

# UV-desinfeksjon av drikkevann

Av Bjørnar Eikebrokk

Bjørnar Eikebrokk er sivilingeniør, dr. ing. og sjefsforsker ved SINTEF Byggforsk.

## Sammendrag

Flere vannverk har problemer med sine UV-desinfeksjonsanlegg. Problemene er i hovedsak knyttet til mangelfullt dimensjoneringsgrunnlag (vannmengde, vann- og strømkkvalitet), underdimensjonering, svakheter i elektronikk og automatisk styring, beleggdannelse på kvartsrør og UV-sensorvinduer, forkortet levetid og redusert effekt på UV-lamper, usikkerheter knyttet til prosessstyring og driftskontroll, mangelfull kontroll og kalibrering av sensorene som styrer anlegget, uklare kravspesifikasjoner, uklare kontraktsforhold, m.v.

Ansvarer for problemene fordeler seg både på konsulenter/rådgivere, leverandører og på vannverkene selv. Forbedringspotensialet synes stort i alle ledd, og Norsk Vann (tidligere NORVAR) og Svenskt Vatten initierte derfor i 2007 et prosjekt med formål å utarbeide en veiledning for UV-anlegg for desinfeksjon av drikkevann. SINTEF ble valgt som

utførende instans/rådgiver. Den ferdige rapporten forelå i oktober 2008 (Norsk Vann-rapport 164-2008), og er tilgjengelig på denne adressen: <http://www.norsk vann.no>.

Veiledningen gir en grundig innføring i UV-anleggs funksjon og virkemåte, og går inn på viktige forhold knyttet til forundersøkelser, dimensjonering og drift av UV-anlegg. Rapporten søker å øke forståelsen for UV-desinfeksjon generelt, og bidra til en mer korrekt dimensjonering og sikrere drift av UV-anlegg. Noen viktige forhold fra rapporten skal presenteres i denne artikkelen.

## Summary

From the fact that a number of UV-facilities have experienced severe design and operation challenges, the Norwegian and Swedish Water Works Associations initiated a joint project in 2007, aimed at providing an up-dated UV-disinfection guidance manual. The major objective of the manual was to support the waterworks that

were planning, designing and/or operating UV-disinfection systems. A contract was signed with the research institute SINTEF (Trondheim, Norway) for the preparation of the guidance report. The report was finished in October 2008 (Norsk Vann report No. 164-2008), and it is available at this website: <http://www.norskvann.no>.

The guidance report presents and discusses major design and operation issues, such as identification of design flow rates and water quality characteristics, source water quality variations and effects of up-stream water treatment processes, variable power supply quality, fouling of quartz sleeves and UV intensity sensors, process control options and dose-monitoring strategies, back-up power supply systems, alternative approaches for the assessment of UV disinfection barrier efficiency and stability, etc. In addition, the report also suggests alternative contract forms, and specific challenges related to early systems without biosometrically tested and validated UV-reactors. Some major issues from the report will be presented in this paper.

### **Bakgrunn**

Ved utgangen av 2007 var det i henhold til Vannverksregisteret 790 norske vannverk som benyttet UV for desinfeksjon (V. Lund, 2008). Selv om dette er en utbredt desinfeksjonsmetode med lange tradisjoner i Norge ble den tidligere først og fremst anvendt på små vannverk, primært av økonomiske årsaker. Ny teknologi har imidlertid gjort UV stadig mer

konkurransedyktig økonomisk, og enda viktigere for den stadig økende populariteten var oppdagelsen i 1997/98 at UV effektivt kan inaktivere klorresistente protozoer som Giardia og Cryptosporidium. I tillegg er dannelsen av kjente biprodukter ved UV-desinfeksjon (DBP) lav eller fraværende.

Etter Giardia-epidemien i Bergen i 2004 har mange vannverk sett behov for å styrke de hygieniske barrierene i vannforsyningssystemet - også mot parasitter. UV-bestråling av drikkevann fremstår som en enkel og kostnadseffektiv løsning som imøtekommer myndighetenes og vannbransjens krav om økt sikkerhet og effektive barrierer, også mot parasitter. Resultatet av dette, og utviklingen etter 2004, er en storstilt utbygging av små - og store - UV-anlegg. I Norden er vannbehandlingsanleggene i Helsinki og Stockholm (Lovø), Stavanger (IVAR), Trondheim (VIVA) og Oslo (Nye Oset) eksempler på store anlegg med UV-desinfeksjon.

Erfaringene viser også at prosjektering, anskaffelse og drift av UV-anlegg ikke er så enkelt som mange nok har trodd, og at også nye UV-anlegg ikke alltid oppfyller krav og forventninger til kapasitet og driftssikkerhet. Problemene knytter seg til alle faser, fra dimensjoneringskriterier knyttet til vannkvalitet og dimensjonerende UV-transmisjon, via kravspesifikasjoner i anbudsforespørsler samt problemer med kontroll og driftsoppfølging. Ansvaret for problemene fordeler seg dermed på både konsulenter,

leverandører og på vannverkene selv. Selv om det er behov for styrking av kompetansen i alle ledd, synes det imidlertid lenge å ha vært slik at leverandørene har dominert kompetansebildet på dette feltet, noe som blant annet har medført at viktig informasjon har vært lite tilgjengelig og/eller lite etterspurt av vannverks-eierne.

### **Om UV-veiledningen**

På bakgrunn av de problemer som er beskrevet over, initierte Norsk Vann (tidligere NORVAR) i samarbeid med Svenskt Vatten i 2007 et prosjekt med formål å utarbeide en veiledning for UV-anlegg for desinfeksjon av drikkevann. SINTEF ble valgt som utførende instans/rådgiver. Den ferdige rapporten (Norsk Vannrapport 164-2008) forelå i oktober 2008 og er tilgjengelig via <http://www.norsk vann.no>. Foruten undertegnede har C. Ræstad, L.J. Hem and K.O. Gjerstad bidratt som forfattere på rapporten.

UV-rapporten, som er på drøyt 150 sider, er tilgjengelig via <http://www.norsk vann.no>. Foruten et forord og et sammendrag på norsk og engelsk, inneholder rapporten innledningsvis også en oversikt og forklaring av vanlige ord og uttrykk som benyttes i UV-sammenheng.

Rapporten er inndelt i følgende 15 hovedkapitler:

1. Bakgrunn og innledning
2. Kort om UV-desinfeksjon
3. Kort teoretisk innføring
4. Sentrale komponenter i UV-anlegg
5. Vannkvalitet og UV-desinfeksjon

6. UV-desinfeksjon og øvrig vannbehandling
7. Godkjenning og biodosimetrisk testing
8. Dimensjoneringsgrunnlag
9. Utforming og dimensjonering av UV-anlegg
10. Drift og vedlikehold av UV-anlegg
11. Erfaringer fra UV-anlegg i drift
12. UV-anlegg godkjent etter gammel ordning
13. Kontraktsmessige forhold
14. FoU, kompetanse og opplæring
15. Referanser

Rapporten har tre vedlegg:

1. UV-transmisjon og UV-absorbans (tabellariske oversikter og omregningsformler)
2. Mer om biodosimetrisk validering og ulike standarder
3. Dose-responsdata for en rekke bakterier, sporer, protozoer og virus

Foruten å bidra til å sikre tilfredsstillende dimensjoneringsgrunnlag og redusere viktige drifts- og dimensjoneringsproblemer, har UV-veilederen som hovedformål å øke den generelle forståelsen av UV-desinfeksjon og for UV-anleggs spesielle funksjon og virkemåte. Det er lagt spesiell vekt på å belyse utvalgte forhold knyttet til forundersøkelser, dimensjonering og drift av UV-anlegg, samt å gi konkrete anbefalinger på utvalgte felter vedrørende godkjenning/sertifisering, vann- og strømtilførsel, sentrale utstyrskomponenter (lampetyper m.v.), øvrig vannbehandling, beleggdannelse og beleggkontroll/vask, sensorer og

kontrollsystemer, styring og regulering, driftsstabilitet, spesielle forhold ved anlegg godkjent etter tidligere ("gammel") ordning, forhold knyttet til kontrakter, kontroll og tilsyn, m.m. De foreslåtte kontraktsvilkår er knyttet til dokumentasjon, pålitelighet, driftsøkonomi og garantier, noe som forhåpentligvis vil bidra til å gjøre vannverkene til mer krevende og profesjonelle kunder.

Rapporten søker å utgjøre et konkret og praktisk nytteverktøy for de som skal bygge og drive UV-anlegg for desinfeksjon av drikkevann, og slik sett bidra til å styrke desinfeksjonsbarrierene, stabiliteten i disse og sikkerheten i vannfor syningsystemet.

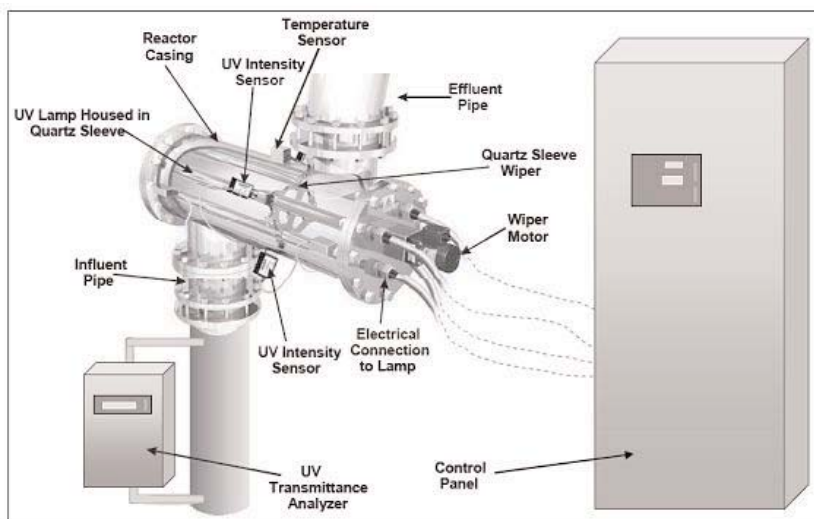
I rapporten anvendes uttrykk som "godkjente" anlegg og "krav" til UV-dose med referanse til henholdsvis Folkehelseinstituttets (FHI) typegodkjenningsordning for UV-anlegg, og barriereindikatorverdiene for UV-dose (30 eller 40 mJ/cm<sup>2</sup>) som angitt i Mattilsynets Veileder til Drikkevannsforskriften. Dette er gjort fordi bestillere og leverandører av UV-anlegg i stor grad refererer til denne ordningen og dette dokumentet og oppfatter dette som "krav" - selv om verken typegodkjenningsordningen eller dosekravene det refereres til er formelt hjemlet i drikkevannsforskriften eller annet lovverk.

### Utforming av UV-anlegg

Før vi går videre, kan det være nyttig å vise et eksempel på hvordan UV-anlegg er utformet. Figur 1 viser et UV-anlegg med sentrale systemkomponenter:

- Et bestrålingskammer med innløps- og utløpsarrangementer. Ulike størrelse og utforming gjør at de ulike modeller/UV-aggregater har ulike hydrauliske og strømningsmessige karakteristika. Følgelig vil også oppholdstids- og derved UV-dosefordelingen variere mellom de ulike typer/modeller av UV-aggregater
- Bestrålingskammeret inneholder én eller flere UV-lamper med tilhørende elektriske kontakter/kabler. Lampene er normalt lavtrykks (LP) eller mellomtrykkslamper (MP) omgitt av beskyttende kvartsglass med høy transmittans for UV-lys
- UV-sensorer (en eller flere) som registrerer intensiteten av UV-lyset i det punktet der sensoren er plassert. Merk forskjellen mellom målt UV-intensitet i dette punktet og utstrålt/avgitt intensitet fra UV-lampen
- Vannmåler for registrering av vannstrøm gjennom UV-reaktoren. Kan i visse tilfeller utelates dersom vannstrømmen kan måles/beregnes på annen måte og man kan sikre en homogen fordeling av vannet på parallelle UV-aggregater
- UV-transmisjonsmåler for on-line registrering av UV-transmisjon i innløpsvannet på anlegg hvor dette er spesifisert i sertifikat/godkjenning
- Temperatursensor for registrering av vanntemperatur er vanlig i USA, men dette er ikke noe krav i Norge
- Kvartsrøret (og i noen tilfeller UV-

- sensoren) omfattes av en mekanisk vaskeanordning (visker) med motor/drivverk for fjerning av utvendig belegg. Det finnes også rene kjemiske ( gjerne basert på sitron- eller fosforsyre) og kombinerte mekanisk/kjemiske vaskesystemer
- Kontrollskap med display for angivelse av prosessforhold og sentrale måleverdier (UV-intensitet, flow, temperatur, driftstid, lampestatus, feil/alarmer, etc.)
  - En automatisk stengeventil. Kontrollsystemet er lagt opp slik at vannstrømmen stenges automatisk dersom UV-dosen underskrides en på forhånd innstilt verdi, for eksempel som følge av komponentsvikt, strømbrudd, beleggdannelse eller forringet råvannskvalitet. Mulighetene for nedstengning avhenger av den aktuelle forsyningssituasjonen, dvs. hvorvidt anlegget produserer til høydebasseng eller direkte til nett
  - Nødstrømforsyning/UPS. Siden en UV-lampe slukkes ved strømbrudd og spenningsfall ut over det UV-anlegget/ballastene tåler (normalt  $\pm 10\text{-}30\%$  av nominell spenning), er det behov for reservestrømforsyning/strømaggregater. Det vil normalt også være behov for supplerende UPS-systemer (Uninterrupted Power Supply) for å hindre at UV-lampene slukkes ved strømlink, i perioden før nødstrømsaggregatet slår inn og for å sikre at styringssystemet ikke faller ut.



Figur 1. Eksempel på utforming av en UV-reaktor med UV-lamper og kvartsrør, UV- og temperatursensorer, rengjøringsystem (viskere) og kontrollskap (USEPA, 2006)

Parameter Bølgelengdefordeling	LP-lamper Monokromatisk (254 nm)	LPHO-lamper Monokromatisk (254 nm)	MP-lamper Polykromatisk (185-600 nm)
Damptrykk (Hg)	0.1-10 Pa (ca)	0.1-10 Pa	50-300 kPa
Driftstemperatur (°C)	30-50	60-100	600-900
Elektrisk input (W/cm)	0.2-0.4	0.6-1.2	125-200
Buelengde (cm)	15-200	15-200	10-200
Transmisjonseffektivitet/ Energiutnyttelse (%)	35-40	30-35	12-16
Nødvendig lampeantall for en gitt dose	Høyt	Middels	Lavt
Typisk levetid (timer)	8000-12000	7000-10000	3000-6000

Tabell 1. Typiske egenskaper for ulike typer kvikksøvlamper (Bolton and Cotton 2008)

Tabell 1 angir typiske egenskaper for de vanligste lampetyper: lavtrykk (LP), lavtrykkslamper med høyt utbytte (LPHO) og mellomtrykkslamper (MP).

### Godkjenning og verifisering av UV-anlegg

I Norge er vannverk som forsyner mer enn 20 husstander eller 50 personer godkjenningspliktige i henhold til Drikkevannsforskriften. Denne godkjenningen, som er en del av Mattilsynets godkjenning av det enkelte vannverk, vil også omfatte UV-anlegg med vurdering av dimensjonering, teknisk utforming og plassering med basis i vannkvalitet og øvrig vannbehandling.

Vannforsynings ABC (FHI 2006) og Veilederen til Drikkevannsforskriften (Mattilsynet 2004??) inneholder også anbefalinger og råd med hensyn til dimensjonering og

drift av UV-anlegg, herunder også UV-dose. Videre finnes det en egen typegodkjenningsordning for UV-anlegg for drikkevann som er igangsatt og administrert av FHI.

UV-anlegg omfattes derved av to godkjenningsordninger, som beskrevet i Vannforsynings ABC (FHI 2006):

1. Typegodkjenning og biosimetriske testing av UV-anlegg: Typegodkjenningen omfatter den tekniske oppbyggingen/utformingen av UV-anlegget, og det er leverandøren/produzenten som søker FHI om typegodkjenning. Godkjenningen baseres på en biosimetriske testrapport for hver reaktortype, og omfatter den tekniske oppbyggingen og utformingen av UV-aggregatet. Det angis spesifikt via kurver og

tabeller hvilken kapasitet et bestemt UV-aggregat har i forhold til en bestemt vannkvalitet. I tillegg stilles krav til driftsrutiner, tekniske komponenter, overvåkningsutstyr og nødvendige reservedeler.

2. Godkjenning av vannbehandlingsanlegg: Denne godkjenningen er en del av Mattilsynets godkjenning av det enkelte vannverk. Her vurderes dimensjonering, teknisk utforming og plassering av UV-anlegget med basis i vannkvalitet og øvrig vannbehandling.

På Folkehelseinstituttets hjemmesider finnes lister over UV-anlegg som er godkjent i henhold til FHIs typegodkjenningsordning (<http://www.fhi.no>). Listene oppdateres med jevne mellomrom, og er p.t. à jour pr. september 2008:

Liste A: Typegodkjente UV-anlegg, kapasitetsberegnet på grunnlag av teoretisk modell

Denne listen omfatter anlegg som gir en teoretisk beregnet UV-dose på minst 30 mJ/cm<sup>2</sup> (mWs/cm<sup>2</sup>), beregnet ut fra modeller for intensitet og oppholdstid i bestrålingskammeret. UV-anlegg som er godkjent med en beregnet dose på 30 mJ/cm<sup>2</sup> vil normalt ha tilstrekkelig virkningsgrad ovenfor de fleste typer sykdomsfremkallende (patogene) mikroorganismer med unntak av bakteriesporer og enkelte virus (bl.a. *Adenovirus*).

Liste B: Typegodkjente, biosimetriske testede UV-anlegg

Denne listen omfatter biosimetriske testede anlegg som gir en UV-dose på minst 40 mJ/cm<sup>2</sup>, og er basert på konkrete målinger av inaktive ringeffekt overfor sporer av *Bacillus subtilis* etter østerriksk eller tysk standard, eller etter amerikansk standard testet med MS2 bakteriofag. For nye UV-anlegg i Norge anbefales nå kun bruk av biosimetriske testede UV-aggregater som gir en UV-dose på minst 40 mJ/cm<sup>2</sup>.

Tysk (DVGW 2006) og amerikansk valideringsstandard/norm (USEPA 2006) omfatter både aggregater med lavtrykk og mellomtrykk, mens Østerrike har atskilte normer for henholdsvis lavtrykks- og mellomtrykksanlegg (ÖNORM M 5873-1, 2001; ÖNORM M 5873-2, 2003). Norge er et av de få land som godkjenner UV-anlegg som er validert etter alle de 3 ovenfor nevnte standarder.

**Biosimetri**

Selv om UV-dosen i batch-systemer enkelt kan beregnes som produktet av UV-lysintensitet og bestrålingstid, blir dette uhyre kompliserte beregninger når man har å gjøre med UV-reaktorer med kontinuerlig gjennomstrømning der så vel lysintensitet som oppholdstid vil variere med tid og sted i reaktoren. Lysintensiteten er høyest nær UV-lampen, og de hydrauliske forhold gjør at mikroorganismer kan følge ulike baner og derved få ulike oppholdstid og eksponeringstid for

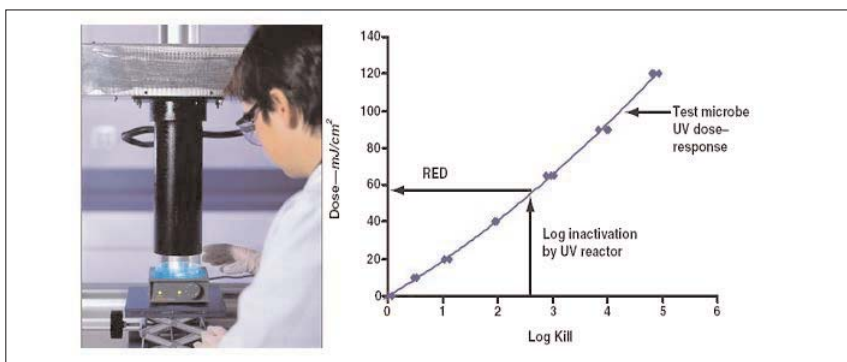
UV-lyset i reaktoren. En slik oppholdstids- og lysintensitetsfordeling vil resultere i at også UV-dosen vil variere i betydelig grad, og at man derved også vil få en dosefordeling i UV-aggregatet. Slike UV-reaktorer er derved så komplekse hydrauliske og fotokjemiske systemer at mange hevder at det ennå ikke er mulig å beregne UV-dosen med tilfredsstillende nøyaktighet, selv med de mest avanserte matematiske modeller (Sommer 2008).

På bakgrunn av overnevnte vanskeligheter og begrensninger har man valgt en indirekte form for dosebestemmelse der man anvender en utvalgt mikroorganisme som testorganisme og måleinstrument (biodosimeter) for å bestemme tilført UV-dose.

Ved biosimetri sammenholdes den log-inaktivering som oppnås gjennom den aktuelle UV-reaktoren med en dose-respons kurve ("standardkurve") som er bestemt for den samme testorganismen under kon-

trollerte laboratorieforhold ("collimated beam test"). Ved å gå inn på standardkurven med den log-reduksjonen man oppnår i testreaktoren kan man så avlese den ekvivalente dosen UV-reaktoren har gitt ("Reduction Equivalent Dose", RED). Prosedyren er illustrert i figur 2, der kurven viser at den testede UV-reaktoren har oppnådd en log-reduksjon av testorganismen på nær 2.5, og en tilhørende, avlest RED på nær 60 mJ/cm<sup>2</sup>.

Hovedhensikten med en biosimetriske validering er således å sikre at den aktuelle UV-reaktoren har kapasitet til å gi den påkrevde dose og grad av inaktivering under de driftsbetingelser som er aktuelle og som vannverket/leverandøren har spesifisert. Følgelig skal testrapporten fra forsøkene angi valideringsområdet for den testede UV-reaktoren, og de godkjente verdier for vannføring, UV-intensitet/UV-transmisjon man må befinne seg innenfor for at dette dosekravet skal være oppfylt med den aktuelle UV-reaktoren.



Figur 2. Biosimetriske testing med bestemmelse av dose-responsforløp (collimated beam test) og oppnådd reduksjonsekvivalent dose (RED) i en UV-testreaktor (Wright et al. 2006)



Ligningen for doseberegning er i dag normalt kjent for leverandører og FHI, men i mindre grad for vannverkseiere og drivere. Dette kan gi opphav til egne lokale løsninger og feilberegninger. Dosligningen fra valideringstesten bør derfor i fremtiden - som en generell og ufravikelig regel - også gjøres kjent for vannverkene. Vi foreslår derfor at doseligningen alltid skal oppgis som en del av valideringsrapporten, og at den gjøres kjent for vannverkene via FHIs godkjenningssertifikat.

Biodosimetrisk testede anlegg skal være utstyrt med standardisert utformede og sertifiserte UV-sensorer. Disse skal være utskiftbare, slik at det er mulig å kontrollere UV-intensiteten ved å bytte ut anleggets sensor med en kalibrert referansesensor. Som en sikkerhet mot "manipulasjon" bør signalet fra referansesensoren ikke behandles via PLS-en eller tilsvarende på anlegget. Referansesensoren skal derfor være koplet direkte til et tilhørende referanseinstrument (radio-

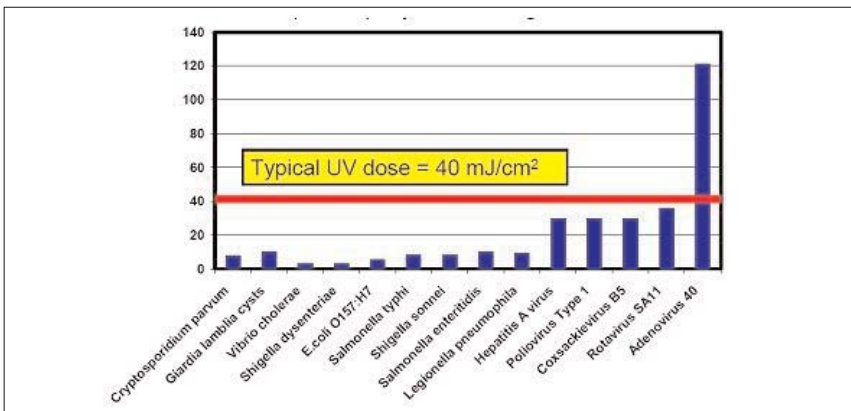
meter) med direkte angivelse av UV-intensitet.

Mens kontroll og eventuell kalibrering av UV-sensorer for lavtrykkslamper synes å være relativt kurant, er det større utfordringer knyttet til kontroll og eventuell kalibrering av sensorer for mellomtrykkslamper med et mer bredspektret UV-lys (Larason and Ohno, 2006).

UV-sensorer som benyttes i et bestemt UV-aggregat har en gitt målefeltvinkel. Denne er angitt i enkelte av FHIs godkjenningssertifikater, men ikke i alle. Siden målefeltvinkelen påvirker måleresultatene, er det viktig at denne ikke fravikes. Måleresultatene fra UV-sensorer med målefeltvinkler på 160° respektive 40° vil eksempelvis kunne bli svært forskjellige. Det er derfor viktig at målefeltvinkelen oppgis i alle godkjenningssertifikater.

### Dimensjoneringsgrunnlaget for UV-anlegg

En UV-dose på 40 mJ/cm<sup>2</sup> vil gi en



Figur 3. Nødvendig UV-dose for 4-log inaktiverting av noen utvalgte typer mikroorganismer (Templeton, 2008).

log-reduksjon på 4-log (99.99 %) eller mer for de fleste aktuelle vannbårne patogene mikroorganismer, med unntak av Adenovirus (Figur 3). UV-anlegg må derfor utformes, dimensjoneres og drives slik at man sikrer en UV-dose på minimum 40 mJ/cm<sup>2</sup> innenfor de dimensjonerende verdier for vannføring, vannkvalitet (UV-transmisjon), lampelevetid/ aldring og fouling/beleggdannelse. Trykktapet gjennom anlegget bør også være akseptabelt.

Planlegging av UV-desinfeksjonsanlegg bør alltid baseres på de lokale forhold. Dette fordi dimensjoneringen må baseres på grundige undersøkelser og kartlegginger av dimensjonerende vannbehov, kvaliteten på vannet som skal UV-bestråles og kvaliteten på den lokale strømleveransen. Spenningsfall og kortvarige strømblink kan lett medføre slukking av UV-lamper, noe som gir uheldig bortfall/nedetid i UV-desinfeksjonen fordi en re-start kan ta flere minutter. Det er også viktig å ha god oversikt over variasjonsområdet for de nevnte forhold/parametere, sesongmessige så vel som årlige. Behovet for UV er størst når vannkvaliteten er dårligst.

#### Vannkvalitetens betydning

Effektiviteten av UV-desinfeksjonen er sterkt avhengig av vannkvaliteten. Intensiteten på UV-lyset som leveres i UV-reaktoren vil reduseres gjennom bestrålingskammeret i henhold til vannets UV-transmisjon (gjennomtrengelighet for UV-lys). Den UV-intensiteten en mikroorganisme utsettes for vil derfor, foruten avstanden fra UV-lampen (lysveien), være

avhengig av vannets partikkelinnhold (som kan spre UV-lyset), og av innholdet av løste stoffer i vannet (for eksempel NOM og jern) som kan absorbere UV-lys.

Det er derfor viktig å foreta en grundig kartlegging av vannkvaliteten og variasjonsområdet for denne før installasjon av et UV-anlegg. Foruten rutineparametere som temperatur og turbiditet er UV-transmisjon og UV-absorbans helt sentrale vannkvalitetsparametere i UV-sammenheng. Norsk Standard NS 9462 (2006) gir retningslinjer for måling av UV-transmisjon i vann. Naturlig organisk materiale (NOM) inneholder konjugerte dobbeltbindinger som gir høy absorbans av UV-lys og normalt også av synlig lys (farge). Siden jern kan gi både høy UV-absorbans og danne belegg, bør man være spesielt på vakt mot konstant eller tidvis høyt jerninnhold i vann som skal UV-desinfiseres. Optimal drift av koaguleringsanlegg er derfor viktig også av denne grunn.

UV-anlegg bør i henhold til Drikkevannsforskriftens veileder dimensjoneres etter råvannskvalitet. Det er derfor viktig å kartlegge variasjonsområdet for råvannskvaliteten over en periode som er tilstrekkelig lang til å fange opp perioder med dårlig vannkvalitet knyttet til sirkulasjonsperioder, ekstremnedbør/flom, sterk vind/ugunstige vindretninger, etc. I tillegg bør man ta høyde for mulige effekter av klimaforandringer og økende NOM-innhold.

### Kvaliteten på strømleveransen

Erfaring fra mange eksisterende UV-anlegg har vist at spenningen som leveres fra strømleverandøren, og for den saks skyld selve strømleveransen, ikke er så stabil som en skulle ønske. UV-lamper mister lysbuen ved forstyrrelser og avbrudd i strømforsyningen. Selv meget kortvarige strømblink og spenningsfall vil kunne medføre at UV-aggregatene slukkes og må startes på nytt, noe som krever en oppvarmingstid før aggregatene er i normal drift. Hyppig start og stopp vil medføre redusert levetid på lampene og økt risiko for produksjon og leveranse av hygienisk utilfredsstillende vann.

Eksempelvis vil et spenningsfall ut over 10-30 % av nominell spenning med varighet 0.5-3 sykluser (10-50 millisekunder), kunne medføre at UV-lampen mister lysbuen og må tennes på nytt. De viktigste årsaker til strømforsyningsproblemer som kan medføre utfall av UV-lamper er følgende:

- Feil i kabling og jording
- Eksterne feil i sentral- og/eller regionalnettet (påkjørslar/feil i trafostasjoner, værrelaterte feil som lynnedslag og oversvømmelser, feil pga dyr/gnagere, etc.)
- Modifiseringer i eksterne anlegg og utstyrskomponenter
- Start/stopp av tunge lastkomponenter på samme kurs i lokale anlegg
- Innslag av nødstrømsaggregater eller alternative strømforsyninger

Lavtrykkslamper vil i regelen kunne være i normal drift innen 15 sekunder etter at en avbrutt strømforsyning er reetablert. Lavtrykkslamper med høyt utbytte samt mellomtrykkslamper krever imidlertid oppstartstider på 1-10 minutter etter et avbrudd i strømforsyningen. Enkelte produsenter angir at lavtrykkslamper med høyt utbytte (LPHO) kan kreve enda lengre oppstartstider ved lav vanntemperatur (< 10 °C), mens andre rapporterer om redusert oppstartstid for mellomtrykkslamper (MP) fordi lav vanntemperatur avkjøler og akselererer kondensasjonen av kvikksølv, noe som er nødvendig for etablering av en ny lysbue.

Det er derfor viktig å kartlegge den eksterne strømleveransens kvalitet og stabilitet inn til vannbehandlingsanlegget og internt der UV-anlegget skal plasseres. Den lokale strømleverandøren kan normalt gi slike opplysninger. Dersom dette ikke er tilfellet, anbefales egne undersøkelser. Måleutstyr for dette kan kjøpes eller leies for relativt rimelige beløp. Dersom spenningsfall eller strømavbrudd skjer hyppigere enn det som er akseptabelt ut fra lampenes levetid og mulighetene til å tåle et avbrudd i vannbehandling og vannproduksjon, må det iverksettes avbøtende tiltak. Dette kan være tiltak som grovvern etter hovedsikringer, finvern på enkeltkurser, skilletrafo før finvern, m.v. Slike relativt enkle og rimelige tiltak vil hindre at kortvarige høye spenninger ødelegger elektroniske komponenter. Andre aktuelle tiltak omfatter UPS (Uninterrupted Power

Supply, normalt en batteri-backup) for å unngå at kortvarige spenningsdip eller strømutfall får konsekvenser for UV-anlegget, og nødstrømsaggregat for å håndtere mer langvarige strømbrudd.

Kvaliteten på strømleveransene synes generelt å være dårligere på landsbygda enn i bynære strøk. Behovet for dokumentasjon/målinger og reservestromforsyning/UPS kan derfor være størst på landsbygda. Gjennomsnittet for antall spenningsdip i sentral-, regional- og lokalnettet i Norge er i størrelsesorden 12-16 pr. år (SINTEF Energiforskning 2007). Cotton et al. (2004) vurderte kvaliteten på strømforsyningen til 8 amerikanske vannbehandlingsanlegg med UV-desinfeksjon. Man fant 584 avbrudd pga. svikt i strømforsyningen, hvorav 89 % skyldtes spenningsfall. Avbrudd pga. svikt i strømforsyningen forårsaket en midlere nedetid fra 13 min/mnd til 4,9 timer/mnd i de undersøkte anleggene. På ett anlegg var nedetiden pga. svikt i strømforsyningen 18 timer i den verste måneden. Hvis nedetiden er vesentlig, bør man vurdere beredskapstiltak i form av nødstrøm, UPS, klor/klordioksid, etc.

Selv om en dokumentasjon av kvaliteten på strømleveransen kan gi verdifull informasjon og danne grunnlag for målrettede og spesifikke tiltak, anbefales likevel forebyggende tiltak i form av: 1) Grovvern, 2) Finvern, 3) UPS og 4) Nødstrømforsyning.

### **Driftsproblemer i UV-anlegg**

Mangelfulle forundersøkelser og dårlige grunnlagsdata, underdimen-

sjonering, komponentsvikt, lekkasjer, beleggdannelse, feil i sensorer, feil i kontrollsystemer og feilaktige doseberegninger, feil i strømforsyning (strømblink/spenningsvariasjoner), manglende vannmålere, manglende avstengningsmuligheter og manglende oppfølging fra leverandører synes å være vanlige årsaker til driftsproblemer. UV-anleggene er også følsomme for feil design, feil dimensjonering eller sub-optimal drift av forutgående vannbehandlings-trinn.

Det finnes eksempler på UV-anlegg som er betydelig underdimensjonert, til tross for at UV-transmisjonen i vannet er høyere og vannmengden lavere enn den som ble lagt til grunn i dimensjoneringen. Årsaken kan være flere: små økonomiske marginer hos leverandører, mangel på kompetanse hos rådgiver/leverandør/bruker, feil og misforståelser i underlagsmaterialet, m.v. Mange problemer kan også unngås ved å legge arbeid og omtanke i utformingen av kontrakter/avtaler. Det viser seg også at UV-aggregater/linjer ofte er bygget uten separate vannmålere, noe som gjør det vanskelig å styre/beregne/kontrollere UV-dosen når flere parallelle aggregater er i drift samtidig. Det er også rapportert en lang rekke svikt i sentrale komponenter i UV-anlegg, for eksempel:

- Vannlekkasjer i UV-sensorer med påfølgende feilaktig intensitets- og doseangivelse. Kvartsglassene synes ikke å være utført med en tilfredsstillende tetningsanordning ved det høye trykket de ofte kan

utsettes for (8-9 bar). Dette kan medføre at sensoren viser for lav intensitet, og dette forholdet kan derved generere mye unødig vask, skifte av lamper før tiden og unødig stans/nedetid for aggregatet.

- Beleggdannelse på UV-sensorvinduer og vanskelig rengjøring-/svabring på grunn av uheldig utforming (nedfelling) av vinduet. Gir effekter som nevnt i punktet ovenfor
- Uten en egen vannmåler på hver behandlingslinje/hvert aggregat kan ulikheter i hydrauliske forhold/rørøpplegg/trykktap medføre skjevfordeling i vanntilførsel til hvert UV-aggregat/linje.
- Feil i elektrisk kabling, noe som kan medføre at anslutningene for lampene smelter. Dette kan medføre økt behov for bytte av lamper/rør, og kan - dersom mange lamper svikter - bevirke at hele aggregatet stenges automatisk.
- Spenningsfall kan oppstå som følge av feil og mangler på sentral-, regional- eller lokalnettet, eksempelvis som følge av komponentsvikt, kapasitetsproblemer, lynnedslag, innslag av tunge lastkomponenter som spyle- eller renavnspumper, osv. Det er viktig at det lokale elektriske anlegget/kursen er tilstrekkelig dimensjonert, slik at store spenningsfall som kan medføre stenging av UV-aggregatet, ikke oppstår unødig.
- Strømforsyningen i Norge synes å være preget av relativt mange strømblink/spenningsdip. Det finnes eksempler på UV-anlegg

med flere tusen start/stopp over en 2-årsperiode på grunn av slike forhold (SINTEF Energiforskning, 2007).

- Etter et strømblink eller spenningsfall skal PLS normalt skifte til drift på et stand-by aggregat. Det er rapportert at dette ikke alltid skjer, noe som tilsier svikt i PLS.
- Nødstrømsaggregater er ofte for snaut dimensjonert til å holde UV-anlegg, renavnspumper og andre sentrale anleggskomponenter i drift samtidig.
- Kortslutning/svikt i UV-anlegg på grunn av flom/oversvømmelse har også forekommet, og dette forholdet bør selvsagt også inn som en del av plasseringsvurderingen. Den hygieniske sikkerheten er også normalt svekket i perioder med ekstrem nedbør, slik at behovet for en velfungerende UV-desinfeksjon er stort.
- Det er rapportert om feilleveranse av UV-lamper, og om svikt i det mekaniske viskersystemet, noe som har ødelagt kvartsrørene.
- Undertrykk i aggregatene, med påfølgende overoppheting av UV-lampene, har forekommet.
- Det er rapportert at hyppig start/stopp reduserer lampenes levetid i langt større grad enn levetiden har angitt.
- Det er rapportert om momentan slukking av UV-lamper som følge av svikt i forutgående vannbehandling, mens vann fortsatt har drenert gjennom UV-aggregatene til renavnsmagasin.
- Det er også rapportert om spontane problemer med beleggdannelse på

kvartsrørene ved overgang fra Al-til Fe-basert koagulering i forutgående vannbehandling.

### **Aldring av UV-lamper**

UV-lys (fotoner) produseres ved å sette elektrisk spenning på gassen i lampene. Bølgelengden på dette lyset avhenger av type gassblanding og anvendt spenning i lampen. Den inaktiverende (biocidale) effekten er størst for UV-lys med bølgelengder i området 200-300 nm. UV-lys (fotoner) i dette bølgelengdeområdet trenger lett gjennom cellevegger, cytoplasma og cellemembraner og forårsaker irreversible skader på mikroorganismenes metabolisme og arveegenskaper (DNA-molekyler). Og en mikroorganisme som ikke kan formere seg kan heller ikke forårsake infeksjon i en vert. I visse tilfeller kan slike skader repareres helt eller delvis, men slik lys- eller mørkereparasjon skal ikke omtales nærmere her.

UV-lamper degraderes ved bruk, og slik aldring gir en reduksjon av levert UV-dose over tid. Ved design av UV-anlegg må man derfor kompensere for aldring av lamper ved bruk av en spesiell belegg-/aldningsfaktor. Degraderingen er en funksjon av driftstid (timer); antall av- og påslag; anvendt effekt pr. lengdeenhet av lampen; vanntemperatur og varmeoverføring fra lampene. Aldringseffektene varierer i betydelig grad fra lampe til lampe, og den er ikke uniform i lampens aksial- og horisontalretninger. Det er derfor svært viktig at UV-sensoren kontrolleres jevnlig.

### **Strategier for dosestyring og kontroll**

Dosestyringen sørger for å etablere og kontrollere de driftsparametrene som er nødvendige for å bekrefte den leverte UV-dosen. Her skal omtales strategier for dosestyring/kontroll basert på to ulike tilnærminger:

- Set-punkt for UV-intensitet
- Beregnet UV-dose

Set-punkt-metoden tar utgangspunkt i et eller flere set-punkter for UV-intensitet, etablert under reaktorvalideringen for å bestemme UV-dosen. Under vanlig drift må signalet fra UV-sensorene minst oppfylle set-punktene for UV-I for å sikre tilstrekkelig dosering. Reaktorene må i tillegg operere innenfor valideringsområdet for vannføring og lampestatus. Denne metoden trenger ikke separat måling av UV-transmisjon, siden UV-I målingene også ivaretar endringer i UV-T. Denne kontrollstrategien kan baseres på bruk av et enkelt set-punkt som gjelder for alle vannføringer innen valideringsområdet, eller på variable set-punkter der set-punktene bestemmes ut fra en likning eller tabell for ulike vannføringer.

Doseberegning-metoden anvender en likning for å beregne UV-dosen ut fra målte driftsdata for vannføring, UV-intensitet, og UV-transmisjon. Likningen for doseberegning kan være utviklet av produsenten/leverandøren, basert på numeriske beregninger. USEPA anbefaler imidlertid at man anvender en empirisk likning som baseres på

resultatene fra valideringstesten. Under vanlig drift beregner UV-kontrollsystemet (PLS-en) den leverte UV-dosen ut fra likningen, og med de overnevnte målte driftsdata som input. Den beregnede dosen blir deretter dividert med valideringsfaktoren og den resulterende dosen blir så sammenholdt med dosekravet.

### Oppsummering

UV for desinfeksjon av drikkevann opplever en sterk vekst globalt sett. Dette gjelder også de aller største vannverk. I Norge må UV-anlegg være godkjent av Mattilsynet som en del av den godkjenningen som kreves for godkjenningsspliktige vannforsyningssystem, og de bør også være godkjent i henhold til FHIs typegodkjenningsordning.

Blant fordelene ved UV er at metoden utgjør en relativt enkel og rimelig barriere mot de fleste patogener, inklusive klorresistente parasitter. UV-bestråling med doser på 40 mJ/cm<sup>2</sup> gir en effektiv inaktivering av bakterier, parasitter og de fleste virus, men høyere doser er påkrevet for visse typer virus (Adenovirus). Noen mikroorganismer har evne til å reparere skader påført ved UV-desinfeksjon (fotoreaktivering), men dette synes lite aktuelt i drikkevannsanvendelser med begrenset lystilgang og doser ≤ 40 mJ/cm<sup>2</sup>. Dannelsen av kjente desinfeksjonsbiprodukter er lav eller fraværende ved de doser som normalt anvendes (40 mJ/cm<sup>2</sup>). Kvar glass forsynes gjerne med et belegg (dopes) for avskjerming av bølgelengder under 240 nm, noe som ytterligere

reducerer risikoen for dannelse av UV-desinfeksjonsbiprodukter. Den påkrevde biodosimetrisk valideringen gjør at nivået for dokumentasjon/kvalitetssikring av UV-anlegg p.t. er andre desinfeksjonsmetoder overlegen.

Bruk av UV er imidlertid ikke problemfri, og det rapporteres blant annet om: 1) Mangelfullt dimensjoneringsgrunnlag (manglende kartlegging av vannforbruk, vann- og strømkvalitet med variasjonsområder); 2) Feildimensjonering; 3) Driftsproblemer knyttet til underkapasitet, beleggdannelse, mangelfull prosessstyrings-/kontroll; 4) Manglende kompetanse hos brukere og rådgivere.

Lavtrykksaggregater krever større plass, men bruker mindre energi og er mer energieffektive enn mellomtrykksaggregater. UV-lampers utstrålte intensitet avtar med tiden (aldring) og de er avhengige av en stabil og god strømforsyning. Nødstrøm og uavbrutt strømforsyning (UPS) er systemkomponenter som kan sikre god driftsstabilitet. UV-lamper er sensitive for vann- (beleggdannelse) og strømkvalitet (start/stopp), og de fleste lamper er kun garantert ned til en vanntemperatur på 5 °C. Mekaniske viskere og/eller kjemisk vask benyttes for renhold av kvartsglass og UV-sensorøye. Forventet levetid for UV-lamper er 8000-12000 timer, mens garantert levetid er 4000-12000 timer. Lavtrykkslamper har normalt lengre levetid enn mellomtrykkslamper. Andre komponenter har forventet levetid på 3-15 år

UV-anlegg må designes med en viss redundans, slik at en beholder nødvendig kapasitet også under perioder med vedlikehold av aggregater. Eksempler på seksjonering kan være 3 aggregater à 50 % kapasitet eller 4 aggregater à 33 % av total kapasitet.

Hva gjelder drift av UV-anlegg definerer rapporten fra den biodosimetrisk valideringen/ godkjennings-sertifikatet via tabeller, kurver og/eller diagrammer de godkjente områder for vannføring og UV-intensitet (samt eventuelt UV-transmisjonen dersom denne inngår i doseberegningen) som den testede UV-reaktoren kan drives innenfor for å oppfylle dosekravet (e.g. 40 mJ/cm<sup>2</sup>). Drifts- og dosekontrollen baseres derfor normalt på: 1) Setpunkter (med alarmer) for UV-intensitet, vannføring og eventuelt UV-transmisjon, eller 2) Beregnet UV-dose basert på data for de samme parametere. Typiske overordnede alarmer i et UV-anlegg kan være: 1) for lav UV-dose, 2) for lav UV-intensitet, 3) for lav UV-transmisjon, 4) for høy vannføring, 5) feil i viskerfunksjon, 6) feil i strømfor-syning/ballaster, 7) lavt vannivå, og 8) høy temperatur. UV-sensorer, vannføringsmålere og eventuelle UV-transmisjonsmålere er kritiske komponenter som må kontrolleres jevnlig, og sentrale driftsrutiner omfatter blant annet: 1) Kontroll og skifte av UV-lamper, 2) Vask/fjerning av belegg på kvartsglass og UV-sensor, og 3) Kontroll av UV-sensor og UV-transmisjonsmåler mot referanse-sensorer.

Optimal drift av forutgående vannbehandlingstrinn er viktig av hensyn til vannkvalitet og belegg-dannelse. Kombinasjoner av ulike desinfeksjonsmetoder kan gi økt hygienisk sikkerhet, eksempelvis UV og klor/kloramin.

Det anbefales en prøvedriftsperiode på minst 3 måneder før overtakelse av UV-anlegg. Overtakelsen skjer når leverandøren har bekreftet at prøvedriften har dokumentert stabile driftsforhold. Garantitiden løper fra overtakelsestidspunktet. Det bør stilles krav om en viss driftsstabilitet, for eksempel 99 %, det første året, og man bør knytte utbetaling av den resterende kontraktsummen, for eksempel 10 eller 15 %, til denne perioden. Ved svikt forlenges perioden uten innbetaling.

For å vurdere effektivitet og stabilitet i UV-barrieren foreslås bruk av varighetskurver for UV-dose som et verktøy. Det bør etableres akseptkriterier for driftsstabilitet, for eksempel som funksjon av andre barrierer i vannforsyningsystemet, tilstedeværelse/størrelse av buffervolumer, helt eller delvis bortfall av UV-barriere, m.m.

UV-rapporten inneholder detaljerte sjekklistene for: 1) Grunnlagsdata som vannverket må fremskaffe, 2) Informasjon og kravspesifikasjoner til leverandøren, og 3) Informasjon og spesifikasjoner fra leverandøren. Sjekklistene er ment å dekke de fleste relevante forhold og er derfor omfattende. I hvert konkret tilfelle kan imidlertid listene normalt reduseres betydelig ved å ekskludere forhold som ikke anses å ha lokal



relevans. Det kan være et problem i slik sammenheng at produsentene av UV-aggregater ønsker at visse opplysninger fra valideringen skal holdes konfidensielle.

### Referanser

Bolton, J.R. and Cotton, C. (2008) The ultraviolet disinfection handbook. American Water Works Association (AWWA), Denver, Co., USA. ISBN 1-58321-584-0

Cotton, C., Passantino, L., Owen, D., Bishop, M., Valade, M., Becker, W., Joshi, R., Young, R., LeChevallier, M. and Hubel, R. (2004) Integrating UV disinfection into existing water treatment plants. AWWARF, Denver

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches – DVGW (2006): W 294-1 Arbeitsblatt 06/2006. UV-Geräte zur Desinfektion in die Wasserversorgung; Teil 1: Anforderungen an Beschaffenheit, Funktion und Betrieb  
[http://www.wvgw.de/index.php?id=451&id\\_p=306610](http://www.wvgw.de/index.php?id=451&id_p=306610)

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches – DVGW (2006): W 294-2 Arbeitsblatt 06/2006. UV-Geräte zur Desinfektion in die Wasserversorgung; Teil 2: Prüfung von Beschaffenheit, Funktion und Desinfektionseffektivität.  
[http://www.wvgw.de/index.php?id=451&id\\_p=306611](http://www.wvgw.de/index.php?id=451&id_p=306611)

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches – DVGW (2006): W 294-3 Arbeitsblatt 06/2006. UV-

Geräte zur Desinfektion in die Wasserversorgung; Teil 3: Messfenster und Sensoren zur radiometrischen Überwachung von UV-Desinfektionsgeräten; Anforderungen, Prüfung und Kalibrierung.

[http://www.wvgw.de/index.php?id=451&id\\_p=306612](http://www.wvgw.de/index.php?id=451&id_p=306612)

Eikebrokk, B., Ræstad, C., Hem L.J. og Gjerstad K.O. (2008) Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann. Norsk Vann Rapport 164/2008.

Larason, T. and Ohno, Y. (2006) Calibration and characterization of UV-sensors for water disinfection. Metrologia, 43

Lund, V. (2008) Personlig kommunikasjon

Mattilsynet (2005): Veileder til drikkevannsforskriften. Revidert utgave

[http://www.mattilsynet.no/mattilsynet/multimedia/archive/00017/Drikkevannsforskrift\\_17819a.pdf](http://www.mattilsynet.no/mattilsynet/multimedia/archive/00017/Drikkevannsforskrift_17819a.pdf)

Nasjonalt Folkehelseinstitutt, FHI (2006) Drikkevannsforsynings ABC

Norsk Standard NS 9462 (2006): Måling av UV-absorbans og UV-transmisjon i vann

SINTEF Energiforskning (2007): Pers. kommunikasjon H. Seljeseth

Sommer, R. (2008): UV Guidelines – Europe. Proc. UV-workshop, Imperial College, London, 15. Sep

Templeton, M. (2008): UV Disinfection of Drinking Water: Opportunities, Limitations, and the UK Context. Proc. UV-workshop, Imperial College, London, 15. Sep

USEPA, Office of Water (2006) Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule. EPA 815-R-06-007 <http://www.epa.gov/safewater/disinfection/lt2/compliance.html>

Wright, H. et al. (2006) Integration of validation, design and operation provides optimal implementation of

UV disinfection. Journal. AWWA, 98:10, pp. 81-92

ÖNORM (2001): Plants for disinfection of water using ultraviolet radiation: Requirements and testing, Part 1: Low Pressure Mercury Lamp Plants. ÖNORM M 5873-1. Österreichisches Normungsinstitut, Vienna, Austria: [www.on-norm.at](http://www.on-norm.at)

ÖNORM (2003): Plants for disinfection of water using ultraviolet radiation: Requirements and testing, Part 2: Medium Pressure Mercury Lamp Plants. ÖNORM M 5873-2. Österreichisches Normungsinstitut, Vienna, Austria: [www.on-norm.at](http://www.on-norm.at)

## Annonser i Tidsskriftet Vann og få gratis logo på Norsk vannforenings nettsider!

– alle logoene lenkes opp til egne nettsider

### Priser for å annonsere:

En halvside annonse pr. nummer	kr 1 600
En helside annonse pr. nummer	kr 2 700
Fire halvside annonser, fire nummer	kr 6 000
Fire helside annonser, fire nummer	kr 10 000

Kontakt: [post@vannforeningen.no](mailto:post@vannforeningen.no)

**COWI**

**HALLINGDAL BERGBORING**

**Norconsult**

**Bioforsk**

**aquateam**

**asplan viak**

