

## 1 FORMÅL

Flere forhold påvirker valg av desinfeksjonsmetode, blant annet:

- HMS
- Resteffekt i ledningsnettet
- Vannkvalitet
- Øvrig vannbehandling
- Tilgjengelig kontakttid
- Kostnader

Dette VA/Miljø-bladet skal være til hjelp ved valg av metode, og følgende desinfeksjonsmidler vurderes:

- Natriumhypokloritt (NaOCl)
  - » Fabruikkprodusert
  - » Produsert på stedet ved elektrolyse
- Kalsiumhypokloritt (Ca(OCl)<sub>2</sub>)
- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Ultrafiolett bestråling (UV- bestråling)

## 2 BEGRENSNINGER

Det er mange sterke oksidasjonsmidler som gir desinfeksjon, blant annet klorgass og klordioksid, men som ikke tas med i dette VA Miljø-bladet:

### Klogass:

På grunn av strenge krav til sikkerhet og fare forbundet med transport og lagring er klogass nå erstattet med andre klorprodukter, vesentlig natriumhypokloritt.

### Klordioksid:

Klordioksid (ClO<sub>2</sub>) har ikke vært godkjent som desinfeksjonsmiddel i Norge, og derfor er det ingen vannverk som i dag benytter dette desinfeksjonsmiddelet. Årsaken har blant annet vært faren for dannelse av helseskadelige kloritter, ved for store doser. Nå er imidlertid ett klordioksid-produkt inne på Mattilsynets liste over godkjente desinfeksjonsmidler. *Produktet heter "Oxine" som leveres av Termek AS*

Bruksbetingelser:

≤ 5,0 ppm(mg/l) ClO<sub>2</sub>, og bruken skal ikke gi klorittverdier over 0,7 mg/l.

## 3 FUNKSJONSKRAV

I følge "Forskrift om vannforsyning og drikkevann" ("Drikkevannsforskriften") skal det være to uavhengige hygieniske barrierer.

Barrierene skal:

- Hindre at smittestoffer kommer til drikkevannet
- Drepe eller inaktivere smittestoffer

### 3.1 MULTIBARRIERER

Det er flere forskjellige barrierer som bidrar til hygienisk sikring av drikkevannet. Derfor benyttes begrepet multibarrierer.

Noen barrierer holder tilbake, og hindrer at smittestoffer tilføres drikkevannet, mens andre dreper eller inaktiverer smittestoffer.

Eksempel på tiltak som gir delbarrierer:

- Naturlige barrierer:
  - » Klausulering som hindrer forurensning
  - » Dypinntak i store sjøer
  - » Lang oppholdstid i grunnen (grunnvann)
- Vannbehandling(smittestoffer holdes tilbake)
  - » Kjemisk felling / kontaktfiltrering
  - » Membranfiltrering
  - » Saktefiltrering
  - » Ozon og biofiltrering
- Desinfeksjon:
  - » Klorering
  - » Ozonering
  - » UV-bestråling

## 3.2 LOG - KREDITT

De enkelte barrierene gir forskjellig effekt (inaktivering) i forhold til:

- » Bakterier
- » Virus
- » Parasitter

Det er derfor hensiktsmessig å benytte begrepet log-kreditt, der det settes krav til antall log i forhold til smittestoff som skal inaktiveres / fjernes:

$$\% \text{ inaktivering} = ((1 - (1/10^L)) \times 100)$$

L = logaritmetallet

1-log = 90 % inaktivering

2-log = 99 % inaktivering

3-log = 99.9 % inaktivering

4-log = 99.99 % inaktivering

Krav til log-fjerning for bakterier, virus og parasitter bestemmes av blant annet:

- Antall personer tilknyttet vannverket
- Råvannskilde
- Funn av smittestoffer i vannkilden (Historiske data)

I NorskVann rapport 147 gis en detaljert informasjon om krav til, og beregninger knyttet til log-kreditt.

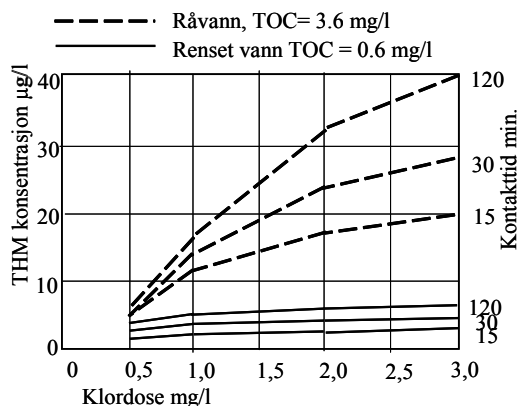
## 3.3 THM (TRIHALOMETANER)

Når klor tilsettes vann som inneholder organisk stoff (for eksempel humus-forbindelser), kan det dannes helseskadlige THM forbindelser

Følgende forhold påvirker THM dannelsen :

- Vannets innhold av organiske forbindelser.
- Klordose
- Kontakttid

I figur 1 vises eksempel på THM dannelse i forhold til mengde organisk stoff, klordose og kontakttid..



Figur 1: Eksempel på dannelse av THM i forhold til klordose, kontakttid og vannets TOC innhold.

I "Drikkevannsforskriften" er grenseverdien for THM 50 µg/l, og som er summen av følgende komponenter:

- Kloroform
- Bromoform
- Dibromklormetan
- Bromdiklormetan

Som det framgår øker THM innholdet med øket klortilsetning og øket kontakttid.

Med norsk klorpraksis, og kravet som stilles til vannkvalitet, vil faren for å nå oppsatt grenseverdi være liten.

## 3.4 Ct- BEREGNINGER

Ved desinfeksjon med klor og ozon er virkningen avhengig av effektiv dose (C) og effektiv kontakttid (t).

Eksempel: Gitt • C effektiv = 0,1 mg.klor/l

• t effektiv = 30 min.

$$Ct = 0,1 \times 30 = 3,0 \text{ mg.min/l}$$

**Effektiv dose:**

Etter tilsetning av klor fås raskt en reduksjon, som blant annet skyldes kloreens oksidasjon med stoffer i vannet. Deretter fås en langsom reduksjon, som er avhengig av vannkvaliteten. Effektiv dose er tilnærmet middelveien etter nevnte raske reduksjon og verdien ved slutten av kontaktperioden

**Effektiv kontakttid:**

Effektiv kontakttid med desinfeksjonsmiddelet er avhengig av hydraulisk faktor (Hvor stor andel av bassengvolumet som er nyttbart) Effektiv kontakttid i minutter

$$(V/Q) \times \text{hydraulisk faktor} \times 60$$

V = Totalt bassengvolum m<sup>3</sup>

Q = Dimensjonerende vannmengde m<sup>3</sup>/h

Det er utformingen av kontaktbassenget, samt inn- og utløpsarrangementet som er avgjørende for hydraulisk faktor.

Hvis bassenget deles i smale og lange enheter (Stempelstrømning), og det etableres gode inn- og utløpsforhold, kan hydraulisk faktor bli over 90 % (0,9). Ved tilnærmet kvadratiske basseng, og direkte inn- og utløp kan hydraulisk faktor bli under 20 % (0,2)

Eksempel: - Totalt bassengvolum (V) 800 m<sup>3</sup>  
- Dim. vannmengde (Q) 1000 m<sup>3</sup>/h  
- Hydraulisk faktor 60 % (0,6)

Effektiv kontakttid blir da:

$$(800/1000) \times 0,6 \times 60 = \text{ca.} 29 \text{ min.}$$

Det bør tilstrebes best mulig hydraulisk faktor, noe som oppnås hvis bassenget deles i segmenter, og at innløp/utløp dekker hele segmentbredden.

For å klarlegge hydraulisk faktor for eksisterende basseng kan det gjennomføres målinger ved hjelp av en tracer.

God informasjon gis i NorskVann rapport 147

### Dimensjonerende Ct- verdier.

I NorskVann rapport 147 foreslås følgende Ct-verdier (mg.min/l) for norske anlegg

Desinfeksjonsmiddel	Bakterier 3 log		Virus 3 log		Giardia 2 log		Crypto 2 log	
	4°C	0,5°C	4°C	0,5°C	4°C	0,5°C	4°C	0,5°C
Klor								
pH < 7	1,0	1,5	4,0	6,0	75	100	i.a	i.a
pH 7-8	1,5	2,0	6,0	8,0	100	150	i.a	i.a
pH > 8	2,0	3,0	8,0	12,0	175	250	i.a	i.a
Kloramin	100	200	1500	2000	1750	2500	i.a	i.a
Klordioksid	1,0	1,5	20	25	25	40	1000	1250
Ozon	0,5	0,75	1,0	1,5	1,5	2,0	30	45

i.a -ikke angitt

Tabell 1: Forslag til Ct verdier ved norske anlegg

## 3.3 GENERELLE FUNKSJONSKRAV

Viktige funksjonskrav, og hvordan de kan oppfylles:

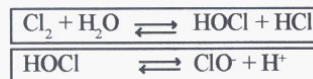
Funksjonskrav	Oppfylles ved
God effekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kloring ved lav pH</li> <li>God UV transmisjon</li> </ul>
Sikring mot avbrudd	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registrering som gir umiddelbar varsling</li> <li>Dublring av viktig utstyr</li> </ul>
Enkle driftsforhold	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sikker registrering og fjernkontroll.</li> <li>Gode FDV rutiner</li> <li>Lett adkomst</li> </ul>
Lav personellrisiko	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sikringsutstyr tilpasset valgt desinfeksjonsmetode</li> </ul>

Det er viktig å avdekke svakheter gjennom risiko og sårbarhetsanalyser (ROS analyser)

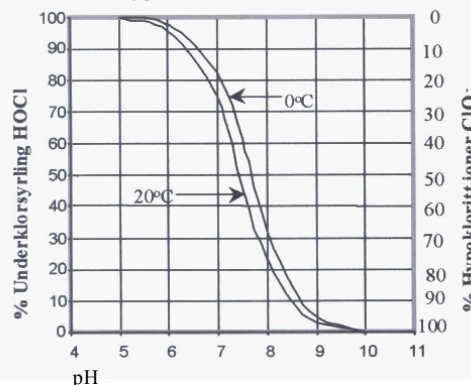
## 4 LØSNINGER

### 4.1 KLOR SOM DESINFEKSJONSMIDDEL

Ulike klorprodukter som tilsettes vann spaltes i underklorisyrling (HOCl) og hypoklorittioner (ClO<sup>-1</sup>)

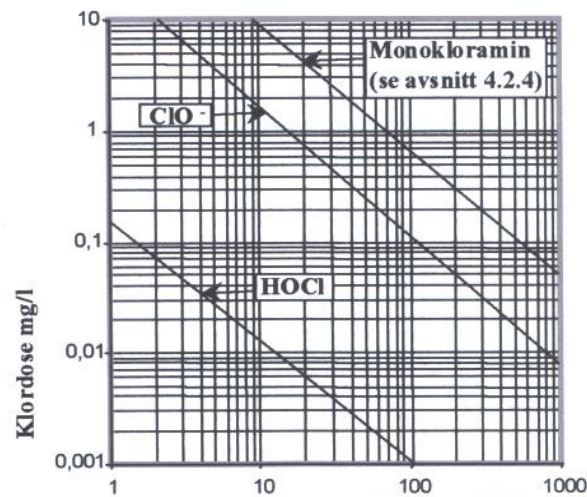


Spaltingen er avhengig av pH slik det vises i figur 2. Underklorisyrling er opp til 50 ganger mer effektiv enn hypoklorittioner.



Figur 2: Spalting av klor i forhold til pH og temperatur

Nødvendig klordose og kontakttid for 99 % (2 log) inaktivering av E-coli vises i figur 3. (Etter "Handbook of Chlorination" av Clifford White 1972.)



Figur 3: Klordose i forhold til kontakttid for å oppnå 99 % (2 log) destruksjon av E-coli.

## 4.2 KLORPRODUKTER

Aktuelle klorprodukter:

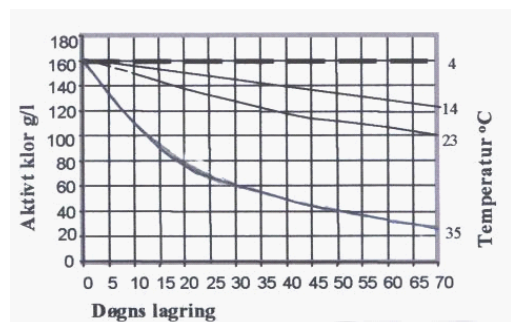
- Natriumhypokloritt: NaOCl
  - Fabrikkproduert
  - Produert på stedet ved elektrolyse
- Kalsiumhypokloritt Ca(OCl)<sub>2</sub>

### 4.2.1 Natriumhypokloritt-Fabrikkproduert

Leveringsmuligheter for natriumhypokloritt:

- Kanner 25 liter
- Container/Palletank 1000 liter
- Bulk /Tankbil inntil 10000 liter

Aktiv klor ved leveranse er ca. 160 g Cl<sub>2</sub>/l, med en spes.vekt på ca. 1.22 kg/l. Aktiv klormengde reduseres ved lagring, slik det vises i figur.4.

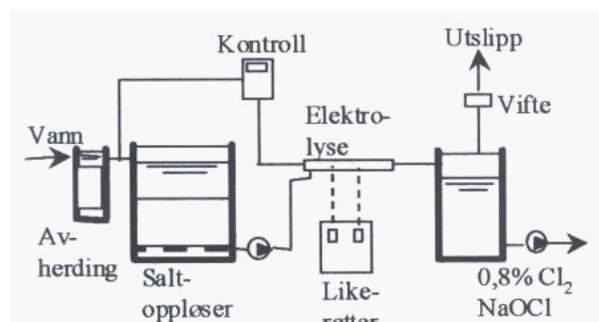


Figur 4: Reduksjon av aktivt klorinnhold i forhold til temperatur og lagringstid.

Holdbarheten øker ved uttynning, og når aktivt klorinnhold er 2 – 3 % blir tapet minimalt.

## 4.2.2 Natriumhypokloritt produsert på stedet ved elektrolyse

Prinsippet vises i figur 5.



Figur 5: Prinsippet for produksjon av klor ved elektrolyse.

For produksjon av 1.0 kg aktivt klor trengs ca. 3-4 kg salt (NaCl) og 4 – 4.5 kWh energi. Ferdig produsert klor har et aktivt innhold på ca. 0,8 %, og derfor fås ikke tap under lagring.

## 4.2.3 Kalsiumhypokloritt Ca(OCl)<sub>2</sub>

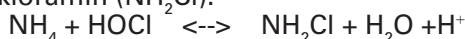
- Leveres i pulverform
- Aktivt klorinnhold 600 g/kg
- Oppløselighet ved 20 °C 60 g/l
- Lagringsbestandig

Kalsiumhypokloritt benyttes sjelden som permanent desinfeksjonsmiddel, men ofte i tilknytning til reservekloring.. Dette fordi produktet kan lagres uten tap av aktiv klor.

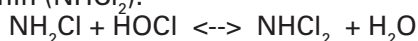
## 4.2.4 Kloramin

Når ammoniakk tilsettes klorert vann dannes kloraminer. Hvilke som dannes er avhengig av pH, og klormengde i forhold til ammonium-innhold

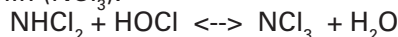
Monokloramin (NH<sub>2</sub>Cl):



Dikloramin (NHCl<sub>2</sub>):



Trikloramin (NCl<sub>3</sub>):



For å unngå smak og luktproblemer tilstrebes monokloramin. Forholdet mellom ammoniakk og fri effektiv klormengde blir da ca. 1:5.

Kloramin har langt svakere desinfeksjonseffekt enn fri klor, men kloramins langtidseffekt gjør at den bidrar til redusert begroing i ledningsnett.

## 4.3 OZON

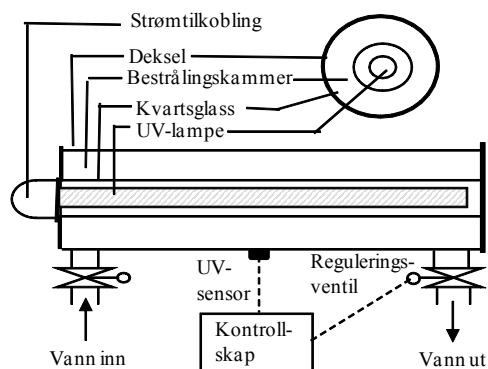
Riktig brukt er ozon et effektivt desinfeksjonsmiddel. Ved ozonering av humusholdig vann vil det dannes biologisk nedbrytbart organisk stoff, og dette må fjernes for å hindre begroing i ledningsnett. Aktuelle metoder er bio-filtrering og hensiktsmessig adsorpsjon (for eksempel filtrering gjennom aktiv kull).

Mengden ozon som må doseres er blant annet avhengig av:

- Effektivitet ved overføring fra gass til vann
- Mengden som oksideres
- Krav til ozonoverskudd i forhold til smittestoffer som skal inaktiveres.

Som det framgår av tabell 1 er ozon et effektivt desinfeksjonsmiddel også mot parasitter.

## 4.4 UV-DESINFEKSJON



Figur 6. Prinsipp av anlegg for UV-bestråling

I figur 6 vises et enkelt prinsipp av anlegg for UV bestråling av vann. Vannmengden gjennom UV anlegget registreres, og reguleres, mens UV-sensorer kontrollerer at stråledosen er som forutsatt.

### 4.4.1 Definisjon av UV-stråledose

$$D = I \times t$$

D = Stråledose i mWs/cm<sup>2</sup> = mJ/cm<sup>2</sup>

I = Intensitet av UV-lyset mW/cm<sup>2</sup>

t = Bestrålingstid i sekunder

Graden av inaktivering (log-kreditt) er avhengig av den stråledosen mikroorganismene utsettes for.

### 4.4.2 Godkjenning av UV anlegg

UV anlegg som er godkjent av Folkehelseinstituttet / Mattilsynet er Biodosimetertestet for å

klarlegge at de gir forventet effekt.

Ved Biodosimetri utsettes testorganismer for ulike UV-doser i kontrollerte lab. forsøk. Oppnådd inaktiveringsgrad (log-reduksjon) i forhold til UV-dose settes opp i en standard-kurve.

For UV anlegg som skal godkjennes måles oppnådd log-reduksjon for samme testorganisme.

### 4.4.3 Krav til UV-doser

I "Veileder til Drikkevannsforskriften" gis følgende informasjon om UV-bestråling:

- En stråledose på >30 mWs/cm<sup>2</sup> anses å være en hygienisk barriere overfor bakterier, virus og parasitter (Refererer seg til beregnet verdi)
- Dersom også bakteriesporer skal inaktiveres må doseverdien være > 40mWs/cm<sup>2</sup> (Refererer seg til målt verdi basert på dosimetertest.)

Det er viktig å være klar over at noen smittestoffer, blant annet ulike typer adenovirus, er svært motstandsdyktige overfor UV- stråler.

### 4.4.4 UV sammen med andre desinfeksjonsmidler

For å øke den hygieniske sikkerheten er det aktuelt å benytte klor/kloramin sammen med UV.

Kloramin produseres etter at kloreten har virket for eksempel 30 min., noe som vil gi god desinfeksjonseffekt. Kloraminen har langtidseffekt, og vil begrense dannelsen av biohud i ledningsnettet.

### 4.4.5 Viktig informasjon ved anskaffelse av UV- anlegg

Informasjon som bør gis til tilbyderne:

- Maksimal vannmengde som skal behandles.
- Dimensjonerende UV-transmisjon / UV-absorbans.
- Valideringsfaktor VF ("sikkerhetsfaktor"). Validerert dose må tilfredsstillende dosekravet
- Effektiv dose 40 mWs/cm<sup>2</sup> (mJ/cm<sup>2</sup>)
- Lampetype (lav- eller mellom-trykk)
- Vaskesystem for kvartsglassene
- Det må klart framgå om følgende oppgaver skal inngå i tilbudet:
  - » Komplette UV aggregat inklusive monterings og igangkjøring.
  - » Komplette styresystem inklusive PLS og programmering..
  - » Komplette rørgalleri inklusive monterings og merking.
- Antall aggregat i parallell, og som hver for seg skal kunne avstenges automatisk:
  - » Ved to aggregat bør hvert klare maks.kravet.

» Ved tre aggregat bør to klare maks kravet

- Grunnlag for, og hva som bør inngå i en eventuell driftsavtale. Bør for eksempel leverandøren overta driftsansvaret i ett gitt tidsrom?

**Med tanke på økonomisk sammenligning bør tilbyderne, i tillegg til anleggskostnader, gi informasjon om:**

- Levetid for UV aggregatene
- Levetid og kostnader for skifte av lamper og kvartsglass
- Energibehov i forhold til UV-dose.
- Andre forhold som påvirker driftskostnadene

Sammenligning av kostnader bør baseres på nåverdi og realrente.

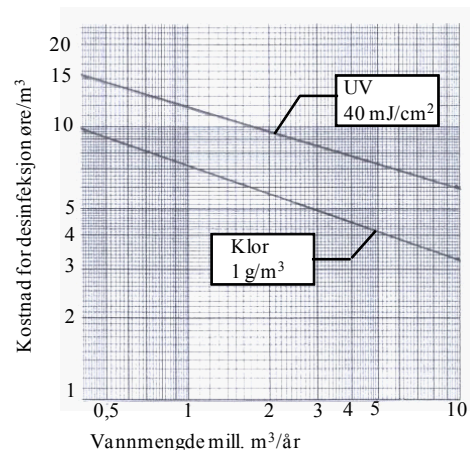
## 4.5 KOSTNADER FOR DESINFEKSJON

I figur 7 vises eksempel på kostnader for klor- og UV-desinfeksjon (øre/m<sup>3</sup>) i forhold til årlig vannproduksjon..

Følgende inngår i kostnadene:

- Alle investeringer knyttet til prosessutstyr, elektro og automasjon (Desinfeksjonsanleggene forutsettes plassert i eksisterende bygg)
- Drift- og vedlikeholdskostnader

I figuren er det forutsatt et klorforbruk på 1.0 g/m<sup>3</sup>. Klorforbruket, etter vannbehandling som fjerner humus, er normalt ca.0.5- 0.6 mg/l. Kostnadene blir da ca. 60 % av angitt pris i figur 7



Figur 7 Kostnader for desinfeksjon. øre/m<sup>3</sup> i forhold til årlig vannproduksjon.

Normalt vil det ikke lønne seg med egen klorproduksjon hvis årlig mengde er lavere enn 1000 kg effektiv klormengde/år.

Valget mellom bruk av fabrikkprodusert klor og produksjon på stedet ( ved elektrolyse) må baseres på grundige analyser

## 4.6 VALG AV DESINFEKSJONSME- TODE

Hensikten med desinfeksjon er å inaktivere smittestoffer (bakterier, virus og parasitter) slik at drikkevannet ikke fører til sykdom. Valgt løsning må baseres på kravet som stilles til log-kreditt for de ulike smittestoffene, og ses i sammenheng med øvrig vannbehandling

Det må også vurderes om det er hensiktsmessig å se flere deinfeksjonsmetoder i sammenheng. Et alternativ er kombinasjonen UV bestråling og klor/kloramin, noe som vil bidra til redusert begroing i ledningsnettet.

Øvrige forhold som må tillegges vekt ved valg av desinfeksjonsmetode:

- Anleggskostnad.
- Drifts- og vedlikeholdskostnad
- Prosessoppbygging
- Arbeidsrisiko
- Områderisiko

<i>Henvisninger:</i>		<i>Utarbeidet:</i>	<i>Mars 1999</i>	<i>Inter Consult Group ASA v/R.Finsrud</i>
<i>/1/</i>	<i>Drikkevannsforskriften med vedlegg</i>	<i>Revidert:</i>	<i>Okt 2009</i>	<i>JOFI AS v/Roar Finsrud</i>
<i>/2/</i>	<i>NorskVann rapport 147.</i>			