

# Klorering som hygienisk barriere - styrker og svakheter

Av Vidar Lund

Vidar Lund er ansatt som forsker ved Avdeling for vannhygiene,  
Nasjonalt folkehelseinstitutt

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 10. november 2008

## Sammendrag

Klorering som desinfeksjonsprosess har vist seg å ha sine klare begrensninger i forhold til inaktivering av parasitter og bakteriesporer, og dette har derfor ført til at svært mange vannverk har installert UV-desinfeksjon, da man da kan oppnå en hygienisk barriere også overfor disse klorresistente mikrobenene. Det finnes imidlertid visse virus, for eksempel Adenovirus, som viser stor resistens overfor UV-bestråling, men som lett lar seg inaktivere med moderate klordoser. Klordesinfeksjon har sin styrke ved at den er en fleksibel og robust prosess, og er ofte rimeligere enn alternative desinfeksjonsmetoder både i anskaffelse og i bruk. Norsk lavklore-ringspraksis kan imidlertid være en potensiell helsetrussel, da en

undersøkelse har vist at 21 % av norske vannverk har problemer med klordoseringen. Innenfor rammen av de beskrevne begrensningene oppfyller imidlertid klor fortsatt kravene som stilles til en hygienisk barriere mot de fleste bakterier og virus som kan forekomme i drikkevann, under forutsetning av at kloreringen utføres etter riktige prosedyrer.

## Bakgrunn

Det store gjennombruddet i kampen mot tradisjonelle, fryktede vannbårne sykdommer som tyfoid feber og kolera, kom rundt år 1900, med introduksjon av klorering av drikkevann (Johnson, 1988). Det første vannverket som innførte klorering ble startet i Belgia i 1902. Klorering viste seg å være en billig, effektiv og pålitelig metode for å sikre god bakteriologisk drikkevannskvalitet. Ingen annen vannbehandlingsprosess har "spredd seg" så raskt

som klorering, for allerede i 1918 hadde over 1000 byer bare i USA innført klordesinfeksjon (Race, 1918).

Drikkevannsforskriften definerer en hygienisk barriere som: ”Naturlig eller tillaget fysisk eller kjemisk hindring, herunder tiltak for å fjerne, uskadeliggjøre eller drepe bakterier, virus, parasitter m.v., og/eller fortenne, nedbryte eller fjerne kjemiske eller fysiske stoffer til et nivå hvor de aktuelle stoffene ikke lenger representerer noen helsemessig risiko.” Hva dette innebærer i praksis, utdypes i veiledningen til Drikkevannsforskriften der det er satt spesifikke funksjonskrav til effektiviteten til en behandlingsmetode, for at den skal kunne ansees som en hygienisk barriere. ”Vannbehandlingsmetoden bør inaktivere bakterier og virus med minimum 99,9 %, og eventuelle parasitter (og bakteriesporer) med 99 % for å bli betraktet som en hygienisk barriere.” (Mattilsynet, 2005). Som vi snart skal se vil ikke klordesinfeksjon med de

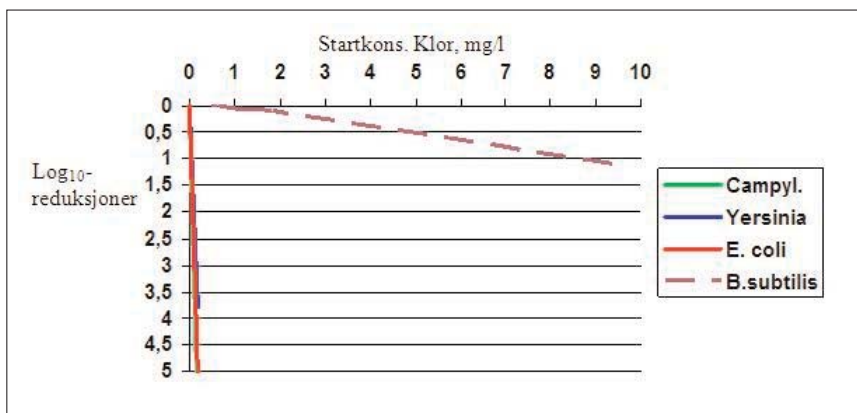
klorkonsentrasjoner vi opererer med ved norske vannverk kunne fungere som en hygienisk barriere alene.

### **Styrker ved klorering som hygienisk barriere**

#### 1. God effekt overfor de fleste vegetative bakterier og virus

Klor har vist seg å være en god barriere mot de fleste vegetative bakterier og virus, også adenovirus, som har vist seg å være resistente overfor UV-bestråling. Klor har imidlertid begrenset effekt overfor bakteriesporer, noe jeg skal komme tilbake til. Effekten av klor på noen vannbårne bakterier er vist i figur 1. Det er hevdet at klor sannsynligvis er det kjemikalium som har reddet flest menneskeliv noe som skyldes at de fleste kjente vannbårne utbrudd skyldes sykdomsfremkallende bakterier og virus.

Det er vist at klors virkemåte er at det ”angriper” (oksidrer) bakterienes cellevegg, noe som medfører at bakteriene begynner å ”lekke” essensielle



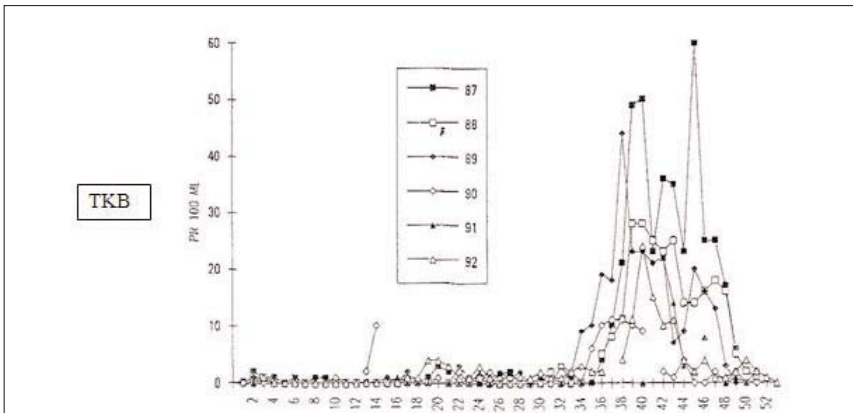
Figur 1. Inaktivering av noen utvalgte vannbårne mikrober v/10 °C og pH 6,5.

bestanddel, som gjør at bakteriene inaktiveres ("dør"). Når klor trenger igjennom den ødelagte celleveggen påvirkes også proteiner og arveanlegg (DNA/RNA) inne i cellene.

## 2. Fleksibel og robust desinfeksjonsmetode

Klorering er en fleksibel og robust desinfeksjonsmetode som kan tilpasses endringer i vannkvaliteten, i motsetning til for UV-bestråling som gir en utilfredsstillende desinfeksjonseffekt dersom vannkvaliteten av en eller annen grunn skulle bli dårligere enn det anlegget er dimensjonert for. Dersom man overvåker endringer i vannkvaliteten, forårsaket av for eksempel årstidsvariasjoner, kraftige nedbørsperioder eller raske endringer på grunn av kraftig vind som får sprangsjiktet til å "vippe", kan man enkelt justere klordoseringen slik at desinfeksjonseffekten opprettholdes, dersom man for eksempel legger inn rutiner for økning av klortilsetningen når værvarselet indikerer kraftige

nedbørsperioder. Et eksempel på hvordan årstidsvariasjonene påvirker bakterieinnholdet i en innsjø er gitt i figur 2. Man vil i en del tilfeller også kunne utsette oppgraderingen av vannbehandlingsanlegget selv om vannets organiske innhold øker, ved å øke tilsatsen av klor, så lenge man ikke overskrider drikkevannforskriftens krav til farge. Dersom man imidlertid klorerer vann med høyere fargetall, vil vannets klorbehov øke sterkt, noe som øker desinfeksjonskostnadene, samtidig som man kan få uakseptabelt høye konsentrasjoner av kloreringsbiprodukter. Erfaringstall viser at klorbehov kan variere fra ca 0,4 mg/l ved fargetall 10 til ca 1,0 mg/l ved fargetall 50. Det er imidlertid viktig å være klar over at vannets klorbehov kan variere mye, avhengig av humustype og jerninnhold, samt en rekke andre faktorer, slik at den eneste sikre metoden å fastsette et aktuelt vanns klorbehov er å teste det ut i praksis.



Figur 2. Årstidsvariasjoner i bakterieinnhold i råvannet til Oset vannbehandlingsanlegg 1987-92.

### 3. Billig desinfeksjonsmetode

Klorering er en billig desinfeksjonsmetode sammenliknet med alternative desinfeksjons-metoder, spesielt for store vannverk. For små vannverk kan klorering imidlertid bli dyrere, da klorering krever større innendørs areal på grunn av plasskrevende klorkontaktbasseng, samt at klorering krever daglig oppfølging av driftsoperatør, bl.a. for å utføre manuell analyse av klorrest, for å dokumentere at kloreringen foregår i henhold til drikkevannsforskriftens krav om en påvisbar klorrest på minimum 0,05 mg/l Cl etter minimum 30 minutters klorkontaktid.

### 4. Andre styrker ved klorering

Andre styrker ved klorering er at man kan oppnå god effekt mot biofilm i ledningsnettet dersom man tilsetter ammoniakk for å produsere kloramin, før vannet forlater behandlingsanlegget. En kraftig øket klortilsetning kan benyttes som et "signal" til forbrukerne om at det har oppstått en ekstraordinær situasjon med vannforsyningen og at det må utvises forsiktighet ved bruk av vannet. Kraftig økning i klorsmak vil normalt føre til at abonnentene tar kontakt med vannverket for å klage på drikkevannet, og på den måten kan vannverket nå de direkte med informasjon om at vannverket håndterer situasjonen.

## **Svakheter med klorering som hygienisk barriere**

### 1. Ingen barriere mot parasitter

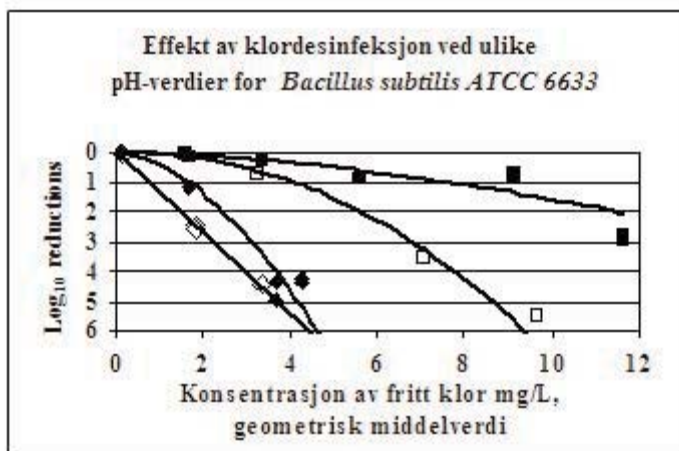
Det har vist seg at parasitter, som for

eksempel *Cryptosporidium* eller *Giardia*, er svært resistente overfor klor. Forsøk har vist at det for *Cryptosporidium* oocyster er nødvendig med en Ct-verdi (klorkonsentrasjon x kontaktid) på 7200 mg min/l, ved en vanntemperatur på 25 °C og pH 7, for å oppnå 99 % inaktivering (Ormerod og Lund, 2004). Som et eksempel medfører dette at det er nødvendig med 80 mg/l Cl og en kontaktid på 90 minutter for å oppnå det som veilederen til drikkevannsforskriften vurderer som nødvendig for å kunne akseptere klorering som en hygienisk barriere overfor parasitter under disse forholdene. Det er imidlertid også vist at med en redusert vanntemperatur slik som man har i Norge vil Ct-verdien øke dramatisk.

En alternativ behandling kunne vært å benytte 1,8 mg/l klordioksid og en kontaktid på 60 minutter (Ct = 105), som også er vist å gi 99 % inaktivering under de samme betingelsene som angitt ovenfor. Et mulig problem ved å benytte så høye konsentrasjoner av klordioksid er at kloritt-nivået sannsynligvis vil bli uakseptabelt høyt, noe som vil gjøre denne metoden uaktuell.

### 2. Svak barrierevirkning mot bakteriesporer

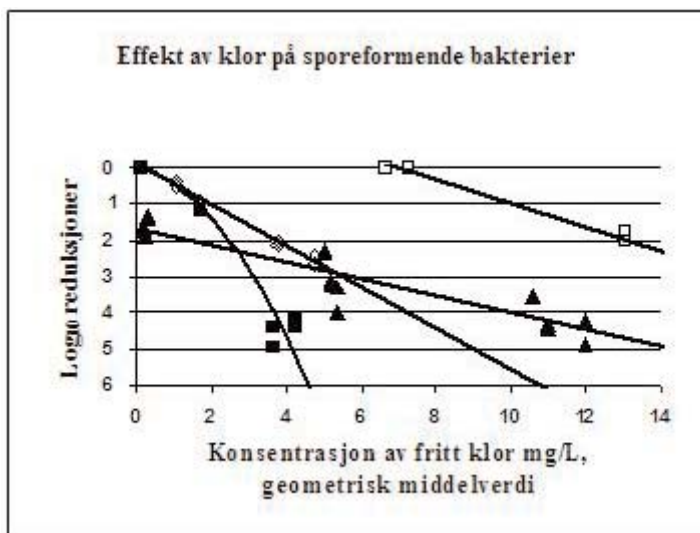
Forsøk har vist at sporeformende bakterier som *Bacillus* og *Clostridium* er resistente overfor klor og at effekten er svært pH-avhengig, som det fremgår av figur 3.



Figur 3. Data og trendlinjer for klorinaktivering ved ulike pH verdier. Fylte firkanter: pH 7,7, åpne firkanter: pH 7,4, fylte ruter pH 6,6 og åpne ruter pH 6,3.

Figur 4 viser at klortoleransen til ulike typer av sporedannende bakterier varierer, men at det er nødvendig med 1,5 – 13 mg/l klor og 30 minutters

kontaktid for å oppnå 99 % inaktivering under de aktuelle forsøksbetingelsene (Lund & Ormerod, 2005).



Figur 4. Inaktiveringskurver (trendlinjer) for sporeformende bakterier. Fylte firkanter: *B. subtilis* ATCC 6633, åpne firkanter: *B. subtilis* vannisolat, åpne ruter: *B. cereus*, fylte triangler: *C. perfringens* NCTC 8239. pH 6.3-6.7.

I praksis viser disse resultatene at det ikke er mulig å oppnå en hygienisk barriere for Cryptosporidium, Giardia og sporedannende bakterier ved klordoser som vil være akseptable å benytte under norske forhold.

### 3. Norsk kloreringspraksis kan være en trussel mot hygien

En fellesundersøkelse av kloreringspraksis ved vannverk i Norden, avdekket at 21 % av de norske vannverkene oppgav at de periodevis hadde problemer med klordoseringen (Hult et al., 2000). Opplysninger fra Folkehelseinstituttets vannverksregister avslører også at ca 12 % av vannverkene som har klordesinfeksjon havner i kategorien "utilfredsstillende vannverk", da de har påvist E. coli i > 5 % av prøvene. Dette ligger for øvrig på omtrent samme nivå som vannverk med UV-desinfeksjon. Statistikken avdekker også at de utilfredsstillende vannverkene som har klorering stort sett er små, med en gjennomsnittlig størrelse på 300 personer forsynt (Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2004)

Av årsaker til at disse vannverkene ikke oppfyller desinfeksjonskravene til enhver tid er nevnt "dårlig desinfeksjonseffekt på grunn av tilsats av for lite klor, forårsaket av dårlig kontroll med doseringen av klor eller feil ved doseringsutrustningen". Andre vannverk oppga at klordoseringen ble styrt etter "de som klager har alltid rett prinsippet", noe som

medfører at klortilsetningen justeres opp og ned i takt med antall klager på "klorsmak" som kommer inn til vannverket. Resultatet blir at hensynet til klageren går foran behovet for å opprettholde den hygieniske barrieren!

### 4. Fritt klor er et lite selektivt desinfeksjonsmiddel

Fritt klor, i motsetning til kloramin, er et ikke-selektivt oksidasjonsmiddel og reagerer derfor med det organiske stoffet (NOM) som måtte være til stede, slik at det må tilsettes en større mengde klor for å få et tilstrekkelig overskudd av fritt klor til å oppnå en tilfredsstillende desinfeksjonseffekt (jfr. Vannets klorforbruk, beskrevet tidligere i artikkelen). For eksempel, hvis vannet har et klorbehov på 0,6 mg/l vil det, dersom det tilsettes så mye som 0,8 mg/l Cl, kun være 0,2 mg/l Cl tilgjengelig som fritt klor til desinfeksjon. Dette medfører at med norsk lavkloreringspraksis har en fri klorrest ingen/marginal effekt på begroing (biofilmdannelse) eller innsug på ledningsnettet.

### 5. Redusert leveringssikkerhet for klor

Det er etter hvert svært få produsenter av klor igjen i markedet. Dette "tvinger" spesielt de større vannverkene over på andre desinfeksjonsmetoder. Dette gjelder spesielt for de anleggene som benytter klogass. Et medvirkende moment er også hvordan leveransene av klor vil være i en beredskaps-/krisesituasjon.

**Referanser**

Einan, B.; Myrstad, L. Nordheim, C-F (2004): Rapport fra vannverksregisteret, Drikkevann 2003, Vannrapport 109 (Rapport 2004:2) Nasjonalt folkehelseinstitutt.

Hult, A.; Bagge, L.; Zacheus, O.; Sigurdadóttir, A.; Lund, V. (2000): Klorering av dricksvatten. TemaNord 2000:525

Johnson, C.C. jr (1988): Historical Review of Drinking Water. In Perspectives on Water Uses and Abuses (Edited by Speidel, D.H.; Ruedisili, L.; and Agnew, A. F.) Oxford.

Lund, V. og Ormerod, K. (2005): Inaktivering av sporeformende bakterier i drikkevann og implikasjoner for framtidig desinfeksjonspraksis. VANN-2-2005: 121-129.

Mattilsynet (2005): Veileder til drikkevannsforskriften, versjon 2, september 2005.

Ormerod, K. og Lund, V. (2004): Vannbehandling som hygienisk barriere mot Cryptosporidium, Giardia og bakteriesporer. VANN-1-2004: 24-40.

Race, J. (1918): Chlorination of Water. Wiley, New York.

## flerfaglig rådgiverkompetanse

*COWI AS er et av Norges ledende flerfaglige rådgivende ingeniørselskap med ca 550 medarbeidere i inn- og utland. COWI-gruppen totalt teller ca 3 600. Den norske kjernevirksomheten har hovedvekt på sektorene avfall og miljø, prosjektadministrasjon, samferdselsteknikk, tekniske installasjoner og byggrådgiving, vann og avløpsteknikk. Vi satser spesielt på å videreutvikle vår sterke posisjon innen helsebygg.*

### **Cowi har mer enn 50 års erfaring med vann- og avløpsanlegg**

- kommunale hoved-, rehabiliterings- og rammeplaner, utredninger
- ledningsnett for vann og avløp
- vannbehandlings- og avløpsrensaneanlegg
- miljø- og hydrogeologi, forurenset grunn
- modellering og simulering
- ROS-analyser, beredskapsplanlegging, kvalitetssystem
- innsjørestaurering

Telefon 02694  
Besøk oss på [www.cowi.no](http://www.cowi.no)

# COWI