriitit ovat vahvan emäksen ja heikon hapon suoloja, ovat niiden vesiliuokset emäksisiä ja ne nostavat veden pH-arvoa. Lisäksi natriumhypokloriitissa on ylimääräistä lipeää. Kalsiumhypokloriitti nostaa veden kovuutta. Tavanomaisessa desinfioinnissa vaikutukset ovat hyvin pienet.

Syntyneet kloorin komponentit reagoivat vedessä olevien aineiden ja yhdisteiden kanssa. Dissosioitumaton alikloorihapoke tunkeutuu mikrobien soluseinän läpi ja tuhoaa sen entsyymijärjestelmän.

Klooriyhdisteet reagoivat vedessä olevien pelkistyneiden epäorgaanisten yhdisteiden kanssa: rauta, mangaani, nitriitti ja sulfidit hapettuvat (reaktiot 6-9):



Klooriyhdisteet reagoivat vedessä olevan ammoniumin kanssa muodostaen klooriamiineja (reaktiot 10-12):





Klooriamiinien muodostumismekanismeja ei täysin tunneta. Muodostuneiden mono-, di- ja triklooriamiinien suhteet riippuvat happamuudesta, klooriannostuksesta ja kontaktiajasta.

Monoklooriamiini syntyy nopeasti pH:n ollessa 7-8.5 ja kun kloorin ja ammoniumin välinen moolisuhde on 1 (painosuhde on 5:1). Monoklooriamiinin muodostusta käytetään klooriamiinikloorauksessa.

Diklooriamiinin muodostus on hitaampaa kuin monoklooriamiinin ja sitä syntyy, kun kloorin ja ammoniumin moolisuhde on 2 (painosuhde 10:1). Diklooriamiinin muodostumisnopeus kiihtyy, kun pH lähestyy arvoa 5. Diklooriamiinin desinfioiva vaikutus on suurempi kuin monoklooriamiinin, mutta se aiheuttaa haju- ja makuvirheitä veteen.

Triklooriamiinin muodostumiseen on yleensä vähäistä. Muodostumisnopeus kasvaa, kun pH laskee alle viiden, mutta sitä saattaa muodostua jopa pH:n arvolla 9,5, kun kloorin ja ammoniumin moolisuhde on 5 (painosuhde 25:1). Triklooriamiini on kaasumainen yhdiste, joka aiheuttaa pahaa hajua ja makua veteen (uimahallin haju) ja on ainoa klooriamiiniyhdiste, joka kirvelee silmiä.

Muita ammoniumista muodostuvia yhdisteitä ovat hydratsiini, hydroksyyliamiini, typpi-kaasu, typpioksidit, nitriitti, nitraatti ja typpitetroksidi. Näistä eniten muodostuu typpi-kaasua ja nitraattia.

Kaikki nämä reaktiot ovat mahdollisia taitepistekloorauksessa, mutta käytännössä lopputuotteena taitepisteessä pidetään triklooriamiinia. Taitepistekloorauksessa ammonium muuttuu typpikaasuksi ja ammonium häviää kokonaan vedestä.

Kloori reagoi useiden orgaanisten yhdisteiden kanssa joko hapettaen ne tai muodostaen kloorattuja orgaanisia yhdisteitä. Näistä mainittakoon orgaaniset amiinit, joista syntyy esimerkiksi metyyliklooriamiinia ja fenolit, joista syntyy hajua ja makua aiheuttavia kloorifenoleita.

Suomessa erityisen ongelman aiheuttavat humus ja sen hajoamistuotteina syntyvien asetyyliin reaktiot kloorin kanssa. Lopputuotteen syntyy trihalometaaneja (CHX_3 , missä X voi olla joko Cl, Br tai J). Näistä erityisesti kloroformi CHCl_3 on vahingollinen sen syöpää aiheuttavien ominaisuuksien takia. Bromattuja muotoja syntyy, koska kloori muuttaa bromidin alibromihapokkeeksi HOBr , joka reagoi orgaanisten yhdisteiden kanssa samoin kuin alikloorihapoke.

Klooridioksidin reaktiot

Klooridioksidi on erittäin voimakas hapetin hajoten kloridiksi ja okso-ioniksi:



Klooridioksidi muodostetaan usein natriumkloriitista ja kloorikaasusta sekoittamalla.



Liite 2 Kloorauksen desinfiointiteho

Kloorauksen tehokkuus riippuu kyseisen kemikaalin hapetus-pelkistyspotentiaalista. Mitä korkeampi se on, sen tehokkaampi on desinfiointiteho).

Desinfioinnin tehokkuutta voidaan kuvata usein pitoisuus – viipymäkuvaajalla. Kun kummatkin muuttujat kuvataan omilla akseleillaan logaritmisesti, saadaan tietylle desinfiointiteholle suora, jota kutsutaan Ct-diagrammiksi. Desinfiointiteho ilmoitetaan usein logaritmisena poistumana: 90 prosentin poistuma on log 1, 99 prosentin poistuma log 2 jne. Taulukoihin L3.1-L3.4 on koottu eräitä Ct-arvoja erityyppisille mikrobeille.

Taulukko L2.1 Eri desinfiointimenetelmien vertailu, 99 %:n desinfioinnin vaatima Ct-arvo 2 LRV kemikaaleille ja 4 LRV UV:lle (lähde WHO 2011)

Menetelmä	Patogeeni	Annos, mJ/cm ²	Ct ₉₉ mg/l× min	Lämpötila °C	pH	Huomioita
Kloori	Virukset		2-30	0-10	7-9	Pääasiassa <i>Giardia</i>
	Bakteerit		0.04-0.08	5	6-7	
	Alkueläimet		25-245	0-25	7-8	
Klooridioksidi	Virukset		2-30	0-10	7-9	
	Bakteerit		0.02-0.3	15-25	6.5-7	
	Alkueläimet		100			
Otsoni	Virukset		0.006-0.2			Riippuu T °C:sta, <i>Cryptosporidium</i> vaihtelee
	Bakteerit		0.02			
	Alkueläimet		0.5-40			
UV	Virukset	7-186				
	Bakteerit	0.65-230				
	Alkueläimet	<1-60				

Taulukko L2.2. Eräiden bakteerien 99 %:n inaktivointiin tarvittava CT-arvo eri lämpötiloissa ja pH-arvoilla (WHO 2004)

Yhdiste	<i>E. coli</i>			Heterotrofiset bakteerit		
	pH	Lämpötila °C	CT mg/lxmin	pH	Lämpötila °C	Ct mg/lxmin
Kloorihapoke	6,0	5	0,04	7,0	1-2	0,08 ± 0,02
Hypokloriitti-ioni	10,0	5	0,92	8,5	1-2	3,3 ± 1,0
Klooridioksidi	6,5	20	0,18	7,0	1-2	0,13 ± 0,02
	6,5	15	0,38	8,5	1-2	0,19 ± 0,06
	7,0	25	0,28			
Monokloori-amiini	9,0	15	64	7,0	1-2	94,0 ± 7,0
				8,5	1-2	278 ± 46

Taulukko L2.3. Virusten kloorilla tapahtuvan 99 %:n desinfioinnin vaatima Ct-arvo (WHO 2004, White 1999)

pH-alue	Ct, mg/l× min	
	Lämpötila, 0-15 °C	Lämpötila 10 °C
7,0-7,5	12	8
7,5-8,0	20	15
8,0-8,5	30	20
8,5-9	35	22

Taulukko L2.4. *Giardia* kystien inaktivoitumisen tarvitsemat Ct-arvot mg/l×min 10 C-asteessa kloorille (2004, jossa viittaus EPA 1991)

Klooripitoisuus mg/l	pH 7 inaktivoitumisaste			pH 8 inaktivoitumisaste		
	90	99	99,9	90	99	99,9
1,0	37	75	112	54	108	162
1,6	40	79	119	58	116	174
2,0	41	83	124	61	121	182
2,6	44	87	131	65	129	194

Taulukko L2.5. *Giardian* kystien inaktivoitumisen Ct-arvo mg/l×min 10 C-asteessa. (EPA 1999)

	inaktivoitumisaste			olosuhteet
	90	99	99,9	
Kloori	35	69	104	vapaa kloori ≤0.4 mg/l, pH 7
Klooriamiini	615	1230	1850	pH 6-9
Klooridioksidi	7.7	15	23	pH 6-9
Otsoni	0.48	0.95	1.43	pH 6-9

Taulukko L2.6. *Cryptosporidiumin* inaktivoitumisaste eräiden tutkimusten mukaan (WHO 2004)

Jäännöskloori mg/l	Kontakti- aika, min	Ct mg/l×min	Lämpötila °C	pH	Inaktivoitumisaste %
Kloori					
80	90	7200	25	7	>99
15	240	3600	22	8	47
968	1440	1 393 920	10	7	85
17	30	510	*	*	99
Monoklooriamiini					
80	90	7200	25	7	99
15	240	3600	22	8	99,6
3,75	1440	5400	10	7	80,5

* ei ilmoitettu

Liite 3 Laskukaavat ja esimerkit**Eräitä laatumuunnoksia**

1 kg = 1000 g 1 g = 1000 mg 1 m ³ = 1000 l 1 l = 1000 ml	1 m ³ /h = 1000 l/h 1 l/h = 16,7 ml/min 1 % jostakin = yksi sadasosa
--	---

Vesilaitoksella eri kohteissa ja erilaisissa tilanteissa käytettävät kloorikemikaaliannokset ja -laimennokset on syytä laskea etukäteen.

1. Hypokloriitin annostelumäärän laskeminen

Natriumhypokloriittiliuoksen klooripitoisuuden suuruusluokan voi arvioida kuvan käyriltä hankinta-ajan ja säilytyslämpötilan perusteella. Tuoreen 10 % natriumhypokloriitin klooripitoisuus on noin 120 g/l (=120000 mg/l)

Säiliöön tai putkeen annosteltavan natriumhypokloriitin määrä lasketaan seuraavasti:

$$\text{Lisättävä natriumhypokloriittiliuos}(l) = \frac{\text{säiliön tilavuus}(m^3) \times \text{haluttuklooripitoisuusvedessä}(mg / l)}{\text{Hypokloriittiliuoksenaktiivinenklooripitoisuus}(mg / m^3)}$$

Esimerkki:

1000 m³:n säiliön kloorauksessa halutaan veden klooripitoisuudeksi 5 mg/l ja käytetyn natriumhypokloriittiliuoksen pitoisuus on 10 % ja se on tuoretta (klooripitoisuus 120 g/l). Natriumhypokloriittia on lisättävä:

$$\text{Natriumhypokloriittimäärä} = \frac{1000000l \times 5 mg / l}{120000 mg / l} \approx 41,6 l$$

Hypokloriittiliuoksen jatkuvan annostuksen määrä voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä:

$$\text{Hypokloriittiliuos annostus}(m^3 / h) = \frac{\text{Vedenvirtaama}(m^3 / h) \times \text{klooriannos}(mg / l)}{\text{Hypokloriittiliuoksenaktiivinenklooripitoisuus}(mg / l)}$$

2. Laimennuslaskut

Yleensä annosteltava hypokloriittimäärä on varsin pieni, joten kemikaalia annostellaan laimennettuna.

Laimennuslaskuissa lasketaan, kuinka paljon puhdasta vettä on lisättävä väkevään liuokseen, jotta saadaan annostukseen sopiva liuos.

Väkevän liuoksen laimennus voidaan laskea seuraavasti:

Esimerkki 1.

Pyrittäessä klooripitoisuuteen 5 mg/l, tarvitaan 10 % natriumhypokloriittia 40 ml vesi-m³ kohti.

Jos pyritään klooripitoisuuteen 0,5 mg/l, tarvitaan 1% natriumhypokloriittia 40 ml vesi-m³ kohti.

1 % natriumhypokloriittia saadaan laimentamalla 10 % natriumhypokloriittia veteen 1:10, eli sekoittamalla 10 l natriumhypokloriittia ja 90 l puhdasta vettä.

Natriumhypokloriittiliuoksen tiheys (ominaispaino)

Laimennettavan hypokloriittiliuoksen tiheys ilmenee ostetusta tuotteesta. Keskimääräiset pitoisuuden ja tiheyden arvot ovat seuraavassa taulukossa.

Natriumhypokloriittiliuoksen keskimääräinen tiheys eri pitoisuuksilla.

Klooripitoisuus, %	Tiheys, kg/l
15	1,26
13	1,24
10	1,17
7,5	1,115
5	1,08
2	1,02
1	1,0

Liite 4 Mittareita ja analysaattoreita

Eräitä markkinoilla olevia vesilaitoskäyttöön tarkoitettuja mittareita ja analysaattoreita kloorin määrittämiseksi. Tilanne on lokakuulta 2013.

Laite	Merkki	Edustaja Suomessa
Erilaisia käsimitteja ja on-line-analysaattoreita kloorille, klooridioksidille ja kloriitille	Prominent	Prominent Finland Oy
Kaasuhälyttimeä kloorikaasulle ja klooridioksidille	Dräger MiniWan	Liitin Oy
Erilaisia spektrofotometrejä, kolorimetrejä ja on-line-analysaattoreita kloorille	Palintest	Verlatek Oy VWR Finland Oy
Kaasuhälyttimeä kloorikaasulle	Honeywell	Honeywell Finland
Erilaisia käsimitteja ja on-line-analysaattoreita kloorille, klooridioksidille ja kloriitille	DIT	Kaiko Oy Grundfos
Erilaisia spektrofotometrejä, kolorimetrejä ja on-line-analysaattoreita kloorille	Hach Lange	Hyxo Oy
Erilaisia spektrofotometrejä ja käsimitteja kloorille	Lovipond	VWR Finland Oy, HOH Separtek Oy, HyXo Oy, Sarlin Oy

Liite 5 Kloorin määrittäminen

Klooria voidaan määrittää helposti kolorimetrisesti valmistesteillä, jotka perustuvat DPD (N,N-dietyyli-1,4-fenyleenidiamiini)- reagenssin värinmuodostukseen. Muodostuneen värin voimakkuus korreloi klooripitoisuuteen. Klooripitoisuuden (värin voimakkuuden) mittaaminen tehdään kolorimetrillä, fotometrillä tai spektrofotometrillä. Valmistetit ovat joko jauheita, tabletteja tai valmiskyvettejä, joissa reagenssit ovat nestemäisessä olomuodossa. Määrittäminen kestää vain minuutteja. Mittausalue vaihtelee välillä 0 – 5 mg/l.

Suurempien pitoisuuksien määrittämiseksi voidaan käyttää jodometristä titrausta, missä näyte titrataan 0,1-N natriumtiosulfaattiliuoksella. Titrausmenetelmä soveltuu käytettäväksi laboratorioissa, ei kenttä- tai laitosolosuhteissa.

Näytteen laimentaminen

Eräissä tapauksissa veden klooripitoisuus saattaa olla niin suuri, että kloorikomparaattorin tai fotometrin mittausalueen yläraja tulee vastaan. (HUOM. jos käytetään tätä menetelmää, ei välttämättä havaita suurta yliannostusta!) Silloin näyte tulee laimentaa tislattulla vedellä niin, että päästään suurin piirtein mittausalueen keskivaiheelle. Näytettä laimennettaessa voi osa kloorista vapautua ja klooripitoisuus laskea alkuperäisestä. Laimennetusta näytteestä saatu lukema kerrotaan sitten laimennuskertoimella, jolloin saadaan todellinen pitoisuus. Oheiseen taulukkoon on koottu joitakin laimennuksia ja niitä vastaava laimennuskerroin

Laimennussuhde	Laimennuskerroin
1 osaa näytettä ja 4 osaa tislattua vettä	5
1 osaa näytettä ja 2 osaa tislattua vettä	3,33
1 osaa näytettä ja 1 osaa tislattua vettä	2
2 osaa näytettä ja 1 osaa tislattua vettä	1,5
4 osaa näytettä ja 1 osaa tislattua vettä	1,25

Esimerkki: Jos mittarin mittausalue on 0 – 1 mg/l, kannattaa pyrkiä laimennokseen, joka antaa lukemaksi 0,5 mg/l. Tehdään laimennussarja, ja mitataan pitoisuus kullekin laimennukselle. Jos laimennussuhteella 1,5 saadaan arvoksi 0,7 mg/l, on todellinen pitoisuus $0,7 \times 1,5 = 1,05 \text{ mg/l}$.

Vapaan ja sidotun kloori määrittämiseksi on olemassa seuraavat analyysistandardit:

1. SFS-EN ISO 7393-1:en Veden laatu. Vapaan kloorin ja kokonaiskloorin määrittäminen. Osa 1: Titrimetrinen menetelmä käyttäen N,N-dietyyli-1,4-fenyleenidiamiinia Water quality. Determination of free chlorine and total chlorine. Part 1: Titrimetric method using N, N-diethyl-1,4-phenylenediamine (ISO 7393-1:1985)
2. SFS-EN ISO 7393-2:en Veden laatu. Vapaan kloorin ja kokonaiskloorin määrittäminen. Osa 2: Kolorimetrinen menetelmä rutiinivalvontaan käyttäen N,N-dietyyli-1,4-fenyleenidiamiinia Water quality. Determination of free chlorine and total chlorine. Part 2: Colorimetric method using N, N-diethyl-1, 4-phenylenediamine, for routine control purposes (ISO 7393-2:1985)
3. SFS-EN ISO 7393-3:en Veden laatu. Vapaan kloorin ja kokonaiskloorin määrittäminen. Osa 3: Jodometrinen titrausmenetelmä kokonaiskloorin määrittämiseksi Water quality. Determination of free chlorine and total chlorine. Part 3: Iodometric titration method for the determination of total chlorine (ISO 7393-3:1990)

Liite 6 Sanastoa

Alkaliteetti	Vedessä oleva bikarbonaatti-ionin määrä. Kuvaa veden kykyä vastustaa pH-muutoksia eli puskurikapasiteettia. Osa emäksistä kuten lipeä ja sooda lisäävät veden alkaliteettiä.
Alkueläin	yksisoluinen mikro-organismi, joista esimerkiksi <i>Giardia</i> ja <i>Cryptosporidium</i> voivat aiheuttaa vesivälitteisiä vatsatautiepidemioita
Bakteeri	Erittäin laaja joukko hyvin pieniä mikro-organismeja, joiden koko on mikrometriluokkaa. Niitä esiintyy kaikkialla luonnossa. Suuri osa bakteereista on välttämättömiä, osa aiheuttaa tauteja.
Deklooraus	Vapaan kloorin poisto vedestä. Dekloorauskemikaaleja käytettäessä syntyy kloridi-ioneja. Klooria voidaan poistaa myös aktiivihiiლისuodatuksella.
Biofilmi	Bakteerien ja muiden mikro-organismien erilaisille pinnoille muodostama kerrostuma
Desinfiointi	Sellainen veden käsittely, jolla fysikaalisin tai kemiallisin menetelmin tuhotaan tautia aiheuttavat mikrobit
Hydrolyysi	Aineen reagoiminen veden kanssa niin, että yhdiste pilkkoutuu.
Hypokloriitti	Kloorihapokkeen suoloja (natrium- ja kalsiumhypokloriitti), jotka reagoivat kuten veteen liuotettu kloorikaasu
Indikaattoribakteerit	Bakteereja, jotka osoittavat ulosteperäistä saastutusta ja antavat osviittaa desinfioinnin onnistumisesta. Käytetään tautia aiheuttavien bakteerien asemasta, koska ne on helppo analysoida.
Kloori	Kaasumainen alkuaine, jota käytetään kloorauksessa
Mikrobi, mikro-organismi	Pieneliö, joihin kuuluvat virukset, bakteerit, alkueläimet, hiivat ja homeet.
Klooraus	Kloorikaasulla, natriumhypokloriitilla tai klooridioksidilla tapahtuva veden desinfiointi
Kloorikoje	Kaasumaisen kloorin annostukseen tarkoitettu laite, "klorinaattori"
Klooriamiini	Kloorin ja ammoniumin (ammoniakki, salmiakki) muodostama yhdiste, jota käytetään mikrobien kasvun ehkäisyyn verkostossa.
Kokonaiskloori	Sidotun kloorin ja vapaan kloorin summa
Komparaattori	Laite, jonka avulla määritetään tietyn aineen pitoisuus vertaamalla vesinäytteeseen lisätyn kemiallisen aineen synnyttämää väriä värikarttaan.

Kolorimetri tai fotometri	Sähköinen värin voimakkuuden ja sen mukaan aineen pitoisuuden mittari.
Korroosio	Materiaalien syöpyminen, joka johtuu esimerkiksi erilaisten metallien liittämisestä toisiinsa ja/tai alhaisesta pH-arvosta ja alkaliteetista ja veden pehmeystä
pH	Veden happamuutta kuvaava luku. Vesi on hapanta, jos sen pH on alle 6 ja emäksistä, jos pH on yli 8.
Puskurikapasiteetti	Veden kyky vastustaa happamuuden muutosta. Puskurikapasiteetin lisäystä aiheuttavat etupäässä hiilihappo ja sen suolat.
Sidottu kloori	Typpiyhdisteisiin sidottu kloori, esimerkiksi klooriamiinit
Spektrofotometri	Kuten kolorimetri/fotometri, mutta monipuolisempi ja tarkempi.
Syanidi	Ryhmä yhdisteitä, jotka ovat erittäin myrkyllisiä (syaanivety, kalium-syanidi)
Taitepisteklooraus	Klooria lisätään veteen niin paljon, että sidottu kloori hajoaa ja jäljelle jää vain vapaata klooria.
THM	Trihalometaanit. Kloorattuja orgaanisia yhdisteitä, jotka rakentuvat metaanin kolmen vetyatomin korvautuessa halogeenilla. Esim. trikloorimetaani. Niitä syntyy kloorattaessa orgaanisia yhdisteitä ja saattavat olla syöpää aiheuttavia.
Vapaa kloori	Vapaa kloori, joka on joko alikloorihapokkeena tai hypokloriitti-ionina vedessä. Tehokkain kloorin muoto, mutta ei kovin pysyvä
Virus	Mikro-organismi, joka tarvitsee isäntäsolun kasvaakseen ja lisääntyäkseen. Jotkut virukset, kuten Norovirus, voivat aiheuttaa vesivälitteisiä vatsatauti-epidemioita.

Liite 7 Kloorauksessa käytettävien kemikaalien luokitus ja merkinnät, terveysvaikutukset, käsittely ja varastointi

Kloorauksessa käytettävien kemikaalien kemikaalikohtaiset Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1272/2008 mukaiset luokitus- ja merkintätiedot, kemikaalialtistuksen kuvaukset sekä varastointiin liittyviä ohjeita on esitetty tässä liitteessä 8. EU:n uuden aineiden ja seosten luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskevan ns. CLP-asetuksen (EY) N:o 1272/2008 siirtymäaikana kemikaalien luokitus, merkinnät ja pakkaaminen voi olla kemikaaliseosten osalta myös väistävän lainsäädännön mukaista vuoden 2017 kesäkuun alkuun saakka.

1. Natriumhypokloriitti

Natriumhypokloriittia saatetaan markkinoille väkevyydeltään erilaisina vesiliuoksina, jotka luokitellaan ja merkitään eri tavoin, koska niiden vaaralliset ominaisuudet ovat erilaisia pitoisuuksista riippuen. Toimittajan on tällaisessa tapauksessa merkittävä pitoisuusprosentti varoitusetikettiin. Jollei toisin ilmoiteta, oletetaan, että väkevyys on laskettu painoprosenteina.

Natriumhypokloriitin CAS-numero: 7681-52-9

Natriumhypokloriitin huomiosana: **VAARA**

Natriumhypokloriitin varoitusmerkit:



Natriumhypokloriitin vaaraa osoittavat standardilausekkeet ovat

- H314: Voimakkaasti ihoa syövyttävää ja silmiä vaurioittavaa.
 H400: Erittäin myrkyllistä vesieliöille.
 EUH031: Kehittää myrkyllistä kaasua happojen kanssa

Natriumhypokloriitin erityiset pitoisuusrajat

- | | |
|---|-------------|
| | Pitoisuus C |
| EUH031: kehittää myrkyllistä kaasua hapon kanssa. | C ≥ 5 % |

Natriumhypokloriitin turvallisuustoimenpiteitä osoittavat standardilausekkeet ovat

- P260: Älä hengitä pölyä/savua/kaasua/sumua/höyryä/suihketta.
 P264: Pese ... huolellisesti käsittelyn jälkeen.
 P273: Vältettävä päästämistä ympäristöön.
 P280: Käytä suojakäsineitä / suojavaatetusta / silmiensuojainta / kasvonsuojainta.

- P301+P330+P331: JOS KEMIKAALIA ON NIELTY: Huuhdo suu. Ei saa oksennuttaa.
- P303+P361+P353: JOS KEMIKAALIA JOUTUU IHOLLE (tai hiuksiin): Riisu saastunut vaatetus välittömästi. Huuhdo/suihkuta iho vedellä.
- P304+P340: JOS KEMIKAALIA ON HENGITETTY: Siirrä henkilö raittiiseen ilmaan ja pidä lepoasennossa, jossa on helppo hengittää.
- P305+P351+P338: JOS KEMIKAALIA JOUTUU SILMIIN: Huuhdo huolellisesti vedellä usean minuutin ajan. Poista piilolinssit, jos sen voi tehdä helposti. Jatka huuhtomista.
- P310: Ota välittömästi yhteys MYRKYTYSTIETOKESKUKSEEN tai lääkäriin.
- P321: Eriyishoitoa tarvitaan (katso ... pakkauksen merkinnöissä).
- P363: Pese saastunut vaatetus ennen uudelleenkäyttöä.
- P391: Valumat on kerättävä.
- P405: Varastoi lukitussa tilassa.
- P501: Hävitä sisältö / pakkaus paikallisten / alueellisten / kansallisten / kansainvälisten määräysten mukaisesti (täsmennettävä).

Natriumhypokloriittisumu ärsyttää nenää ja kurkkua. Reaktio happojen kanssa vapauttaa kloorikaasua, joka ärsyttää voimakkaasti hengitysteitä. Suurille kloorikaasun pitoisuuksille (100 - 150 ppm, 300 - 440 mg/m³) altistuminen voi aiheuttaa hengenvaarallisen keuhkopöhön, joka voi ilmetä jopa vasta vuorokauden kuluttua.

Natriumhypokloriittiliuoksen sumu ja roiskeet ärsyttävät tai vahingoittavat silmiä ja ihoa pitoisuudesta riippuen. Yli 5-prosenttiset liuokset saattavat aiheuttaa syöpymisvammoja, jollei ainetta välittömästi huuhdella pois. Ihon toistuva altistuminen laimeallekin natriumhypokloriittiliuokselle kuivattaa ja ärsyttää ihoa ja voi joskus aiheuttaa allergisen ihottuman.

Natriumhypokloriittiliuoksen nieleminen aiheuttaa voimakasta ärsytystä, limakalvovaurioita ja tulehdusta suussa, nielussa, ruokatorvessa ja mahassa. Yleensä alle 5-prosenttiset emäksiset liuokset eivät aiheuta vakavia kudosisvaurioita. Oksentamisen yhteydessä tapahtuva aineen joutuminen keuhkoihin (aspiraatio) voi aiheuttaa keuhkotulehduksen ja keuhkopöhön.

Natriumhypokloriitin varastoinnissa on huomattava seuraavat seikat:

- Se on varastoitava vapaasti hengittävässä ja puhtaassa säiliössä.
- Käytä tarvittaessa suljettuja laitteistoja ja kohdepoistoa.
- Varastoi aine viileässä, kuivassa, hyvin tuuletetussa ja valolta suojatussa tilassa.
- Varastoi erillään lämmönlähteistä sekä hapoista ja hapettuvista aineista.
- Ilmanvaihtojärjestelmän, rakennusmateriaalien ja valaistuksen tulee kestää syövyttävää natriumhypokloriittia.
- Natriumhypokloriitti muodostaa kaasua letkuihin ja voi aiheuttaa työturvallisuusriskin.

- Maaperä on suojattava mahdollisilta vuodoilta.
- Talviolosuhteissa on huomattava, että natriumhypokloriitti kiteytyy noin $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteessa. Laimennetut liuokset kestävät pakkasta vahvoja liuoksia heikommin.

Natriumhypokloriitin 15 minuutin HTP-arvo on 0,5 ppm eli $1,5\text{mg/m}^3$.

2. Kalsiumhypokloriitti

Kalsiumhypokloriitin CAS-numero: 7778-54-3

Kalsiumhypokloriitin huomiosana: **VAARA**

Kalsiumhypokloriitin varoitusmerkit:



Kalsiumhypokloriitin vaaraa osoittavat standardilausekkeet ovat

- | | |
|---------|--|
| H272: | Voi edistää tulipaloa; hapettava. |
| H302: | Haitallista nieltynä. |
| H314: | Voimakkaasti ihoa syövyttävää ja silmiä vaurioittavaa. |
| H335: | Saattaa aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä. |
| H400: | Erittäin myrkyllistä vesieliöille. |
| EUH031: | Kehittää myrkyllistä kaasua happojen kanssa |

Kalsiumhypokloriitin turvallisuustoimenpiteitä osoittavat standardilausekkeet ovat

- | | |
|-----------------|--|
| P210: | Suojaa lämmöltä / kipinöiltä / avotulelta / kuumilta pinnoilta. Tupakointi kielletty. |
| P260: | Älä hengitä pölyä. |
| P273: | Vältettävä päästämistä ympäristöön. |
| P280: | Käytä suojakäsineitä / suojavaatetusta / silmiensuojainta / kasvonsuojainta. |
| P303+P361+P353: | JOS KEMIKAALIA JOUTUU IHOLLE (tai hiuksiin): Riisu saastunut vaatetus välittömästi. Huuhdo/suihkuta iho vedellä. |
| P305+P351+P338: | JOS KEMIKAALIA JOUTUU SILMIIN: Huuhdo huolellisesti vedellä usean minuutin ajan. Poista piilolinssit, jos sen voi tehdä helposti. Jatka huuhtomista. |
| P309+P311: | Altistumisen tapahduttua tai jos ilmenee pahoinvointia: Ota yhteys MYRKYTYSTIETOKESKUKSEEN tai lääkäriin. |

P304+P340:	JOS KEMIKAALIA ON HENGITETTY: Siirrä henkilö raittiiseen ilmaan ja pidä lepoasennossa, jossa on helppo hengittää.
P301+P330+P331:	JOS KEMIKAALIA ON NIELTY: Huuhdo suu. Ei saa oksennuttaa.
P391:	Valumat on kerättävä.
P401:	Säilytä noudattaen paikallisia / alueellisia / kansallisia / kansainvälisiä määräyksiä.
P405:	Varastoi lukitussa tilassa.
P501:	Hävitä sisältö / pakkaus paikallisten / alueellisten / kansallisten / kansainvälisten määräysten mukaisesti (täsmennettävä).

Kalsiumhypokloriitti on melko stabiili normaalissa ilmanpaineessa. Kuitenkin reaktioita orgaanisten aineiden (tärpätti, eetterit, öljyt, sokeri, rasvat...) kanssa saattaa esiintyä spontaanisti. Näin ollen hypokloriitteja käsiteltäessä tulee kiinnittää erityistä huomiota välineiden puhtauteen. Myös kalsiumhypokloriitin säilytyksessä on huomattava, ettei paikalla ole sellaisia kemikaaleja, joiden kanssa se voisi reagoida. Esimerkiksi, mikäli hypokloriittia karkaa ja läheisyydessä on aktiivihiihtä, voi näiden välinen adsorboituminen tapahtua niin nopeasti, että aktiivihiihti syttyy tuleen lämpötilan noustessa.

Kalsiumhypokloriitti vahingoittaa hengityselimiä ja sen pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa keuhkoihin pysyviä vaurioita. Kalsiumhypokloriitti on silmiä syövyttävä ja ihoa ärsyttävä. Kontaktissa tulenarkojen aineiden kanssa se voi aiheuttaa tulipalon. Mikäli se pääsee reagoimaan hapen kanssa, vapautuu myrkyllistä kaasua. Kun klooridioksidipitoisuus ilmassa ylittää 300 g/m³, on seos räjähdysaltis.

3. Klooridioksidi

Klooridioksidin CAS-numero: 10049-04-4

Klooridioksidikaasun huomiosana: **VAARA**

Klooridioksidikaasun varoitusmerkit:



Klooridioksidin vaaraa osoittavat standardilausekkeet ovat

H270:	Aiheuttaa tulipalon vaaran tai edistää tulipaloa; hapettava.
* H330:	Tappavaa hengitettynä.
H314:	Voimakkaasti ihoa syövyttävää ja silmiä vaurioittavaa.
H400:	Erittäin myrkyllistä vesieliöille.
EUH006:	Räjähtävää sellaisenaan tai ilman kanssa.

* Eräiden vaaraluokkien osalta direktiivin 67/548/ETY kriteerien mukainen luokitus ei suoraan vastaa luokitusta CLP-asetuksen mukaisiin vaaraluokkiin ja -kategorioihin. Tällöin aineluettelon mukaista luokitusta pidetään vähimmäisluokituksena.

Klooridioksidin erityiset pitoisuusrajat

	Pitoisuus C
H314: Voimakkaasti ihoa syövyttävää ja silmiä vaurioittavaa	$C \geq 5 \%$
H315: Ärsyttää ihoa	$1 \% \leq C < 5 \%$
H318: Vaurioittaa vakavasti silmiä	$3 \% \leq C < 5 \%$
H319: Ärsyttää voimakkaasti silmiä	$0,3 \% \leq C < 3 \%$
H335: Saattaa aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä	$C \geq 3 \%$

Klooridioksidin turvallisuustoimenpiteitä osoittavat standardilausekkeet ovat

P220:	Pidä / Varastoi erillään vaatetuksesta / ... / syttyvistä materiaaleista.
P244:	Pidä paineenalennusventtiilit vapaana rasvasta ja öljystä.
P260:	Älä hengitä pölyä / savua / kaasua / sumua / höyryä / suihketta.
P264:	Pese ... huolellisesti käsittelyn jälkeen.
P271:	Käytä ainoastaan ulkona tai tiloissa, joissa on hyvä ilmanvaihto.
P273:	Vältettävä päästämistä ympäristöön.
P280:	Käytä suojakäsineitä / suojavaatetusta / silmiensuojainta / kasvonsuojainta.
P284:	Käytä hengityksensuojainta.
P301+P330+P331:	JOS KEMIKAALIA ON NIELTY: Huuhdo suu. Ei saa oksennuttaa.
P303+P361+P353:	JOS KEMIKAALIA JOUTUU IHOLLE (tai hiuksiin): Riisu saastunut vaatetus välittömästi. Huuhdo/suihkuta iho vedellä.
P304+P340:	JOS KEMIKAALIA ON HENGITETTY: Siirrä henkilö raittiiseen ilmaan ja pidä lepoasennossa, jossa on helppo hengittää.
P305+P351+P338:	JOS KEMIKAALIA JOUTUU SILMIIN: Huuhdo huolellisesti vedellä usean minuutin ajan. Poista piilolinssit, jos sen voi tehdä helposti. Jatka huuhtomista.
P310:	Ota välittömästi yhteys MYRKYTYSTIETOKESKUKSEEN tai lääkäriin.
P320:	Erityishoitoa tarvitaan välittömästi (katso ... pakkauksen merkinnöissä).
P321:	Erityishoitoa tarvitaan (katso ... pakkauksen merkinnöissä).
P363:	Pese saastunut vaatetus ennen uudelleenkäyttöä.
P370+P376:	Tulipalon sattuessa: Sulje vuoto, jos sen voi tehdä turvallisesti.
P391:	Valumat on kerättävä.

P403:	Varastoi paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto.
P403+P233:	Varastoi paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto. Säilytä tiiviisti suljettuna.
P405:	Varastoi lukitussa tilassa.
P501:	Hävitä sisältö/pakkaus paikallisten/alueellisten/kansallisten/kansainvälisten määräysten mukaisesti (täsmennettävä).

Turvatekniikan keskus (TUKES) on julkaissut opaskirjan "Klooridioksidin valmistuksen turvallisuusopas" (6/2003). Klooridioksidi on riskialtis kemikaali. Käytettäessä klooridioksidia on työntekijän oltava tietoinen klooridioksidin vaaratekijöistä. Edellä mainittu opas antaa kattavan kuvan klooridioksidista ja sen käytöstä, mutta myös valmistajan kemikaalitiedote on luettava huolellisesti.

Klooridioksidi valmistetaan yleensä käyttöpaikalla pelkistämällä natriumkloriitti suolahapolla tai kloorikaasulla ja liuottamalla syntynyt kaasu veteen. Klooridioksidin vesiliuos on luokiteltu ärsyttäväksi. Väkevä vesiliuos voi syövyttää silmän sarveiskalvoa ja ihoa ja sen nieleminen voi aiheuttaa suun, kurkun ja ylemmän ruoansulatuskanavan ärsytystä ja syöpymistä sekä yleismyrkytyksen oireita.

Klooridioksidin vesiliuoksen vuoto aiheuttaa kuitenkin vakavan terveysvaaran, koska liuoksesta haihtuu ilmaan klooridioksidia.

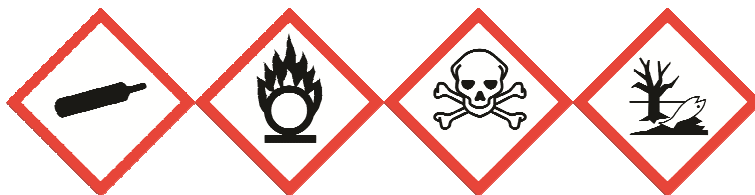
Klooridioksidi on erittäin myrkyllinen ja syövyttävä kaasu. Sen 15 minuutin HTP-arvo on 0,3 ppm eli 0,84 mg/m³. Klooridioksidi vaikuttaa vastaavasti kuin muut kloorikemikaalit ärsyttäen niin hengityselimiä, ihoa kuin silmiäkin.

4. Kloori

Kloorin CAS-numero: 7782-50-5

Klooridioksidikaasun huomiosana: **VAARA**

Klooridioksidikaasun varoitusmerkit:



Kloorikaasun vaaraa osoittavat standardilausekkeet ovat

H270:	Aiheuttaa tulipalon vaaran tai edistää tulipaloa; hapettava.
*H331:	Myrkyllistä hengitettynä.
H319:	Ärsyttää voimakkaasti silmiä.
H335:	Saattaa aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä.
H315:	Ärsyttää ihoa.
H400:	Erittäin myrkyllistä vesieläimille.

EUH006: Räjähävää sellaisenaan tai ilman kanssa.

* Eräiden vaaraluokkien osalta direktiivin 67/548/ETY kriteerien mukainen luokitus ei suoraan vastaa luokitusta CLP-asetuksen mukaisiin vaaraluokkiin ja -kategorioihin. Tällöin aineluettelon mukaista luokitusta pidetään vähimmäisluokituksena.

Kloorin turvallisuustoimenpiteitä osoittavat standardilausekkeet ovat

P220:	Pidä / Varastoi erillään vaatetuksesta / ... / syttyvistä materiaaleista.
P244:	Pidä paineenalennusventtiilit vapaana rasvasta ja öljystä.
P261:	Vältä pölyn / savun / kaasun / sumun / höyryn / suihkeen hengittämistä.
P264:	Pese ... huolellisesti käsittelyn jälkeen.
P271:	Käytä ainoastaan ulkona tai tiloissa, joissa on hyvä ilmanvaihto.
P273:	Vältettävä päästämistä ympäristöön.
P280:	Käytä suojakäsineitä / suojavaatetusta / silmiensuojainta / kasvonsuojainta.
P303+ P352:	JOS KEMIKAALIA JOUTUU IHOLLE: Pese runsaalla vedellä ja saippualla.
P304+P340:	JOS KEMIKAALIA ON HENGITETTY: Siirrä henkilö raittiiseen ilmaan ja pidä lepoasennossa, jossa on helppo hengittää.
P305+P351+P338:	JOS KEMIKAALIA JOUTUU SILMIIN: Huuhto huolellisesti vedellä usean minuutin ajan. Poista piilolinssit, jos sen voi tehdä helposti. Jatka huuhtomista.
P311:	Ota yhteys MYRKYTYSTIETOKESKUKSEEN tai lääkäriin.
P312:	Ota yhteys MYRKYTYSTIETOKESKUKSEEN tai lääkäriin, jos ilmenee pahoinvointia.
P320:	Eriyishoitoa tarvitaan välittömästi (katso ... pakkauksen merkinnöissä).
P321:	Eriyishoitoa tarvitaan (katso ... pakkauksen merkinnöissä).
P362:	Riisu ja pese saastunut vaatetus ennen uudelleenkäyttöä.
P370+P376:	Tulipalon sattuessa: Sulje vuoto, jos sen voi tehdä turvallisesti.
P391:	Valumat on kerättävä.
P403:	Varastoi paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto.
P403+P233:	Varastoi paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto. Säilytä tiiviisti suljettuna.
P405:	Varastoi lukitussa tilassa.
P501:	Hävitä sisältö/pakkaus paikallisten/alueellisten/kansallisten/kansainvälisten määräysten mukaisesti (täsmennettävä).

Kloorikaasu luokitellaan ei tulenaraksi pakatuksi kaasuksi. Se on säilytettävä pakattu-
na vaatimuksen mukaisiin säilytysastioihin (katso 2.1). Jo pieninä pitoisuuksinkin (1

ppm) kaasu ärsyttää limakalvoja ja koko hengitysjärjestelmää. Hengitetyn kaasun määrä määrittelee hengitysjärjestelmälle aiheutuneiden haittojen laajuuden. Klooripitoisuus 10 ppm (30 mg/m^3) aiheuttaa voimakasta silmien, nenän ja kurkunpään ärsytystä, kyynelvuotoa ja yskää. Pitoisuus 20 - 30 ppm voi olla vaarallinen, mikäli altistus kestää yli puoli tuntia. Tästä seuraa voimakasta yskänärsytystä, puristavaa tai polttavaa tunnetta rinnassa ja oksentelua. Altistuminen 100 - 150 ppm:n pitoisuudelle 5 - 10 minuutin ajan voi aiheuttaa hengenvaarallisen keuhkopöhön. Pitoisuus 1 000 ppm voi aiheuttaa kuoleman muutamalla syvällä sisäänhengityksellä. Toistuva altistuminen 5 ppm:n pitoisuudelle voi aiheuttaa tulehduksen nenän ja keuhkoputkien limakalvoilla sekä hammaskiilteen syöpymistä.

Kloorikaasu ärsyttää voimakkaasti silmiä aiheuttaen kirvelyä ja kyynelvuotoa. Kloorikaasun suuret pitoisuudet ärsyttävät kosteaa ihoa. Oireita ovat pistely ja polttava tunne iholla, ihon punoitus ja rakkulat.

Kloorikaasun vaarallisuutta on kahdenlaista. Toisen vaihtoehdon mukaisesti kloori kaasu vapautuu säiliöistä, kun toisessa vaihtoehdossa nestemäistä klooria vapautuu ja edelleen nestemäinen kloori kaasuuntuu. Jälkimmäinen on jopa vaarallisempi vaihtoehto, sillä tällöin kloorikaasu on kosteaa. Kosteaa kaasua tuntuu henkilöstä "siedettävämältä" ja näin uhri huomaamattaan saattaa hengittää merkittävämpiä määriä klooria. Uhri voi vähentää vaaraa pitämällä päänsä mahdollisimman alhaalla, jotta keuhkot tyhjenisivät. Kuivan kloorikaasun ihminen havaitsee nopeasti ilmasta. Kyseisestä tilasta on pyrittävä pois pikaisesti ja hengitys on suoritettava suun kautta mahdollisimman lyhyin henkäyksin. Normaali hengitys aiheuttaa yskimistä, joka on pyrittävä estämään.

Kloorikaasun vuoto voidaan havainnollistaa ammoniakkiin kastetun vanutupon avulla. Mikäli ilmassa on klooria, vanutuposta nousee valkoista savua. (Suuria määriä ammoniakkia ei ole hyvä käyttää.) Huoneessa, jossa kloorikaasu säilytetään, olisi hyvä olla mekaaninen ilmanpoistojärjestelmä alle 30 cm korkeudella lattiasta.

Kloorin 15 minuutin HTP-arvo on 0,5 ppm eli $1,5 \text{ mg/m}^3$.

Nestemäinen kloori ärsyttää ihoa ja voi aiheuttaa iholle merkittäviä vahinkoja. Nämä muistuttavat ulkoisesti palohaavoja. Nestemäisen kloorin roiskeet silmään voivat aiheuttaa pysyviä silmävaurioita sekä mahdollisesti sokeuden. Nestemäinen kloori kaasuuntuu nopeasti ilmakehän lämpötilassa ja paineessa.