

# Er UV-bestråling til desinfeksjon av drikkevann et bedre alternativ enn klor? – Krav til UV desinfeksjon som hygienisk barriere.

Av Vidar Lund

Vidar Lund er forsker ved Avdeling for Vannhygiene, Nasjonalt folkehelseinstitutt.

Innlegg på fagtreff 2. desember 2002

## Innledning

Desinfeksjon med Ultrafiolett bestråling (UV) er en veletablert metode for inaktivering av bakterier og virus i drikkevann. Norge har på mange måter vært et foregangsland med å ta i bruk denne desinfeksjonsprosessen i drikkevannssammenheng og de første anleggene ble installert allerede i begynnelsen av 1970-årene. Det ble samtidig tatt initiativ til en typegodkjenningsordning for UV-aggregater som skulle sikre at de anleggene som ble tatt i bruk holdt en viss minimumsstandard. I dag er det ca 450 vannverk med UV-desinfeksjon og 280 vannverk med klorering i Norge, som forsyner hhv 500 000 og 3 millioner mennesker. Som det fremgår av tallene er det nå flere behandlingsanlegg med UV-bestråling enn med klorering i Norge, men de fleste vannverk som benytter UV-bestråling er relativt små. I tillegg er det noen få anlegg (5-6) som benytter ozonering, men stort sett til andre formål enn desinfeksjon.

I de siste årene har det vært en sterkt økende interesse for UV-desinfeksjon av drikkevann i flere europeiske land, deriblant Sverige og Finland, samt i USA. De to største UV anleggene i Norden er Helsinki Water, som består av to vannverk, med en kapasitet på hhv. 5000 og 7000 m<sup>3</sup>/t, og Lovöns Vattenverk i Stockholm, med en kapasitet på 6000 m<sup>3</sup>/t.

Undersøkelser har vist at både klorering, UV-bestråling og ozonering, i riktige doser, gir effektiv inaktivering av både virus og bakterier. Helt fra man internasjonalt begynte å sette fokus på vann som potensiell smitekilde for parasitter som *Cryptosporidium parvum* og *Giardia intestinalis* (tidligere navn *Giardia lamblia*) har det vært fremholdt at konvensjonelle desinfeksjonsprosesser ikke har vært i stand til effektivt å inaktivere parasitter. I den senere tid er det også blitt rettet større oppmerksomhet mot hvorvidt sporedannende bakterier som *Bacillus* og *Clostridium perfringens* blir inaktivert ved vanlige desinfek-

sjonsprosesser i vannverk, da sistnevnte inngår som indikator på mulig forekomst av parasitter, i den nye drikkevannsforskriften.

De siste årene har det imidlertid blitt utført desinfeksjonsforsøk med *Cryptosporidium* og *Giardia*, spesielt i USA, som viser at UV-bestråling ser ut til å være en bedre barriere overfor parasitter enn vi tidligere trodde. I det følgende vil denne dokumentasjonen presenteres og sammenlikninger trekkes med effekten av andre desinfeksjonsmidler.

## 1. Effekten av UV-bestråling på parasitter.

Inntil 1999 var det allmenn enighet om at *Cryptosporidium* oocyster og *Giardia* cyster var særdeles resistente overfor alle desinfeksjonsprosesser som blir benyttet til drikkevannsbehandling, inkludert UV-bestråling. Disse konklusjonene var trukket på bakgrunn av desinfeksjonsforsøk der effekten var basert på såkalte *in vitro* tester (latin: "I

glasset"). Metodene som ble benyttet for å teste om parasittcystene/oocystene fortsatt var i stand til å gi infeksjon etter desinfeksjonen var stort sett basert på to ulike "in vitro" metoder:

- 1) **Vitalfarging** = "levende farging", en teknikk som benytter ulike fluorescerende fargestoffer for å skille mellom levende og døde/inaktiverede oocyster/cyster.
- 2) **Excystering** = viser parasittcystenes evne til "spire" å gå over fra cyster/oocyster til aktivt stadium. "Skallet sprekker opp" og trofozoittene (de aktive stadiene som gir infeksjon) slipper ut.

Resultatene fra disse testene er i de aller fleste forsøk blitt benyttet for å dokumentere desinfeksjonseffekten, noe som har ført til at parasitter er blitt ansett som nesten upåvirkelige overfor desinfeksjonsmidler, inkludert UV-bestråling. Inaktiveringsdoser i forhold til indikatorbakterien *E.coli* er gjengitt i tabell 1.

Organisme	Desinfeksjonsmiddel		
	Klor	Ozon	UV
<i>E. coli</i>	1	1	1
<i>Giardia</i> cyster	Ca 500	Ca 320	Ca 40
<i>Cryptosporidium</i> oocyster	"ingen" effekt	Ca 9600?	13,5 - 1100

Tabell 1. Inaktiveringsdoser i forhold til *E. coli* (Status per 1999)

Eksempler på forsøk som viste at det var mulig å oppnå tilfredsstillende desinfeksjonseffekt (99,9 – 99,99% inaktivering) av *Cryptosporidium*:

1. Lorenzo-Lorenzo (1993) oppnådde >3-log inaktivering *Cryptosporidium* oocyster med en UV dose på 100-300 mJ/cm<sup>2</sup> (lavtrykks UV)

2. Avansert lavtrykks UV-desinfeksjonssystem kalt "Cryptosporidium inactivation device" (CID) med en UV dose på 8748 mWs/cm<sup>2</sup> (Campbell et al 1995)
3. Mediumtrykks UV aggregater: 3,9-logenheters (ca 99,99%) inaktivering med UV-dose 19 mWs/cm<sup>2</sup> (Bukhari et al.,1999)

De UV forsøkene som er gjengitt over, forsøket med lavtrykkslaboratoriebestrålingsutstyr og forsøket med det avanserte lavtrykks UV-aggregatet bestående av to seriekoblede UV kamre og fine stålsiler som oocystene ble liggende på under bestrålingen (CID), konkluderte begge med at det er mulig å oppnå en tilfredsstillende desinfeksjonseffekt ved bruk av UV bestråling, men at dosene var så høye at vanlig UV desinfeksjonsutstyr ikke kunne benyttes.

Resultatene oppnådd med UV-aggregater med mediumtrykkslamper var imidlertid så positive at kommersielle UV-aggregater raskt ble satt i produksjon i USA og markedsført som "Crypto-killers", da UV-dosene som var nødvendige å benytte med mediumtrykks-UV lamper var innenfor det som var mulig å produsere til en konkurransedyktig pris. Produzenten (Calgon Carbon Corporation) har fått patent på UV-desinfeksjonsprosessen i USA, noe som har ført til at de vannverkene som benytter metoden må betale en avgift per m<sup>3</sup> produsert vann til produsenten. Denne fremgangsmåten er blitt sterkt kritisert av andre UV-produsenter. Hovedforskjellen på de forsøkene som ble utført ved Clancy Institute i USA med mediumtrykks-UV og de forsøkene som var utført tidligere var at resultatene fra de siste undersøkelsene baserte seg på "in vivo" (latin: i organismen) tester med føring av nyfødte mus med bestrålte oocyster og etterfølgende registrering av om musene fikk infeksjon eller ikke. Sammenholdt med resultater oppnådd med "in vitro" testing med fluo-

rescensfarging og excytering avdekket dette store uoverensstemmelser mellom "in vivo" og "in vitro" resultatene. Dette førte til at tidligere forsøk utført med UV-aggregater med lavtrykkslamper også måtte gjentas med bruk av infeksjon i mus som kriterium på at oocystene fortsatt er infektive/sykdomsfremkallende.

Demonstrasjonsstudier med mediumtrykks UV-systemer utført av flere ulike forskningsgrupper, på oppdrag fra NSF/USEPA, viste at en UV-dose på 19 mWs/cm<sup>2</sup> (19 mJ/cm<sup>2</sup>) gav over 3,9-logreduksjoner av *Cryptosporidium* oocyster. ( Bukhari et al., 1999, Clancy et al. 1998, Mofidi et al. 1999, ). Tilsvarende forsøk med lavtrykks UV-aggregater indikerte at konvensjonelle lavtrykks UV systemer også var effektive for å inaktivere *Clostridium* oocyster .

Forsøk publisert i 2000 av Clancy og medarbeidere konkluderte da med at *Cryptosporidium* faktisk var mer følsom overfor både lavtrykks- og mediumtrykks UV-bestråling enn *E. coli*, og gav 99,9% (3-log) inaktivering med så lav UV-dose som 3-4 mWs/cm<sup>2</sup>. Tilsvarende forsøk utført med *Giardia* antydte at denne organismen er omtrent like resistent overfor UV-desinfeksjon som *E. coli* , da det var nødvendig med en UV-dose på ca 6 mWs/cm<sup>2</sup> for 99% inaktivering (2-log).

Nye inaktiveringsforsøk med *Cryptosporidium* oocyster, utført med kommersielt aggregat med høyeffektive lavtrykks UV-lamper (Wedeco Series K 130), gav en inaktivering på >4,7-log med en UV-dose på 45 mJ/cm<sup>2</sup>, noe som overensstemmer

godt med resultatene oppnådd ved laboratorieforsøk (Mackey, 2001). Disse resultatene har gitt oss et nytt

syn på UV som hygienisk barriere, også mot parasitter, som er fremstilt i tabell 2.

Organisme	Desinfeksjonsmiddel		
	Klor	Ozon	UV
<i>E. coli</i>	1	1	1
Giardia cyster	ca 500	ca 50	ca 1
Cryptosporidium oocyster	”ingen” effekt	50	≤ 1

Tabell 2. Inaktiveringsdoser i forhold til *E. coli* (Status per 2002)

## Effekt av UV-bestråling på sporedannende bakterier.

Lite er kjent om UV-toleransen til *Clostridium perfringens*. Rajala og Heinonen-Tanski fra Finland (personlig meddelelse) har imidlertid oppnådd 99,97% reduksjon av sulfittreducerende klostridier med en UV-dose på 66 mWs/cm<sup>2</sup> i laboratorieforsøk med lavtrykks UV-aggregater. I pilotforsøk med rensset avløpsvann inneholdende sulfittreducerende klostridier måtte de opp i en UV-dose på ca 150 mWs/cm<sup>2</sup> for å oppnå 50-95% inaktivering, mens de praktisk talt ikke fikk noen reduksjon med 66 mWs/cm<sup>2</sup>. Årsaken til den store forskjellen mellom resultatene oppnådd ved laboratorieforsøk og ved pilotforsøk er ikke avklart. Nye laboratorieforsøk viser en log reduksjon på ca 2,6 ved en UV-dose på 40 mWs/cm<sup>2</sup> (Pribil et al. 2001). Utfra disse resultatene er det derfor ikke mulig å trekke noen entydig konklusjon, med unntak av at *Clostridium* ser ut til å være mer resistent overfor UV-bestråling enn *Cryptosporidium* og *Giardia*. *Clostridium perfringens* vil derfor være velegnet som indikator på parasitter i UV-desinfisert vann. Forsøk utført med *Bacillus* sporer

indikerer ca 99,7 % inaktivering ved en UV-dose på 40 mWs/cm<sup>2</sup> (Regina Sommer, Wien (personlig meddelelse), samt egne upubliserte resultater).

## 2. Krav til UV som hygienisk barriere.

Dersom man ønsker å ta i bruk UV-bestråling til desinfeksjon av vann, er det et klart behov for et system/retningslinjer for å sikre at anleggene er i stand til å gi en tilfredsstillende desinfeksjonseffekt under alle forhold, og at anleggene utstyres med nødvendig overvåkingsutstyr for sikker drift. Per i dag er det kun Østerrike, Tyskland, Sveits, Norge og delvis Nederland og USA som har retningslinjer eller normer som angir spesifikke funksjonskrav for UV-aggregater.

## Norsk typegodkjenningsordning

Alle UV-aggregater som skal benyttes ved norske vannverk har vært igjennom en typegodkjenning ved Nasjonalt folkehelseinstitutt. Denne ordningen, som ble etablert allerede tidlig på 1970-tallet, har til hensikt å sikre at de UV-aggregater som installeres ved norske vannverk oppfyller visse mini-

mumskrav med hensyn til desinfeksjonseffekt og kontroll-/overvåkingsutstyr. Tradisjonelt har man ved typegodkjenning foretatt kapasitetsberegning av hver UV-modell, basert på en matematisk modell, for å sikre at vannet blir utsatt for en tilstrekkelig

høy UV-dose ved passering gjennom aggregatets bestrålingskammer. Ny norsk drikkevannsforskrift trådte i kraft 1. januar 2002. Dette førte til at kriteriene for å akseptere UV-desinfeksjon som en hygienisk barriere ble endret.

Parameter	Enhet	Indikator verdi	Merknader
UV -stråledose	mWs/cm <sup>2</sup> (mJ/cm <sup>2</sup> )	> 30	<b>Anses som en hygienisk barriere ovenfor bakterier, virus og parasitter.</b> Beregning basert på volumveid gjennomsnittsstråleintensitet i kammeret og gjennomsnittlig oppholdstid i aktiv del av kammeret.
		>40	<b>Anses i tillegg som en hygienisk barriere mot bakteriesporer.</b> Denne doseverdien er basert på en biosimulator-test med <i>Bacillus subtilis</i> sporer utført enten i henhold til østerriksk ÖNORM M5873 eller tysk standard, DVGW Arbeitsblatt W294.

(dose = stråleintensitet x bestrålingstid)

Tabell 3. De nye kriteriene til UV som hygienisk barriere er gitt i veilederen til den nye drikkevannsforskriften:

For at et UV- aggregat skal oppnå norsk godkjenning som hygienisk barriere overfor bakteriesporer må de testes i henhold til østerrikske eller tyske kriterier. Disse kriteriene baserer seg på en praktisk desinfeksjonstest med *Bacillus subtilis* sporer som et såkalt "biosimulator". Dette innebærer at alle UV-aggregattyper, for å bli godkjent som hygienisk barriere mot bakteriesporer, må testes for evnen til å inaktivere disse bakteriesporene. Resultatet sammenliknes med en standard inaktiveringskurve for *Bacillus subtilis* sporer, fremkommet under kontrollerbare betingelser i en laboratorietest, for å sikre at sporene blir utsatt for en minimumsdose på 40 mWs/cm<sup>2</sup> (400 J/m<sup>2</sup>). Østerrike har arbeidet for å få til en felles norm for

UV-aggregater innenfor EU. En felles norm ville være til stor hjelp for å øke bruken av UV-desinfeksjon ved europeiske vannverk.

#### Ved dimensjonering av UV-anlegg skal følgende hovedkriterier legges til grunn:

- Anlegget skal dimensjoneres etter maksimal vannmengde.
- Anlegget skal dimensjoneres etter dårligst målte UV-transmisjon/UV-absorbans.
- UV-anlegget skal dimensjoneres utfra intensiteten ved endt levetid for UV-lampene.

Disse kriteriene er satt opp for å sikre en tilfredsstillende desinfeksjon, også i de periodene av året som har dårligst

vannkvalitet, da vannkvaliteten, spesielt turbiditet og farge, har stor innvirkning på et UV-anleggs desinfiserende evne.

### **Basert på erfaring kan følgende retningslinjer gis med hensyn til oppbygging av et anlegg som skal benytte UV-desinfeksjon:**

- UV-anlegg må som et minimum bestå av 2 aggregater. Hvis det er 2 aggregater må hvert aggregat være dimensjonert for minimum 75% av dimensjonerende vannmengde, mens ved 3 aggregater må hvert aggregat minimum dekke 50% av vannmengden som skal desinfiseres. En slik ordning gjør det mulig å opprettholde vannforsyningen ved feil på ett av aggregatene samt under rutinemessig service ved anlegget.
- Hvert aggregat skal ha en UV-sensor som overvåker bestrålingsintensiteten. Dersom bestrålingen blir for lav, skal vannleveransen stoppe. Vannforsyningen må da kunne opprettholdes fra bassenger. For at sensorfunksjonen skal sikres, må denne, ved jevne mellomrom, recalibreres mot en referansesensor eller eventuelt erstattes av en ny sensor.
- Det skal være en signallampe for hvert UV-rør som viser om alle UV-lampene lyser, samt alarm som gir signal om en lampe er gått eller dersom intensiteten er blitt for lav. For at man skal vite når UV-lampene må byttes (maksimal levetid er gitt i typegodkjenningen), må hvert aggregat ha en timeteller som viser antall timer lampene har vært innkoblet.

- Dersom UV benyttes som desinfeksjon i et anlegg hvor vannet graviterer gjennom anlegget, bør det monteres nødstrømsaggregat ved vannbehandlingsanlegget.
- Dersom UV benyttes som desinfeksjon skal man ha i reserve et enkelt doseringsanlegg for klor som gjerne kan drives fra et akkumulatorbatteri, til bruk dersom hele UV-anlegget faller ut. Kloranlegget bør være mobilt slik at det også kan benyttes til å desinfisere hele eller deler av ledningsnett. I forbindelse med krisesituasjoner kan kravet om 30 minutters kontaktid før første abonnent fravikes, dersom restklorinnholdet er så høyt at en effektiv desinfeksjon allikevel kan oppnås.

### **Konklusjon**

Undersøkelser har vist at både klorering og UV-bestråling, i riktige doser, gir effektiv inaktivering av både virus og bakterier. Desinfeksjon med klorholdige desinfeksjonsmidler kan imidlertid ikke ansees som en hygienisk barriere mot parasitter og sporedannende bakterier. Det foreligger nå tilstrekkelig dokumentasjon til å si at både konvensjonelle lavtrykks-UV aggregater (LP), lavtrykks UV aggregater med høyere utgangseffekt (LPHO) og mediumtrykks UV aggregater (MP), vil kunne fungere som en hygienisk barriere overfor parasitter og bakteriesporer. USEPA har tatt konsekvensen av dette og ført UV-desinfeksjon opp på sin liste over behandlingsprosesser som aksepteres som en hygienisk barriere overfor parasitter. Av veilederen til den nye

norske drikkevannsforskriften fremgår det likeledes at UV-desinfeksjon, utfra gitte krav til UV-dose, kan aksepteres som en hygienisk barriere mot alle sykdomsfremkallende mikrober som kan smitte via drikkevann.

## Referanser

**Lorenzo-Lorenzo, M.J., et al. 1993.** Effect of ultraviolet disinfection of drinking water on the viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *J. Parasitology* 79: 67-70.

**Campbell, A.T. et al. 1995.** Inactivation of oocysts of *Cryptosporidium parvum* by ultraviolet irradiation. *Water Research* 29: 2583-2586.

**Bukhari, Z. Et al. 1999.** Medium-pressure UV light for oocyst inactivation. *J. Am Water Works Assoc.* 91(3): 86-94.

**Mofidi, A., H. Baribeau, J. Green. 1999.** Inactivation of *Cryptosporidium parvum* with Polychromatic UV Systems. In: Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference. Tampa Bay, Fla.

**Clancy, J.L., T. Hargy, M. Marshall, and J. Dykson. 1998.** UV Light Inactivation of *Cryptosporidium* Oocysts. *J. Am. Water Works Assoc.* 90(9): 92-102.

**Clancy, J.L., Z. Bukhari, T.M. Hargy, J.R. Bolton, B.W. Dussert, and M.M. Marshall. 2000.** Using UV to Inactivate *Cryptosporidium*. *J. Am. Water Works Assoc.* 92(9): 97-104.

**Mackey, E. D., R.S. Cushing, and G.F. Crozes. 2001.** Evaluation of UV Disinfection Systems for the Inactivation of *Cryptosporidium*. AWWA 2001 Annual Conference & Exposition, June 17-21, 2001.

**Pribil, W., S. Pflieger, A. Cabaj, P. Gehringer, H. Eschweiler, and R. Sommer. 2002.** *Clostridium perfringens*: a suitable indicator for water disinfection by irradiation? Poster presentation at IWA Health Related Water Microbiology Symposium 2002, Melbourne.