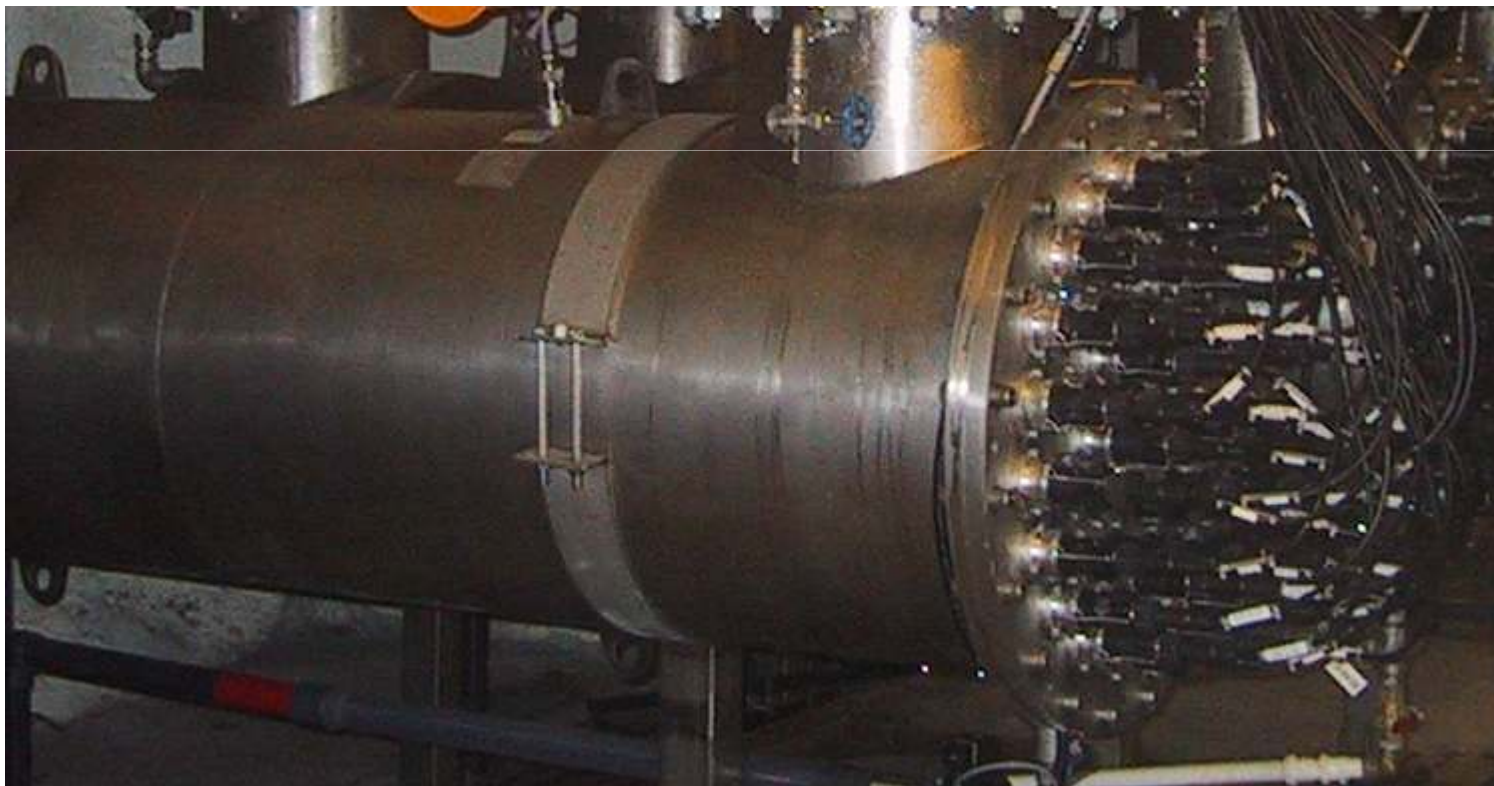


UV-desinfeksjon som hygienisk barriere

Seniorforsker dr.ing. Lars J. Hem



Norsk Vann Rapport

164 | 2008



Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann



NORVAR

Prosjektrapport

139
2004

Erfaringar med klorering og UV-stråling av drikkevann



AL Norsk vann og avløp BA

UV som desinfeksjonsmetode

- Ca. 800 vannverk har UV – desinfeksjon (VREG) i Norge
- Disse anleggene forsyner ca. 1.5 mill. personer
- Før primært på de små – nå også UV på de store vannverk
- Sterk økning i antall UV-anlegg de siste årene
- Hovedårsak til den økende interessen for UV:
 - Effektiv inaktivering av parasitter (i motsetning til klor)
 - Dokumenterte barrieresvikt i mange vannkilder – også i store innsjøer med dypvannsinntak
- 2004: Helsinki med verdens største UV-anlegg: 7 000 m³/t
- 2007: New York (300 000 m³/t), Seattle (28 000 m³/t), Rotterdam (19 600 m³/t)
- 2008: Oslo (Oset): 21 600 m³/t (2 anlegg)

Innhold

- Litt om regelverk
- Hvordan virker UV som hygienisk barriere?
- Forutsetninger for at UV-desinfeksjon er en hygienisk barriere
- Oppbygging av UV-anlegg
- Design av UV-anlegg
- Hvordan svikter UV som hygienisk barriere?
- Hvordan kan vi forebygge svikt i barrieren?
- *Erfaringer fra anlegg i drift*

Drikkevannsforskriftens §14 (2002)

”For å sikre hygienisk betryggende drikkevann, skal eier av godkjenningspliktig vannverk gjennom valg av vannkilde(r), beskyttelse av denne (disse) og etablering av vannbehandling sørge for at det til sammen finnes minimum 2 hygieniske barrierer i vannforsyningssystemet.

En av disse skal sørge for at drikkevann blir desinfisert eller behandlet på annen måte for å fjerne, uskadelig-gjøre eller drepe smittestoffer.”

Veilederen til Drikkevannsforskriften

Indikatorkrav til vannbehandling og UV-desinfeksjon som hygieniske barrierer

- Bakterier og virus: ≥ 3 log fjerning/inaktivering (99,9%)
- Parasitter: ≥ 2 log fjerning/inaktivering (99%)

Veilederens krav til indikatorverdier for UV-dose:

- > 30 mJ/cm² for inaktivering av bakterier, virus og parasitter,
basert på beregnet doseverdi*
- > 40 mJ/cm² for inaktivering også av bakteriesporer,
basert på biodosimetertest*

UV som desinfeksjonsmetode

- UV kan skade DNA
- UV kan skade proteinkappen til virus
- Sekundærskader
- Fotoreperasjon 1-2 timer etter bestråling
- Enzymatisk mørkereperasjon

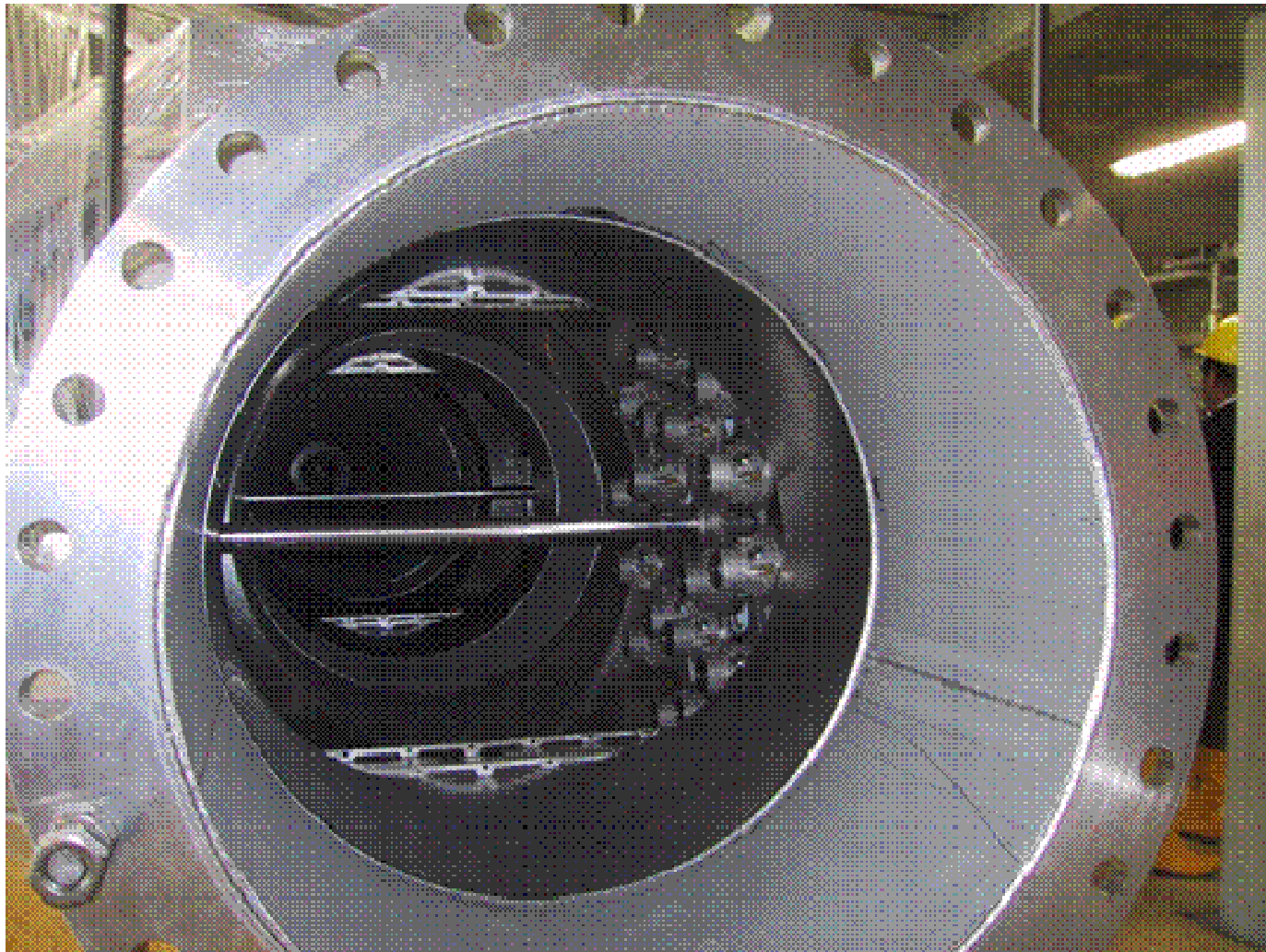
Ulike anleggstyper (lavtrykk)



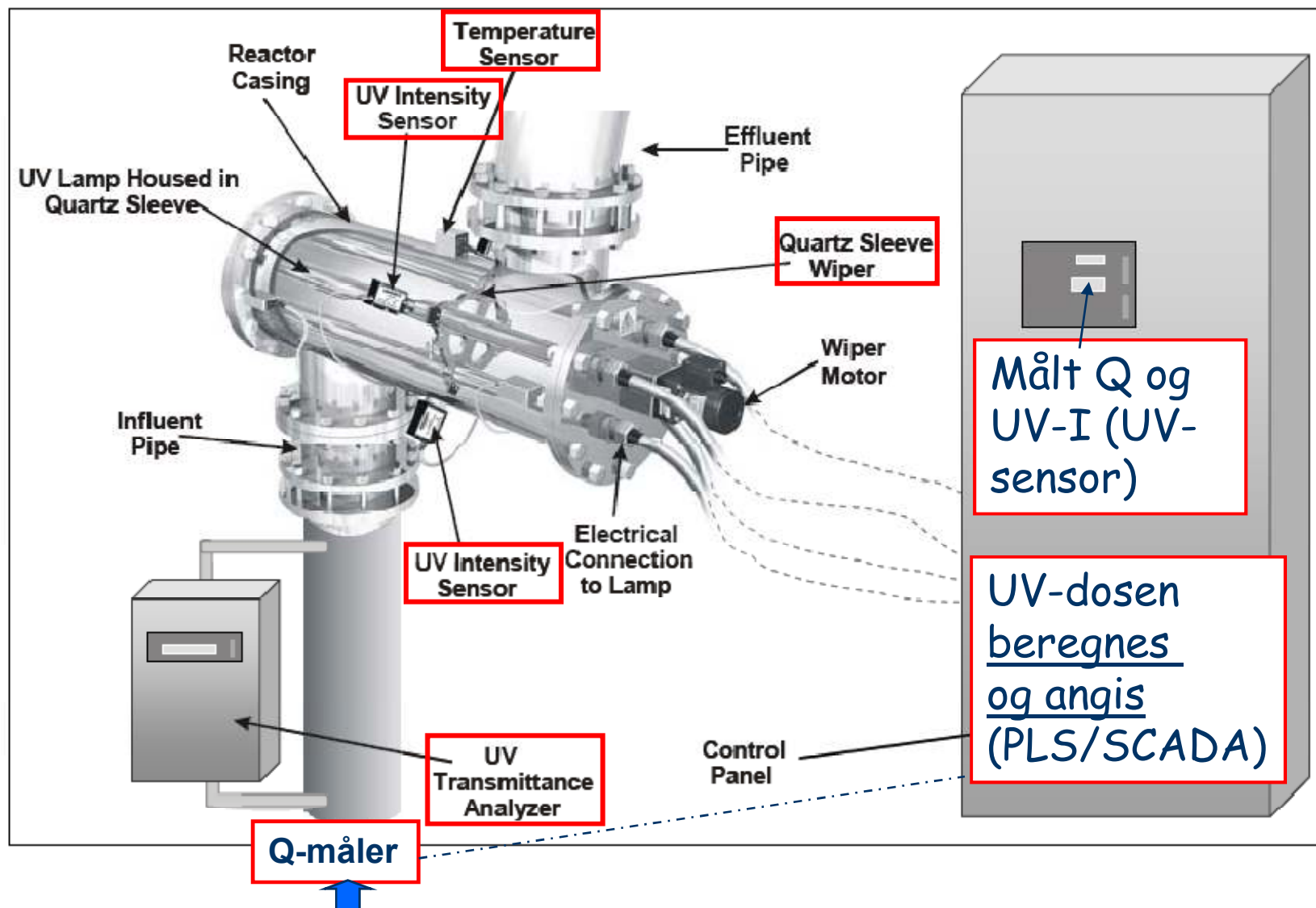
Ulike anleggstyper (lavtrykk)



Ulike anleggstyper (mellomtrykk)



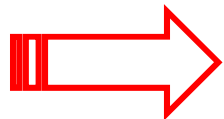
Sentrale komponenter i UV-anlegg



UV-intensitet, -transmisjon og -dose

Noen sentrale begreper:

- UV-intensitet, UV-I (mW/cm^2); = f (lampe, UV-T, belegg)
- UV-transmisjon, UV-T (%); = f (vannkvalitet, dvs NOM, Fe, ++)
- Bestrålingstid, t (sek); = f (Q, UV-reaktorhydraulikk, reaktorvolum)



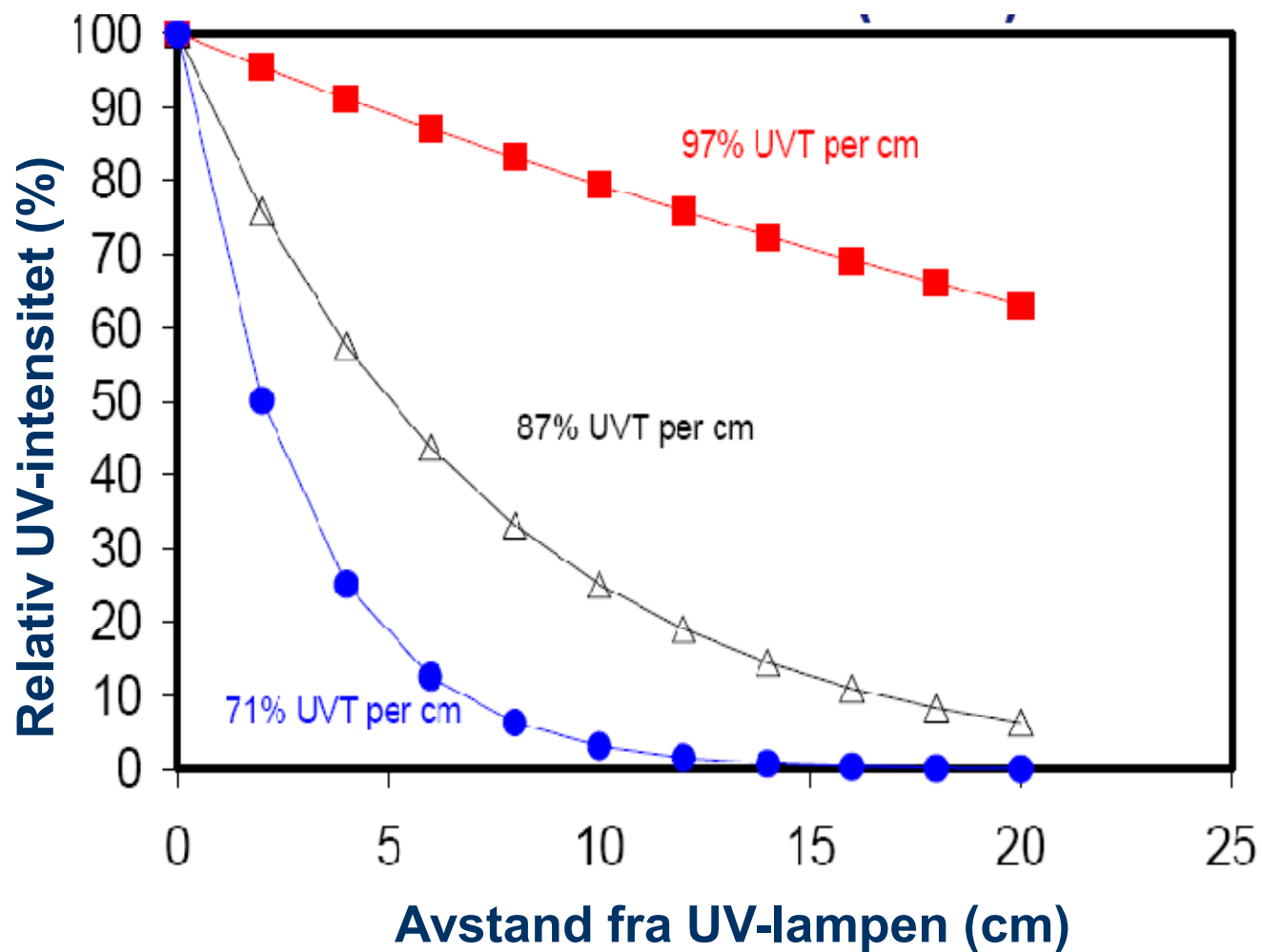
$$\text{UV-dose (mWs/cm}^2\text{, i.e. mJ/cm}^2\text{)} = \text{UV-I} \cdot t$$

UV-anlegg må baseres på gode grunnlagsdata/worst case

- Max vannstrøm (Q_{DIM})
- Minimumsverdi for UV-I (avgitt av lampe/målt i sensor)
- Minimumsverdi for UV-T (vannkvalitet)
- Kvalitet på ekstern og intern strømforsyning

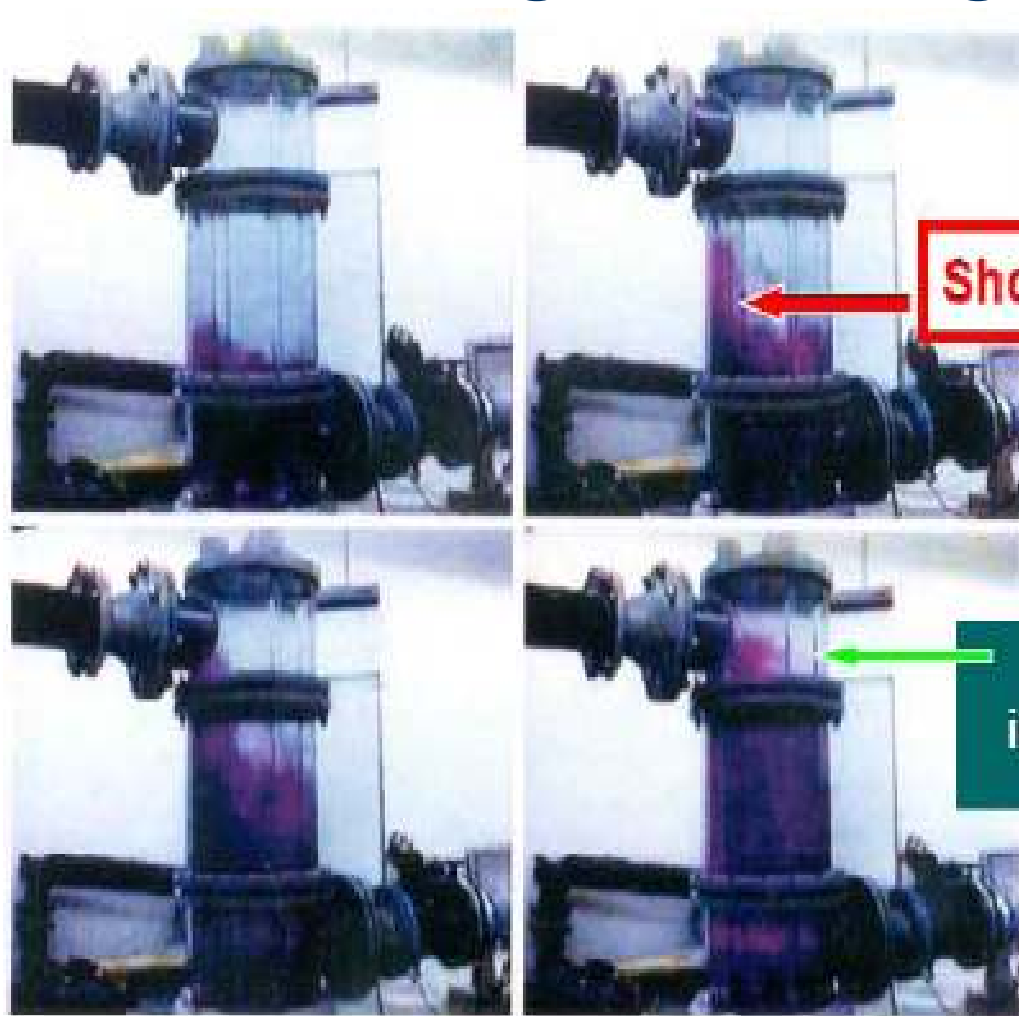


Den viktigste vannkvalitetsparameter UV-transmisjon



Templeton (2008)

Kortslutningsstrømmer og gradienter i UV-intensitet gir inhomogen UV-dosefordeling

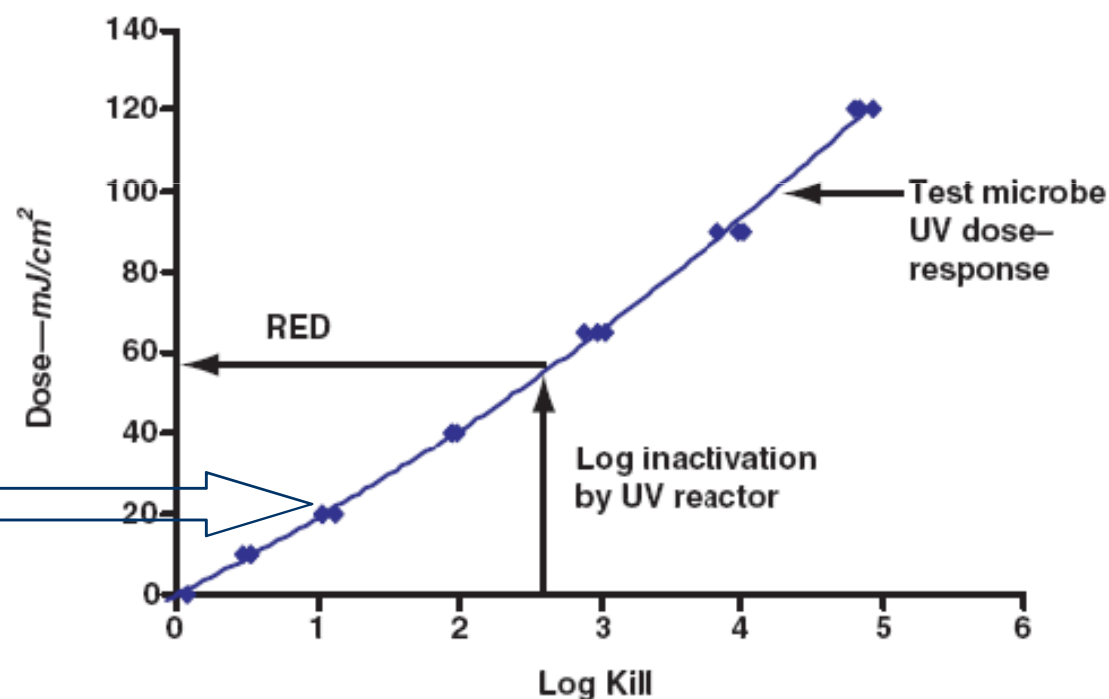


UV-dosen er vanskelig (umulig) å beregne. Derfor brukes en test-organisme som måleinstrument (biodosimeter) for tilført dose

(Sommer 2008)

Biodosimetrisk testing/validering

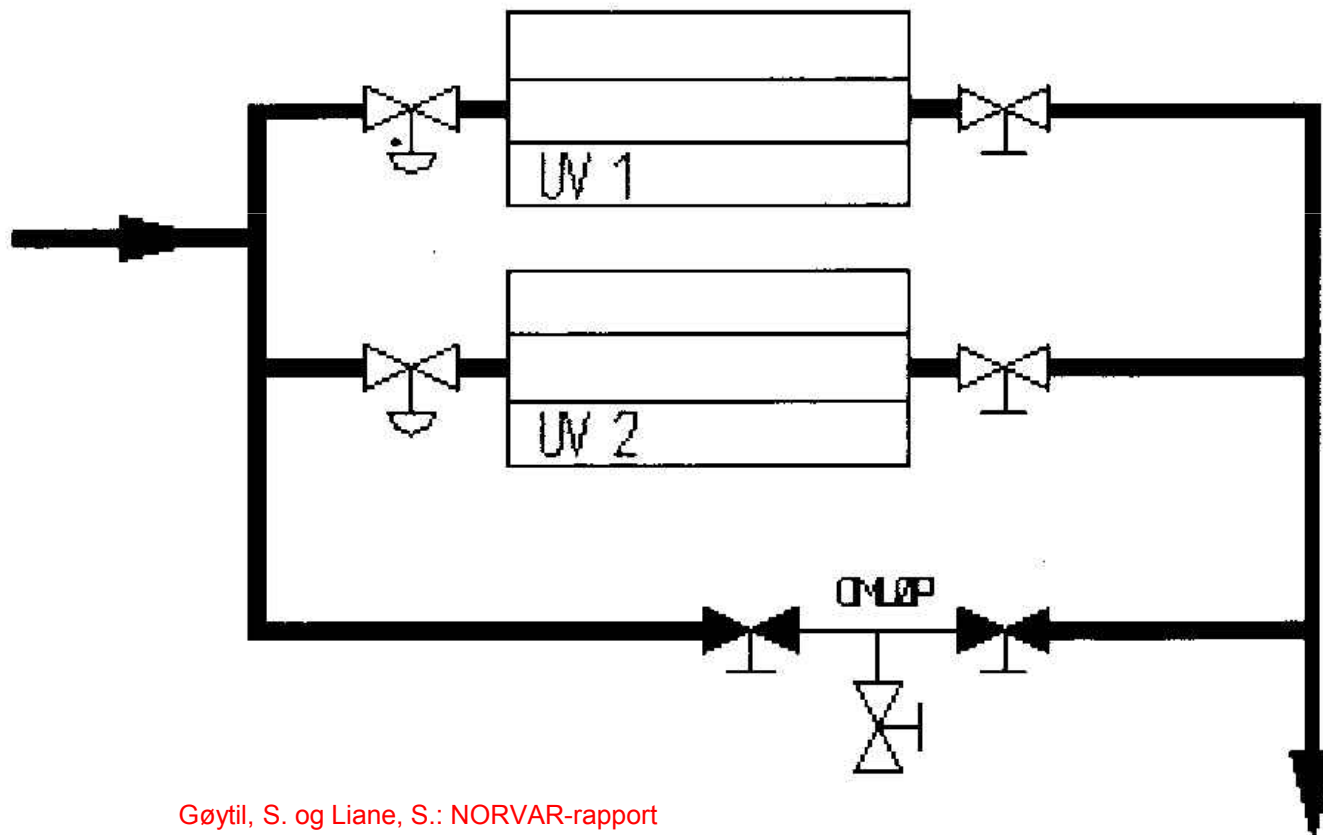
- Utdøing av en standardisert testorganisme sammenlignes med utdøing under standardiserte betingelser i lab. 2 log (99 %) reduksjon er definert som 40 mJ/cm²



Dose - Responskurve for testorganismen

Generelt om design

- Anleggene skal bygges med minst ett aggregat i reserve, dvs. med minst 2 i parallell. Det må være stengeventiler før og etter hvert aggregat

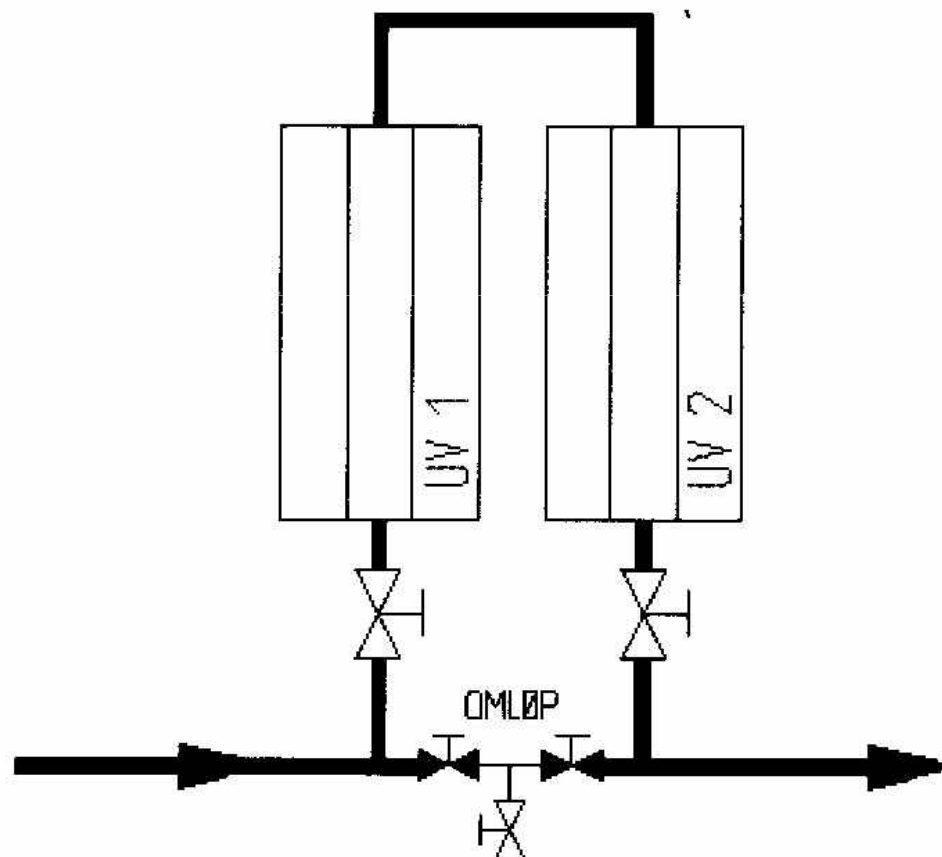


Gøytil, S. og Liane, S.: NORVAR-rapport
139/2004

Generelt om design

- Anleggene kan bygges med flere aggregater i serie, hvorav ett i reserve. Ved service på ett aggregat må en da stanse vannproduksjonen.

- Dersom anleggene er utformet med omløp forbi aggregatene anbefales 2 ventiler med blødenippel mellom



Gøytil, S. og Liane, S.: NORVAR-rapport
139/2004

Generelt om design

Merk at aggregatene er designet for en maksimal vannføring ved ulike UV-T, og evt for en minimal dose (ved dosekontroll) bl.a. pga. krav til strømningsmønster i UV-aggregatet

Plassering i forhold til andre renseprosesser

UV-anlegget bør stå der vannets UV-T er høyest, dvs:

- Etter fjerning av farge og turbiditet
- Før tilsetting av kalkvann eller andre kjemikalier som kan gi økt turbiditet
- *Før vannglass*

Dersom UV er etter et humusfjerningstrinn, kan svikt i humusfjerningen medføre at begge barrierene faller ut

Klorering som backup

- Dersom stans av anlegget ved for lav UV-dose er uakseptabelt må anlegget ha klor som back-up
- Dersom en i forkant av UV har humusfjerning og denne svikter, synker UV-T dramatisk. Dermed kan begge de hygieniske barrierene falle ut. Sterkklorering som nødvendig tiltak?
- Levetiden til natriumhypokloritt er begrenset og temperaturavhengig

Norske vannverk med E.coli påvist i >5% av rentvannsprøvene (V.Lund, 2007 (VREG))

Behandlingsmetode som hygienisk barriere	% av vannverk	Personer berørt (i 1000)
Membranfiltrering	5,4	1,6
Koagulering/partikkelseparasjon + UV/klor	4,0	1,6
Klor	11,8	4,5
UV	11,2	28

Hvordan svikter UV som barriere?

- Underdimensjonerte anlegg og mangelfull oppfølging fra leverandør
- Mangelfulle dimensjonerings-/grunnlagsdata
- Redusert levetid på UV-lamper pga lav temp (LP), mange start/stopp
- Kortslutninger/svikt pga flom/oversvømmelse
- Lekkasje i UV-sensorer med påfølgende signalfeil
- Manglende kontroll/tilsyn av anlegg generelt og UV-sensorer spesielt
- Beleggdannelse på kvartsglass og sensorvinduer
- Manglende vannmålere og hydraulisk skjevfordeling mellom linjer
- Feil i elektrisk kabling og smeltende anslutninger
- Stans av anlegget pga dårlig strømkvalitet: strømblink/spenningsfall
- Manglende/underdimensjonert nødstrømforsyning/UPS
- Feilleveranser av UV-lamper og manglende reservedeler
- Dårlig rengjøring og svikt i mekaniske viskersystemer
- Lampebrekkasje pga trykkstøt/undertrykk
- Svikt i forutgående vannbehandling med stopp i UV
- For lav kompetanse i flere ledd (leverandør-rådgiver-bruker)

Driftsforstyrrelser som kan påvirke barriereeffekt og -stabilitet

- Forhold utenfor selve UV-anlegget
 - Forringelse av råvannskvalitet (sirkulasjon, flom, etc)
 - Svikt i oppstrøms vannbehandling
 - Svikt i strømforsyning (strømutfall, blink, spenningsfall, etc)
 - Flom, oversvømmelser, m.v.

- Forhold i selve UV-anlegget
 - Komponentsvikt i UV-anlegg (ballaster, lamper, sensorer, etc)
 - Svikt i styring/PLS
 - Beleggdannelse
 - Svikt i vaskesystemer/beleggek kontroll
 - Svikt i driftskontroll og vedlikeholdsrutiner
 - Svikt i kalibreringsrutiner (f. eks. UV-sensor)
 - Manglende reservedeler/reservedelslager

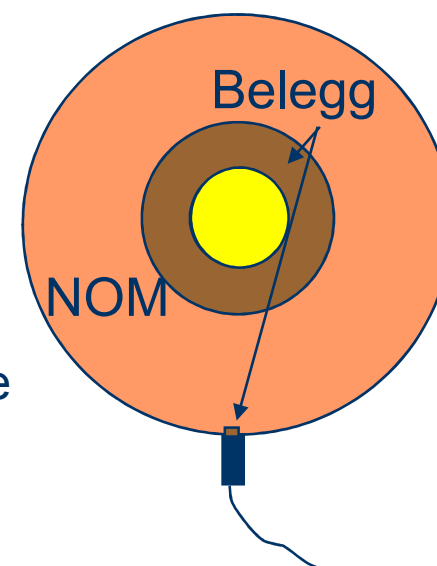
Hva betyr nedetid/svikt i UV-aggregater for total barriereeffekt (log-reduksjon)?

- Eksempel 1: Full svikt (fra 2.6 til 0-log reduksjon) for 4 % av behandlet vannvolum (tid) gir en total log-reduksjon på 1.37 (I Norge kreves 2-log reduksjon for parasitter og 3-log for bakterier og virus)
- Eksempel 2: Delvis svikt (fra 2.6 til 2.0 log-reduksjon) for 8 % av behandlet vannvolum (tid) opprettholder en total log-reduksjon på 2.5

Bør det stilles krav til driftsstabilitet/max nedetid (off-spec drift) ?

Vannkvalitet og UV-desinfeksjon

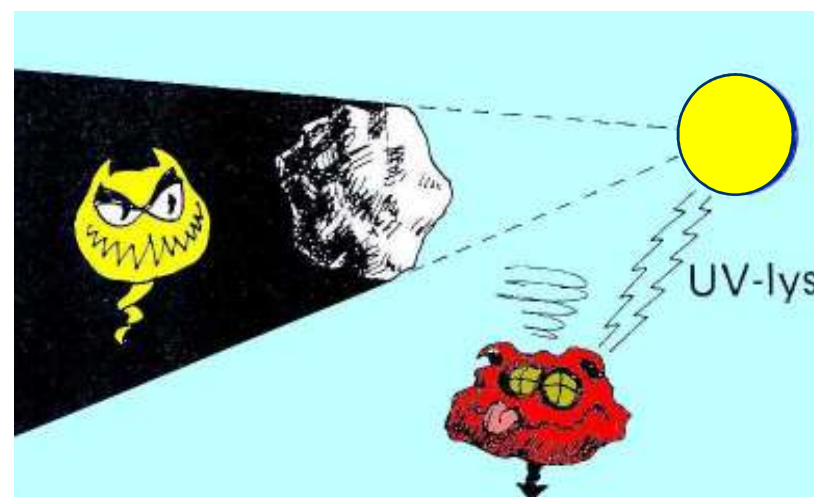
- Partikler: skygge-effekter og innbaking av mikroorganismer
- NOM: absorberer UV-lys og reduserer UV-transmisjonen
- Restmetall fra koagulering: kan redusere UV-T og danne belegg på lampe og sensor
- Jern+mangan: kan gi belegg som er vanskelig å fjerne (NB for grunnvann)
- Også sensoren trenger rengjøring – ikke bare kvartsglassene
- USEPA: Månedlig kontroll av UV-sensor anbefales



Kartlegg vannkvalitet m/variasjoner !

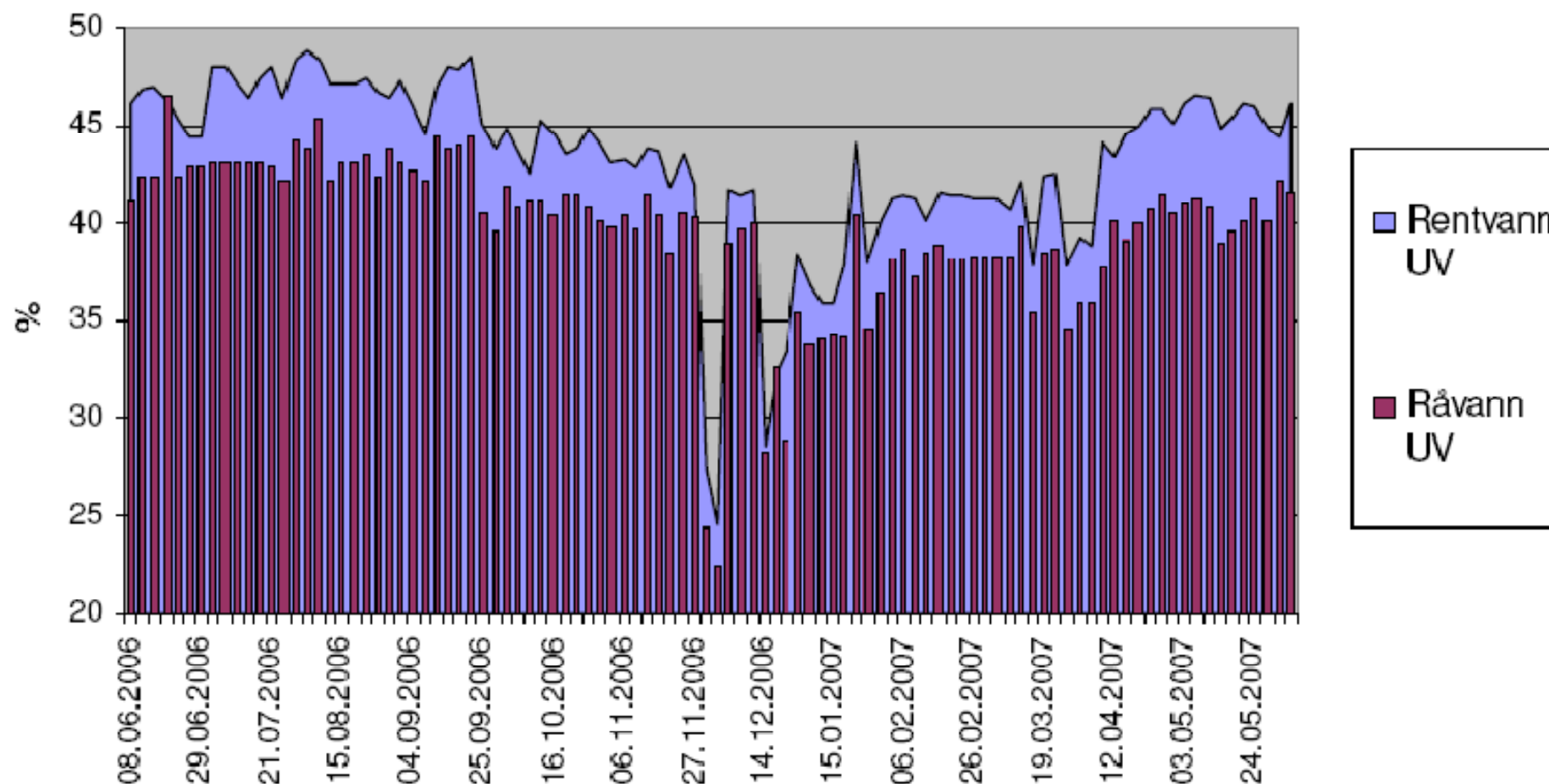
Optimal vannbehandling er viktig!

Rengjøring/vask er viktig!



Sirkulasjonsperioder i vannkilder kan gi stor reduksjon i UV-transmisjonen

(Talgø 2007)



NB for substanser med høy UV-absorbans og stort potensial for beleggdannelse

91 -> 90 % T_{254}

Compound ¹	Molar Absorption Coefficient ($M^{-1} cm^{-1}$)	Impact Threshold Concentration ² (mg/L)
Ozone (O_3) (aqueous)	3,250	0.071
Ferric iron (Fe^{3+})	4,716	0.057
Permanganate (MnO_4^-)	657	0.91
Thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$)	201	2.7
Hypochlorite (ClO^-)	29.5	8.4
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	18.7	8.7
Ferrous iron (Fe^{2+})	28	9.6
Sulfite (SO_3^{2-})	16.5	23
Zinc (Zn^{2+})	1.7	187

I tillegg: **Beleggdannelse** fra Fe, Mn, Ca m.fl.

Forutsetninger for at UV-anlegg kan være effektive og stabile desinfeksjonsbarrierer

- Biodosimetrisk testede/godkjente UV-aggregater
- UV-dose $\geq 40 \text{ mJ/cm}^2$ – Drift innenfor godkjent område
- God og stabil vannkvalitet (UV-T5cm > 30 %)
- Pålitelige og kalibrerte UV-sensorer
- God kontroll på vannføring gjennom alle UV-aggregater
- Effektiv beleggkontroll/vask (lampeglass og sensor)
- God og stabil kvalitet på strømforsyningen
- Kontroll på lampestatus (timeteller, UV-I, pådrag)
- Gode driftsovervåknings-/kontrollsystemer
- Robuste komponenter (ballaster)

Mekanisk (a) og mekanisk-kjemisk (b) rengjøring av UV- lamper/kvartsglass

Visker - teflonring



Visker m/vaskeløsning



Hva med sensorvinduet?

Plassering av sensor



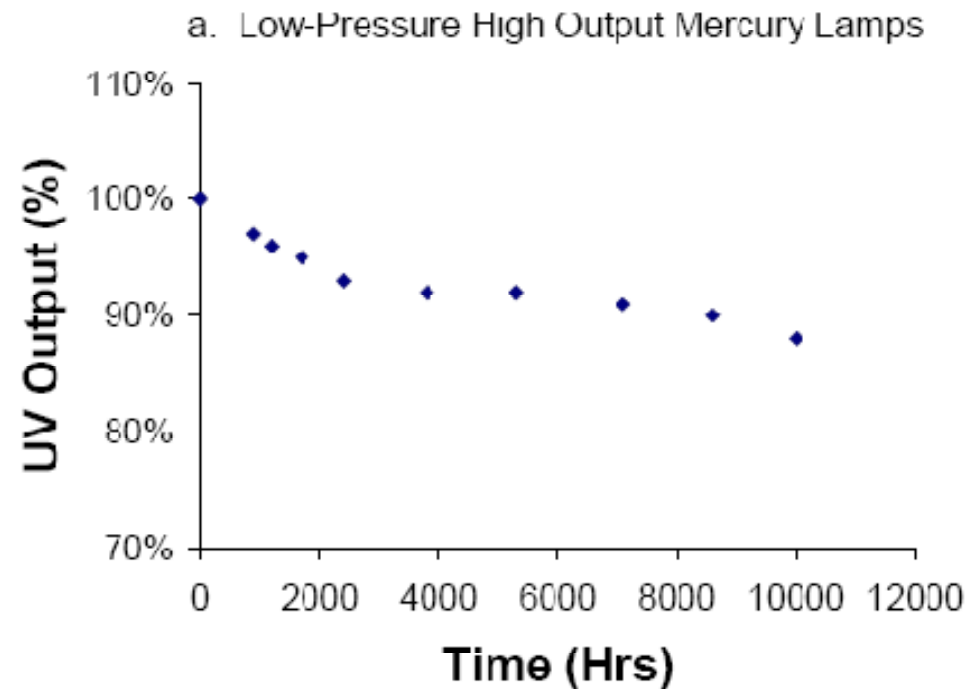
Ikke plasser
sensor i
bunnen

Beleggkontroll ved syrevask



Lampers levetid

- Avgitt UV-intensitet avtar med levetiden
- Levetiden bør være 7-12 000 (LP), og 3-7000 timer (MP)
- Levetiden reduseres ved temperaturer $< 5^{\circ}\text{C}$
- Bruk av uoriginale lamper?



Kvalitet på strømforsyning

- Problem:
 - Spenningsfall > 10 % kan slukke UV-lampen
 - Kortvarige strømutfall - "strømblink" kan slukke lampen
- Årsak til spenningsfall/strømutfall
 - Lynnedslag
 - Dårlig ekstern strømforsyning
 - Dårlig kvalitet på forsyningsnettet i Norge?
 - Forskjell by og land?
 - Dårlig/for liten kapasitet på internt nett
 - Innslag av tunge lastkomponenter
- Gjennomsnittet for Norge når det gjelder antall spenningsdip (sentralnett, regionalnett og lokalnett) er i størrelsesorden 12-16 pr år
 - UV-anlegg vil normalt kunne slås ut 1-2 ggr/mnd pga spenningsdip
- Løsning:
 - Kartlegg kvaliteten på strømforsyningen før anlegget bygges
 - UPS
 - Nødstrøm

Kalibrering

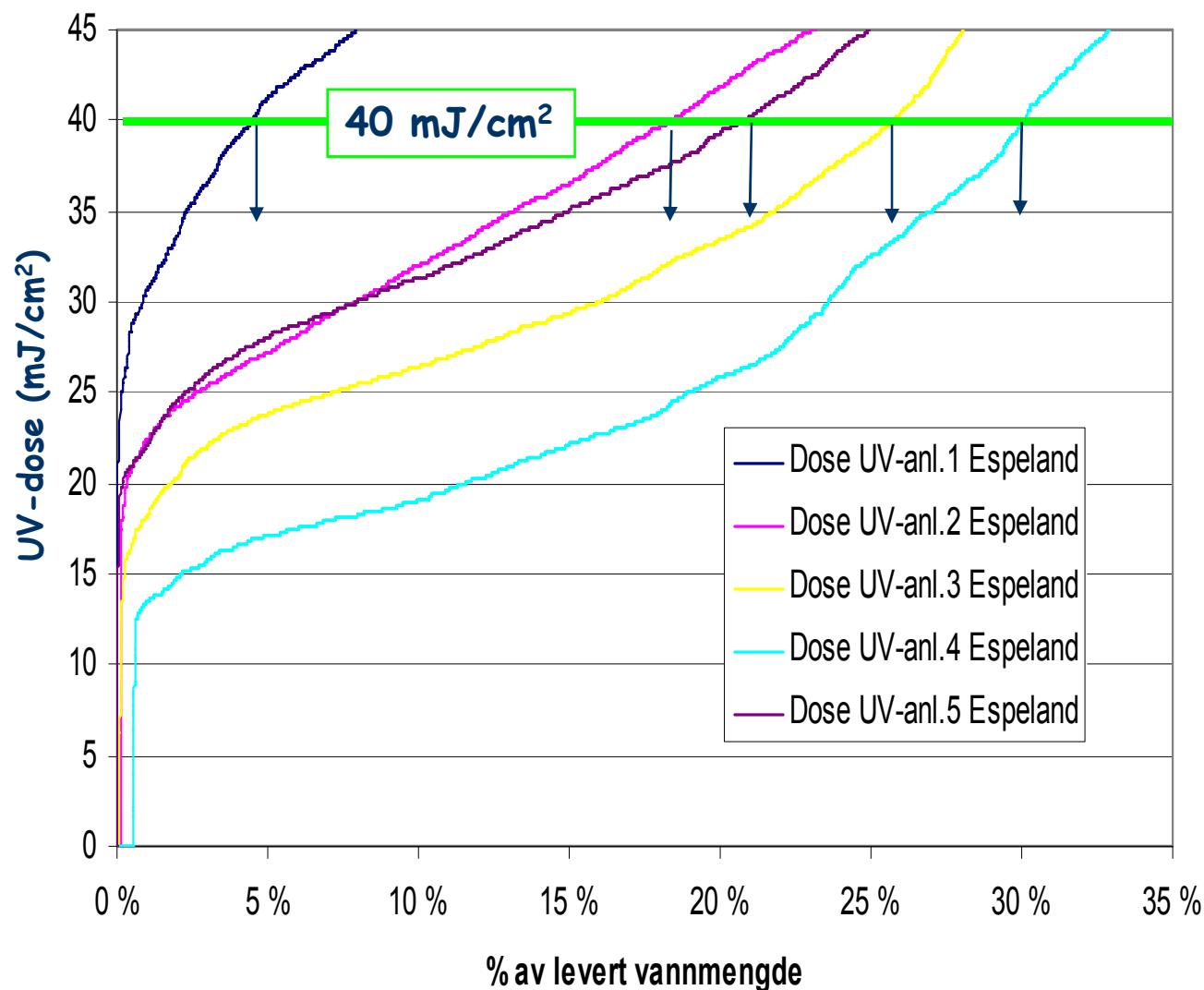
■ UV-sensor

- I USA anbefales månedlig
- Norsk praksis årlig?

■ UVT-måler (månedlig?)

- I USA anbefales ukentlig dersom signalet inngår i dosekontroll
- Norsk praksis månedlig?

Varighetskurver for UV-dose – Et godt verktøy for kontroll og identifisering av barrieresvikt ?



Eksempel
Barrieresvikt (< 40 mJ/cm²) i 5-30 % av levert vannmengde fra anleggets 5 UV-aggregater

Takk for oppmerksomheten