

NIVA



RAPPORT LNR 4173-2000

UV-desinfeksjon av
prosessvannet fra en
fiskefordelingsbedrift

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S


9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel UV-desinfeksjon av prosessvannet fra en fiskeforedlingsbedrift	Løpenr. (for bestilling) 4173-2000	Dato 25. september 2000
	Prosjektnr. Undernr. O-98091	Sider Pris 25s + vedlegg
Forfatter(e) Helge Liltved	Fagområde Akvakultur	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norges forskningsråd (Program for næringsmiddelindustri) Edward Johnsen A/S	Oppdragsreferanse Johs. Kjosbakken Joar Holmeset
--	--

<p>Sammendrag</p> <p>Hovedmålsettingen med prosjektet var å anvende og undersøke effekten av moderne UV-teknologi for desinfeksjon av prosessvannet fra en foredlingsbedrift. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med fiskeforedlingsbedriften Edward Johnsen A/S og utstyrsleverandør Birger Christensen A/S.</p> <p>Det ble vist at det var mulig å nå målsettingen om 99,9% inaktivering m.h.p. vibriobakterier i det aktuelle avløpsvannet når UV-dosen var ca. 60 mWs/cm². Dette tilsier at UV-bestråling er en aktuell metode for denne typen avløpsvann, og et alternativ til mer miljøbelastende metoder som klorering og dosering av maursyre.</p> <p>Som forventet var det en lineær sammenheng mellom vannets UV-transmisjon og målt UV-dose i bestrålingskammeret. Det var videre en lineær korrelasjon mellom vannets UV-transmisjon og inaktiveringsgrad, både for kimtall og for vibrio, noe som tilsier at UV-transmisjon er en god indikator for effekten av UV-bestrålingen. Effekten av fotoreparasjon var liten.</p> <p>Viskermekanismen for kvartsglassene som omslutter UV-lampene synes å fungere godt. Mekanismen gjør det mulig å unngå problematisk beleggdannelse som har vært et av ankepunktene mot bruk av UV-systemer i forurensete avløpsstrømmer.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Akvakultur 2. Fiskeforedling 3. Avløp 4. UV-desinfeksjon 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aquaculture 2. Fish processing 3. Wastewater 4. UV-disinfection
---	--


Helge Liltved

Prosjektleder


Svein Stene-Johansen

Forskningsleder

ISBN 82-577-3789-5


Bente Wathne

Forskningssjef

UV-desinfeksjon av prosessvannet
fra en fiskeforedlingsbedrift

Forord

Dette prosjektet ble gjennomført med støtte fra Norges forskningsråd, Program for næringsmiddelindustri. Saksbehandler i forskningsrådet har vært Johs. Kjosbakken. Samarbeidende bedrifter har vært fiskeforedlingsbedriften Edward Johnsen A/S og utstyrsleverandør Birger Christensen A/S.

NIVA har hatt den faglige ledelsen av prosjektet. Rapporten er utarbeidet av Helge Liltved, NIVA.

Grimstad, 25.09.2000

Helge Liltved

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Generelle krav til godkjenning av desinfeksjonsmetode	7
1.2 Generelle krav til typegodkjenning	8
1.3 UV-bestråling	8
1.3.1 Effekt ovenfor fiskepatogene mikroorganismer	8
1.3.2 Faktorer som påvirker metodens effekt	9
1.3.3 Dimensjonering og oppbygging av anlegg	11
1.3.4 Drift og driftserfaringer fra fiskeforedlingsindustrien	14
1.3.5 Miljøeffekter	15
2. Materialer og metoder	15
3. Resultater og diskusjon	17
4. Referanser	24

Sammendrag

I forhold til gjeldende forskrift fra Landbruksdepartementet (forskrift om smitteforebyggende tiltak ved fiskeslakterier, tilvirkingsanlegg m.v. av 14. juni 1991) skal bedrifter som slakter og/eller bearbeider oppdrettsfisk behandle avløpet slik at det ikke medfører fare for smittespredning. Dette av hensyn til omkringliggende oppdrettsanlegg og villfiskpopulasjoner. Leverandører eller produsenter kan oppnå typegodkjenning av desinfeksjonsanlegg (utstyr) basert på bruk av en godkjent metode etter nærmere spesifiserte regler.

UV-bestråling er en av de godkjente metodene for desinfeksjon av vann fra fiskeslakterier og tilvirkingsanlegg. Det kreves imidlertid forbehandling av avløpsvannet slik at tilstrekkelig UV-dose kan oppnås. Det kreves en dose på >25 milliwatt-sekund per cm^2 (mWs/cm^2) i kammerets minst eksponerte del.

Hovedmålsettingen med prosjektet som ble gjennomført i samarbeid med fiskeforedlingsbedriften Edward Johnsen A/S, og utstyrsleverandør Birger Christensen A/S, var å anvende og undersøke effekten av moderne UV-teknologi for desinfeksjon av prosessvannet fra en foredlingsbedrift.

Prosessavløpet fra foredlingsbedriften ble pumpet til renseanlegget som bestod av et Soby Miljøfilter type 740/800 MPS med silduksåpninger på $350 \mu\text{m}$. Pumpen for prosessvannet ble styrt av nivåvipper, noe som gjør at renseanlegget ble belastet støtvis. Etter filtrering ble prosessavløpet blandet med en konstant mengde rent sjøvann for å bedre kvaliteten før UV-desinfeksjon. UV-kammeret (Berson, type InLine 400 HXMS4) var utstyrt med en automatisk viskermekanisme for rengjøring av kvartsglassene

For å nå målsettingen om 99,9% inaktivering (tilsvarende $3 \log_{10}$ enheter reduksjon) m.h.p. vibriobakterier, viser den gjennomførte undersøkelsen at man måtte opp i en UV-dose på ca. 60 mWs/cm^2 målt v.h.a. UV-kammerets dosemeter. Effekten av fotoreparasjon var begrenset.

På grunn av stor mengde prosessvann med dårlig kvalitet ble 99,9% inaktiveringsgrad bare oppnådd ved et fåtall av prøveuttakene. Ved å redusere vannmengden vil det være mulig å oppnå tilstrekkelig dose. Dette kan gjøres ved at vannet pumpes jevnt inn på UV-kammeret, uten de støtbelastningene som styring av innløpspumpen v.h.a. nivåvipper gir. I ettertid er det montert frekvensomformer på innløpspumpen, noe som reduserer belastningen og gir en UV-dose som normalt ligger over 100 mWs/cm^2 og som derved gir tilstrekkelig inaktivering.

Som forventet ble det vist en lineær sammenheng mellom vannets UV-transmisjon og målt UV-dose i bestrålingskammeret. Det var videre en god lineær korrelasjon mellom vannets UV-transmisjon og inaktiveringsgrad, både for kimtall og for vibrio, noe som tilsier at UV-transmisjon er en god indikator for effekten av UV-bestrålingen i det aktuelle vannet.

Sammenhengen mellom innholdet av suspendert stoff og UV-transmisjon viste ikke tilsvarende grad av linearitet. Det ble registret en rask nedgang i transmisjonen med økende partikkelinnhold opp til ca 50 mg/l . Ved høyere partikkelinnhold enn 50 mg/l synes kurven å flate ut. Tilsvarende kurveforløp ble registrert når log-reduksjon i kimtall og log-reduksjon i vibrio ble plottet mot suspendert stoff, noe som indikerer at suspendert stoff ikke i samme grad som UV-transmisjon er bestemmende for inaktiveringsgraden.

Viskermekanismen for kvartsglassene som omslutter UV-lampene synes å fungere godt. Mekanismen gjør det mulig å unngå problematisk beleggdannelse som har vært et av ankepunktene mot bruk av UV-systemer i forurensede avløpsstrømmer.

Summary

Title: UV-disinfection of the wastewater from a fish processing plant

Year: 2000

Author: Helge Liltved

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3789-5

The main objective of the project was to investigate the potential of advanced UV-technology for disinfection of wastewater from a fish processing industry.

The disinfection goal of 99,9% inactivation of vibriobacteria was obtained by an UV dose of 60 mWs/cm². The effect of photoreactivation was low. A linear correlation was observed between the UV-transmission of the water and the UV-dose measured in the irradiation-chamber. Also linear correlations were found between UV-transmission and the degree of inactivation, both with respect to vibriobacteria and total plate count.

The quartz-sleeves surrounding the UV-lamps were equipped with mechanical whippers. These functioned well and were able to prevent filmformation and reduced UV-irradiation.

1. Innledning

I forhold til gjeldende forskrift fra Landbruksdepartementet (forskrift om smitteforebyggende tiltak ved fiskeslakterier, tilvirkingsanlegg m.v. av 14. juni 1991) skal bedrifter som slakter og/eller bearbeider oppdrettsfisk behandle avløpet slik at det ikke medfører fare for smittespredning. Dette av hensyn til omkringliggende oppdrettsanlegg og villfiskpopulasjoner. Når det gjelder slakterier har de fleste pr. dato investert i behandlingsanlegg for desinfeksjon av avløpsvannet (blodvann). Av bedrifter som foredler og tilvirker oppdrettsfisk er det bare få som har installert desinfeksjonsanlegg. Imidlertid er det mange som har fått pålegg om å installere slike anlegg.

Når det gjelder slakterier er vannmengdene relativt små med høyt fargetall og innhold av organisk materiale, fortrinnsvis i form av blod. Utifra vannets spesielle sammensetning er det i hovedsak valgt å benytte syre, lut eller klor for desinfeksjon. Både av hensyn til drift og miljø hadde andre metoder vært å foretrekke. Dette krever imidlertid at vannet gjennomgår en eller annen form for behandling eller rensing før desinfeksjon. Når det gjelder tilvirkingsanlegg for oppdrettsfisk har avløpsvannet en annen sammensetning, noe som tilsier at andre behandlingsmetoder kan være aktuelle, både ut fra kost/nytte - betraktninger og miljømessige hensyn (Liltved og Norgaard 1997).

Hovedmålsettingen med prosjektet var å anvende og undersøke effekten av moderne UV-teknologi for desinfeksjon av prosessvannet fra en foredlingsbedrift som bearbeider oppdrettsfisk. Følgende delmål ble fastsatt:

- 1) Finne fram til et filter som fjerner tilstrekkelige mengder partikler, uten at det oppstår problemer med gjentetting av filterduken. Partikler kan skjermes mikroorganismer, og derved nedsette effekten av UV-bestrålingen.
- 2) Finne fram til hvor mye rent sjøvann som må inndoseres, og hvordan denne doseringen skal styres, for at prosessvannet skal få en tilstrekkelig høy UV-transmisjon for å kunne oppnå gjeldene krav til dose i UV-kammerets minst eksponerte del.
- 3) Evaluere effekten av desinfeksjonsanlegget ved hjelp av mikrobiologiske indikatorer og med overvåking av UV-dose. Eventuelle utslag av såkalt "fotoreaktivering", d.v.s. gjenoppliving av indikator-bakterier i nærvær av dagslys vil bli undersøkt.
- 4) Få erfaringer med evt. driftsproblemer som kan oppstå over tid, f.eks. beleggdannelse på kvartsglassene.

1.1 Generelle krav til godkjenning av desinfeksjonsmetode

I henhold til Landbruksdepartementets forskrifter gjelder at metoden gjennom anerkjent vitenskapelig dokumentasjon under relevante forsøksbetingelser (vannkvalitet, temperatur mv.) skal vise minimum 3 log₁₀ (99.9%) inaktivering av *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*, og det er vist, eller på grunnlag av dose-responskurver for IPN-virus anses sannsynlig, at smittestoffet som forårsaker infeksjons lakseanemi (ILA) også inaktiveres. To metoder er godkjent uten videre krav til dokumentasjon av effekt:

- infiltrering i løsmasser på et sted og en måte som fylkesveterinæren har godkjent
- oppvarming til minst 100°C i minst 30 sekunder

1.2 Generelle krav til typegodkjenning

Leverandører eller produsenter kan oppnå typegodkjenning av desinfeksjonsanlegg (utstyr) basert på bruk av en godkjent metode etter nærmere spesifiserte regler. Godkjenningsmyndigheten (Veterinærinstituttet) vil normalt gi en tidsbegrenset midlertidig godkjenning. Produsenten skal så engasjere en utprøvningsinstans for utprøving. Utprøvningsinstansen skal i samråd med godkjenningsmyndigheten utarbeide et prøveprogram tilpasset den enkelte anleggstype og normer angitt i "Vannbehandlingsforskriften".

UV bestråling er en av de godkjente metodene for desinfeksjon av vann fra fiskeslakterier og tilvirkingsanlegg. Det kreves imidlertid forbehandling av avløpsvannet slik at tilstrekkelig UV-dose kan oppnås. Det kreves en dose på >25 milliwatt-sekund per cm^2 (mWs/cm^2) i kammerets minst eksponerte del.

Av generelle krav til drift av desinfeksjonsanlegget gjelder følgende: Det skal foretas en løpende egenkontroll. For slakteri/tilvirkingsanlegg gjelder at eier jevnlig skal foreta kvantitative bakteriologiske undersøkelser av vannet før og etter behandling. Resultatene fra de bakteriologiske undersøkelsene, sammen med data fra desinfeksjonsanleggets registreringsenhet og driftsjournal, skal kunne legges fram for kontrollerende myndighet (Kontrollverket), og vil danne grunnlag for fornyet godkjenning.

1.3 UV-bestråling

UV lys er elektromagnetisk stråling med bølgelengder fra 200 til 400 nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). UV lys kan deles opp i tre hovedkategorier; UV-C fra 200 til 280 nm, UV-B fra 280-315 nm og UV-A fra 315-400 nm. Det er de korteste bølgelengdene (UV-C) som har de største biologiske effektene.

1.3.1 Effekt ovenfor fiskepatogene mikroorganismer

Lys i UV-C området virker direkte på arvestoffet i levende celler. Det er vist at UV-lys i området 250 til 265 nm absorberes sterkt av RNA- og DNA-molekyler, og at de samme bølgelengdene har den høyeste inaktiverende effekt på mikroorganismer.

Når UV-C lys adsorberes av DNA eller RNA dannes det bindinger mellom sidestilte baser i arvestoffet. Slike fotoprodukter blokkerer normal replikasjon, og fører til celle-død.

Under laboratoriebetingelser er de fleste fiskepatogene bakterier og virus følsomme for UV lys. Det er vist at UV-doser fra 1.5 til 3.5 milliwatt-sekund per cm^2 (mWs/cm^2) inaktiverer fiskepatogene bakterier som *Vibrio salmonicida*, *Vibrio anguillarum*, *Yersinia ruckeri* og *Aeromonas salmonicida* med 99.9 %. (Liltved og medarb. 1995, Liltved og Landfald 1996). Viruset som forårsaker infeksjøs lakseanemi (ILA) synes å ha en UV-følsomhet i samme størrelsesorden som de fiskepatogene bakteriene. Doser i området 4-10 mWs/cm^2 eliminerer infektiviteten til ILA-infisert leverhomogenat (Torgersen 1997). På den annen side framviser viruset som forårsaker infeksjøs pankreas nekrose (IPNV) i laksefisk høy UV-toleranse (Sako og Sorimachi 1985, Liltved og medarb. 1995). Doser fra 122 til 200 mWs/cm^2 har vist seg å være nødvendig for 99,9% inaktivering av dette viruset.

Under praktiske betingelser kan effekten av UV-bestrålingen bli redusert. Dårlig vannkvalitet med lav UV-transmisjon som følge av høyt innhold av partikler og/eller oppløste stoffer er en vanlig årsak til nedsatt effekt. Partikler kan videre skjerme mikroorganismer for bestråling ved at mikrobene koloniserer eller bakes inn i partiklene. Spesielle fysiologiske responser i mikroorganismene kan også øke deres toleranse for UV-lys (f.eks. reparasjonsmekanismer).

1.3.2 Faktorer som påvirker metodens effekt

Effekten av UV-desinfeksjon avhenger av type mikroorganisme som skal elimineres/inaktiveres. I tabell 1 er noen mikroorganismers (inklusive viruspartikler) toleranse mot UV-bestråling vist. Store organismer som parasitter vil generelt sett også ha stor motstandskraft mot kjemiske desinfektanter. Imidlertid har nyere undersøkelser vist at UV-bestråling kan være effektivt mot enkelte parasitter (Bukhari og medarb. 1999).

Flere organiske forbindelser, f.eks. humus, fenoliske stoffer og lignin sulfonater, samt noen uorganiske forbindelser, f.eks. jern, vil interferere med UV-absorpsjonen og UV-transmisjonen i vann og derigjennom også dosen som er nødvendig for å oppnå ønsket inaktiveringsgrad (Harris og medarb. 1987). Også suspenderte partikler vil i større eller mindre grad redusere UV-transmisjonen.

Tabell 1. Tilnærmet dose for 90 % inaktivering ⁽¹⁾, 99.9 % inaktivering ⁽²⁾ og eliminasjon av infektivitet ⁽³⁾ av utvalgte mikroorganismer med UV-bestråling (Wolfe 1990, Liltved og medarb. 1995, Liltved og Landfald 1996, Sako og Sorimachi 1985, Torgersen 1998, Ransome og medarb. 1993).

Mikroorganisme	Dose mWs/cm ²
BAKTERIER	
<i>Escherichia coli</i> ¹	3.0
<i>Salmonella typhi</i> ¹	2.5
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ¹	5.5
<i>Salmonella enteritis</i> ¹	4.0
<i>Shigella dysenteriae</i> ¹	2.2
<i>Shigella paradysenteriae</i> ¹	1.7
<i>Shigella flexneri</i> ¹	1.7
<i>Shigella sonnei</i> ¹	3.0
<i>Staphylococcus aureus</i> ¹	4.5
<i>Legionella pneumophila</i> ¹	0.38
<i>Vibrio cholerae</i> ¹	3.4
<i>Yersinia ruckeri</i> ²	1.2
<i>Vibrio anguillarum</i> ²	2.8
<i>Vibrio salmonicida</i> ²	1.0
<i>Aeromonas salmonicida</i> ²	3.2
VIRUS	
<i>Poliovirus I</i> ¹	5.0
<i>Coliphage</i> ¹	3.6
<i>Hepatitis A virus</i> ¹	3.7
<i>Rotavirus SA 11</i> ¹	8.0
IPN-virus ²	120
IHN-virus ²	2.0
ILA-virus ³	4.0
PROTOZOISKE CYSTER	
<i>Giardia muris</i> ¹	82
<i>Giardia lamblia</i> ¹	63
<i>Cryptosporidium parvum</i> ¹	120
<i>Acanthamoeba castellanii</i> ¹	34

UV-absorpsjon

UV stråler fra et lysrør i vann vil avta ettersom lysveien øker. Dette fordi lyset spres over et stadig økende areal, og fordi UV stråler absorberes i vann. Reduksjonen som følge av absorpsjon utgjør hele tiden en konstant fraksjon (prosent) av gjenværende intensitet. Absorbansen eller absorpsjonskoeffisienten beskrives matematisk som følger:

$$A = \log I_0/I_b$$

hvor A er absorbansen, I_0 er intensiteten inn i vannet og I_b er intensiteten etter lysveien b, normalt i 1 cm eller 5 cm. Jo lavere absorbansen vannet har, jo bedre er det egnet for UV-desinfisering. Flere uorganiske og organiske forbindelser i vann vil øke absorbansen.

UV-transmisjon

Vannets UV-transmisjon er et mål for hvor mye av intensiteten som trenger gjennom et visst vanddyb. Transmisjonen (T) i prosent uttrykkes som følger:

$$T = 10^{-Ab} \text{ (x 100)}$$

hvor A er absorbansen pr. cm og b er lysveien.

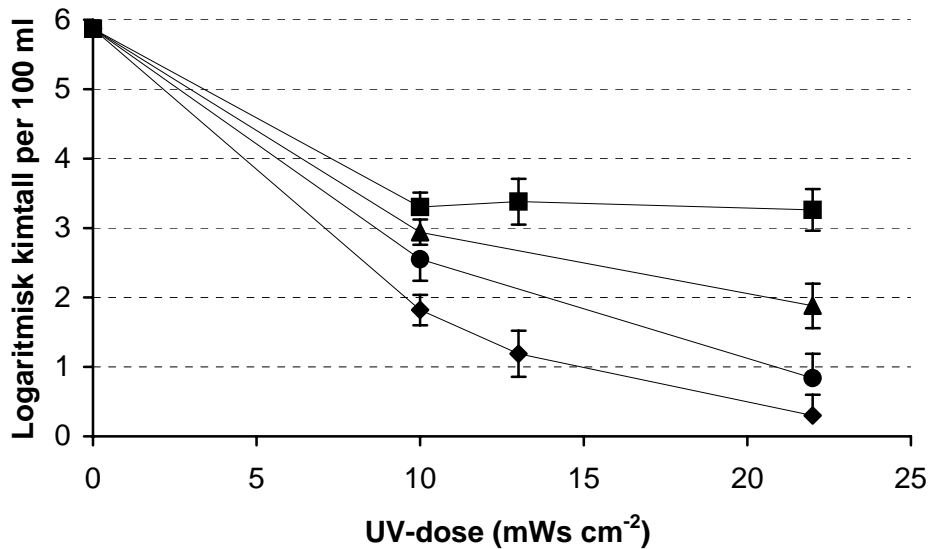
Både absorbansen og transmisjon ved 254 nm bølgelengde måles direkte ved hjelp av et spektrofotometer. Dersom transmisjonen er 75 % pr. cm, vil den ved 5 cm lysvei (dybde) være $0.75^5 = 0.24$, det vil si at bare 24 % av det opprinnelige lyset trenger ned til en dybde av 5 cm. I ubehandlet blodvann og avløpsvann fra filetindustri vil UV-transmisjonen være svært dårlig. Slikt vann egner ikke for UV-desinfisering uten forbehandling.

Suspendert stoff som ikke er kolonisert, eller hvor mikroorganismene ikke er innbakt i partiklene, beskytter bare delvis mot den dødelige effekten av UV-stråler. Dette fordi suspendert stoff bare absorberer en del av UV-lyset. Fast stoff i avløpsvann er anslått å absorbere 75% av UV-strålene, mens lysspredning står for de gjenværende 25% av transmisjonsnedgangen (Qualls og medarb. 1983). De aller fleste mineralske leirene gir minimalt med beskyttelse, fordi disse partiklene sprer mesteparten av UV-lyset (> 75%).

Det er kjent at partiklenes beskyttende effekt avhenger av den spesifikke absorpsjon og/eller spredningen av UV-lyset, og at den avtar med økende lysspredning (Bitton og medarb. 1972). Det skal presiseres at transmisjonen angis som produktet av lysabsorpsjon og lysspredning. UV-lys vil fortsatt ha dødelig/inaktiverende effekt etter spredning. Nedgang i transmisjon vil derfor være en konservativ metode å anslå lysabsorpsjon på. En metode utviklet av Qualls og Johnson (1983), *opalescent plate-metode*, gir imidlertid rimelig nøyaktige målinger av sann absorbansen.

Indikatorbakterier er delvis beskyttet fra UV-strålingen når de ligger innbakt i partikulært materiale (Harris og medarb.1987, Qualls og medarb.1983). Hvor store partiklene må være for å gi slik beskyttelse er ikke klarlagt. En undersøkelse (Liltved og Cripps 1999) viser at naturlig forekommende aerobe bakterier assosiert med partikler (fragmenter av dyreplankton) overlevde høye UV-doser (figur 1). Forsøkene demonstrerte at bakterier som var assosiert med partiklene viste liten eller ingen økende inaktivering ved å øke UV-dosen utover 10 mWs/cm² (ufiltrert vann i figur 1). Ved kombinert filtrering og UV bestråling økte effekten. Best effekt ble oppnådd ved bruk av silduker med

lysåpninger på 50 μm (99.999% total reduksjon i bakterietallet).



Figur 1. Logaritmisk overlevelse av bakterier assosiert med partikler ved økende UV-doser. Symboler: ■, ufiltrert; ▲, filtrert gjennom 355 μm lysåpninger; ●, filtrert gjennom 80 μm lysåpninger; ◆, filtrert gjennom 50 μm lysåpninger. Standardavvik er angitt. Startkonsentrasjonen var ca. 10^6 kim per. 100 ml.

Mange bakterier har evne til enzymatisk reparasjon av skader i arvestoffet forårsaket av UV-lys. Den mest effektive reparasjonen foregår i nærvær av synlig lys i bølgeområdet 330 - 480 nm. Lyset aktiverer enzymer som kan reparere den skadde DNA-sekvensen uten at denne fjernes. Andre enzymsystemer kan foreta reparasjon i mørke, men mindre effektivt enn ved tilgang på synlig lys.

Fiskepatogene bakterier som *A. salmonicida*, *V. anguillarum* og *Y. ruckeri* har evne til fotoreparasjon og mørk-reparasjon. Etter å ha blitt inaktivert med 99.9 % kan *A. salmonicida* reaktiveres til nær sitt opprinnelige antall i løpet av noen timer ved lampelys, og i løpet av minutter ved sollys. For å oppnå en varig 99.9 % inaktivering av *A. salmonicida* i laboratorieforsøk måtte UV dosen økes fra 3.2 mWs/cm² ved normal inkubering til 9.5 mWs/cm² med fotoreaktivering (Liltved og Landfald 1996). Økt overlevelse som følge av mørk-reparasjon, og kombinerte effekter av lys- og mørk-reparasjon er også vist. Ved UV-desinfeksjon av avløpsvann fra fiskeforedling bør effekten av fotoreaktivering tas i betraktning da etterfølgende eksponering til dagslys og sollys kan innvirke på overlevningsgraden, spesielt i de tilfeller hvor UV-dosen blir redusert p.g.a. dårlig vannkvalitet eller andre faktorer (nedsatt lampeeffekt, beleggdannelse, etc.).

Reparasjon i UV-bestrålte virus-partikler har ikke blitt påvist, da disse mangler de nødvendige enzymene.

1.3.3 Dimensjonering og oppbygging av anlegg

Utvikling av nye typer UV lamper (høyere effekt og lengre levetid), reaktorer med forbedrede hydrauliske utforminger, og forbedrede styrings- og overvåkingssystemer gjør at UV-desinfeksjon av store vannmengder med god UV-transmisjon, eller lavere vannmengder med dårlig UV-transmisjon,

kan forsvarers kostnadmessig. Som tidligere nevnt er det kanskje i første rekke partikkelinnholdet som setter begrensninger for bruken, da bakterier assosiert med partikler kan ha lav eller ingen respons på økende UV-doser. Imidlertid er det satt en begrensning m.h.p. UV-transmisjon på 50 % i 1 cm kyvette (Vannbehandlingsforskriften).

Forbehandling

Dersom det skal være aktuelt å behandle ufortynnet filetvann fra fiskeindustri med UV-bestråling, må dette forbehandles. Målet med forbehandlingen er i første rekke å fjerne partikler som kan skjerme mikroorganismer for UV-lys, og å øke UV-transmisjonen. Systemer basert på bruk av silduker kan fjerne de store partiklene, men vil ha problemer med mer finpartikulært materiale. Mye av stoffmengden i avløp fra fiskeforedlingsbedrifter foreligger som finpartikulært materiale (0.45 - 80 µm). De erfaringer som foreligger viser at det oppstår driftsproblemer med bruk av silduker med så små lysåpninger.

I danske undersøkelser nevnes sentrifugering, luftflotasjon eller sedimentering for behandling av avløpsvann fra filetindustri (VKI 1988). Sentrifugering brukes enkelte steder hvor råvaren består av fet fisk. Etter sentrifugering er fett emulgert mens suspendert stoff er finfordelt. Metoden egner seg derfor dårlig for rensing av avløpsvann dersom det ikke er inkludert påfølgende kjemisk rensing. Beste resultater m.h.p. BOF-reduksjon med ren mekanisk rensing ble oppnådd ved flotasjon. Suspendert finstoff i filetavløp lar seg vanskelig fjerne ved sedimentering, men kan fjernes ved flotasjon sammen med hoveddelen av fett og olje dersom avløpsvannet er behandlet skånsomt. Forbedret resultat kan oppnås ved tilsetning av et fellingsmiddel.

Det er også vist at hoveddelen av organisk stoff og næringssalter i blodvann kan fjernes ved kjemisk felling og flotasjon, eller sedimentering (Fløgstad og Torgersen 1992). Forsøkene viste også at UV-transmisjonen i 1 cm kyvette kunne forbedres fra 0.5 % i konsentrert blodvann til 25-35 % etter rensing, og fra 24 % i fortynnet blodvann til ca. 80 % etter rensing.

Bestrålingskammeret

To ulike lampetyper er i bruk i UV-anlegg, såkalte lavtrykks-lamper og mellomtrykks-lamper (refererer seg til gasstrykket inne i lampene). Begge lampetyper inneholder kvikksølv damp som utstråler lys ved elektriske utladninger. Lavtrykks-lampene avgir omtrent 95 % av stråle-effekten ved 254 nm, som er nær det optimale med tanke på å generere skader i mikroorganismers arvestoff. Mellomtrykks-lampene avgir lys i flere områder av UV-spekteret, og også mye effekt går tapt i varme. Imidlertid er det mulig å påtrykke mer effekt på disse lampene slik at den baktericide effekten pr. volumenhet blir høyere enn i lavtrykks-kammere.

Selve bestrålingskammeret består vanligvis av en sylinder i stål eller plast med et eller flere lysrør fordelt over tverrsnittet. Kammeret monteres direkte på en trykkledning. Lysrørene er beskyttet av kvartsglass-rør som ikke stopper UV-stråler. En norsk produsent av UV-anlegg har spesialisert seg på en alternativ trykkløs utforming med et firkantet kammer hvor lampene er plassert over vannspeilet. Kammeret kan åpnes for ettersyn og vedlikehold av lampene.

Alle typegodkjente UV-anlegg er kapasitetsbestemt i forhold til ulike UV-transmisjoner. Dersom avløpsvannets kvalitet er dårlig og transmisjonen lav må det benyttes et anlegg med mange lamper (høy intensitet i kammeret). Vanngjennomstrømmingen må være begrenset for å oppnå tilstrekkelig oppholdstid og derved tilstrekkelig dose.

UV-dose

Effektiv UV-dose er bestemmende for inaktiveringsgraden ovenfor mikroorganismer. Dosen er et produkt av intensiteten i bestrålingskammeret og vannets oppholdstid, som beskrevet nedenfor:

$$D = I \times t$$

hvor D er dose i milliwatt-sekund pr. cm^2 (mWs/cm^2), I er intensiteten (mW/cm^2) og t er bestrålingstiden (s). Intensiteten i kammeret er avhengig av antall lamper, lampenes effekt, deres innbyrdes plassering og vannets kvalitet. Bestrålingstiden er en funksjon av vanngjennomstrømningen og kammerets effektive volum. Ved å øke intensiteten og/eller oppholdstiden vil UV-dosen øke. Intensiteten fra hver enkelt UV-rør til et gitt punkt i kammeret kan beregnes ved å ta hensyn til spredningen av lyset og absorpsjonen i vannet. Lampenes effektive utstråling reduseres som tidligere nevnt ved økende levetid, normalt ca. 20 - 25 % etter 7000 - 8000 driftstimer. Ved dette punkt er tiden inne for å skifte lampene. Ytterligere reduksjon i effekt må påregnes dersom lampene slås mye av og på.

For overvåking av UV-intensiteten skal det være montert en sensor i kammerets vegg. Det skal være mulig å lese av intensiteten eller dosen (dersom intensitet-signal er integrert med signal fra vannmengdemåler) på et viserinstrument i styreskapet. De norske forskriftene tilsier at det skal opprettholdes en dose på minimum $25 \text{ mWs}/\text{cm}^2$ i kammerets minst bestrålte del. I praksis vil det si at dersom intensiteten måles til $2.5 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ved UV-kammerets vegg, skal vannets gjennomsnittlige oppholdstid være på minimum 10 sekunder.

UV-anlegg skal dimensjoneres etter den laveste UV-transmisjonen som forekommer ved det aktuelle anlegget. Dette krever at målinger blir gjort i perioder med dårligst kvalitet på avløpsvannet.

I forhold til forskriftene skal alle UV-anlegg være montert med utstyr for kontroll, overvåkning og styring. Dette gjelder utstyr for vannmengdekontroll, UV-sensor, utstyr for kontinuerlig registrering av driftsdata, automatisk stengeventil eller pumpestopp, indikatorlamper, viserinstrumenter, timeteller og alarmer.

Vannmengdekontroll skal sørge for at UV-enheten ikke tilføres mer vann enn den er dimensjonert for. Dette kan arrangeres ved at innløpspumpene har lavere kapasitet mot den aktuelle løftehøyden og det aktuelle friksjonstapet enn UV-anlegget. Dersom pumpekapasiteten er større må anlegget være utstyrt med en vannmengdemåler som er montert riktig. Det er viktig at kravene til rette ledningsstrekke før og etter monteringspunktet tilfredstilles. Fra måleren skal det gå et signal som stopper innløpspumpene eller aktiverer automatisk stengeventil ved for høy vannmengde. Det skal være mulig å avlese vannmengden på et viserinstrument. Ved strømstans skal ventilen lukke. Det skal ikke være mulig å føre vann utenom UV-anlegget ("by-pass").

UV-sensoren skal være montert i veggen på UV-kammeret. Dersom UV-intensiteten synker under grenseverdien som følge av dårlig vannkvalitet, beleggdannelse på kvartsglassene eller lav lampeeffekt skal innløpspumpene stoppe eller ventil stenge.

Både vannmengde og UV-intensitet, sammen med tidspunkt for registreringen, skal registreres på skriver eller datalogger. På denne skal også alarmer registreres og til hvilke tider anlegget har vært ute av drift.

Hver UV-lampe i kammeret skal være tilkoblet en egen indikatorlampe som skal plasseres lett synlig, primært i tavle på styreskapet. Dersom en UV-lampe er ute av drift skal indikatorlampen vise dette slik at feilen kan rettes. Man skal være oppmerksom på at UV-sensoren ikke vil registrere lampefeil i store anlegg hvor den eller de defekte lampene sitter langt fra sensoren.

Timeteller skal være montert i tavle. Denne er aktiv når lampene i UV-anlegget lyser. Dette for å holde kontroll med brenntiden, slik at lampene skiftes etter normert tid.

Reservedeler som ekstra lamper og kvartsglass skal finnes på settefiskanlegget.

Ved for høy vannmengde eller for lav UV-dose skal alarm aktiveres. Denne skal inngå i oppdrettsanleggets alarmsystem.

1.3.4 Drift og driftserfaringer fra fiskeforedlingsindustrien

I foredlingsindustrien benyttes tildels store mengder ferskvann og sjøvann for tining av råstoff, skylling/vasking av fisk og filet, isproduksjon, spyling og rengjøring av maskiner, etc. Eldre norske litteraturverdier angir forbruket i produksjonen til 6 - 26 m³/tonn råfisk ved maskinell filetering av hvitfisk, tilsvarende 11 - 47 m³/tonn ferdigvare (Byskov *et al.* 1977). Nyere mengdemålinger foretatt ved fileteringsbedrifter for oppdrettslaks, torsk og sild gir vannforbruk i området 3.9 - 8.2 m³/tonn råvare (sløyet og hodekappet laks og torsk, rund sild) og 9.0 - 12.9 m³/tonn ferdigvare (Liltved 1997, Liltved 1998). Dette indikerer at vannforbruket i forhold til produksjonsmengde er redusert. Eksempler på vannforbruk i ulike industri typer er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Eksempler på vannforbruk ved maskinell bearbeiding av ulike fiskearter i forhold til mengde råvare og ferdigvare. I tillegg kommer vannforbruk til vasking og rengjøring etter produksjonsstans.

Industri type	Vannmengde
Filetering av laks	6.3 m ³ /tonn råvare 3 m ³ /tonn ferdigvare
Filetering av torsk	8.2 m ³ /tonn råvare 12.9 m ³ /tonn ferdigvare
Filetering av sild	3.9 m ³ /tonn råvare 9.0 m ³ /tonn ferdigvare

For vurdering av effekten av alternative rense- og desinfeksjonsteknologier er det av interesse å vite mer om avløpsvannets sammensetning, spesielt om forholdet mellom partikulært og oppløst materiale i ulike avløpsstrømmer, og om partiklenes størrelsesfordeling.

For å avdekke noen av disse forholdene ble det nylig foretatt målinger gjennom en produksjonssyklus ved en bedrift som fileterer oppdrettslaks (Liltved 1997). Resultatene fra denne viser at ca. 4% av proteininnholdet i råfisken tapes i prosessavløpet ved den maskinelle fileteringen. Hoveddelen av organisk stoff (KOF), fosfor (tot-P) og nitrogen (tot-N) i prosessavløpet foreligger som finpartikulært stoff (0,45-80 µm) eller oppløst stoff (<0,45 µm).

Det er kun levert noen få anlegg for UV-bestråling av avløpsvann fra foredlingsindustri. Et av disse er installert ved en stor fileteringsbedrift som produserer ca. 10 tonn pakket filet pr. dag fra ferdig sløyd frossenlaks. Avløpsvannet passerer en sil (1 mm poreåpninger) og en finsil (40 µm poreåpninger) før UV-kammeret. I pumpekummen foran finsilen blir filet vannet fortynnet med tinevann (sjøvann) for å bedre vannkvaliteten (ca. 30 % filet vann og 70 % tinevann, totalt ca. 60 m³/time under produksjon). Fra personalet blir det hevdet å være noen driftsproblemer. Ved oppstart av vasking av filethallen føres store mengder partikler til avløp. Den høye partikkelkonsentrasjonen gjør det problematisk å holde silduken ren, med påfølgende oppstuvning av vann foran denne. Det blir også nevnt noe fuktproblemer og problematisk håndtering av spylevann fra finsilen.

Ved en annen tilvirkingsbedrift er det gjort forsøk med felling og flotasjon før UV-desinfeksjon (Thorsvik 1996). Bedriften fileterer og røyker laks (10 - 12 tonn ferdigprodukt pr. dag). Avløpsvannet

fra filetering, røykingen, og tining (sjøvann) (totalt ca. 18 m³/time) ble tilsatt koagulant (jernklorid + polymer) før flotasjon ved hjelp av findispersert luft med påfølgende UV-desinfeksjon. Det ble tatt ut prøver før og etter renseanlegget som ble analysert med hensyn på UV-transmisjon i 1 cm kyvette og kimtall pr. ml. Målinger i perioden 04.02.96 - 15.02.96 viser varierende UV-transmisjon (16 - 67 %) og kimtall > 10000 pr. ml i innløpet til renseanlegget. Effekten av flotasjon med hensyn på UV-transmisjon var også varierende, fra ingen effekt til 3 ganger høyere mellom innløp og utløp. Kimtallmålingene viste sterk reduksjon (>99.97 %) ved transmisjoner i området 18 - 40 %. Selv om vannet så forholdsvis klart ut ble det målt lave UV-transmisjoner. Dette ble tilskrevet oppløste stoffer med høy UV-absorbans (f.eks. proteiner, restjern, sukker).

I tillegg til daglig driftstilsyn, krever UV-anlegg jevnlig vedlikehold. Dette kan være rengjøring av kvartsglass og sensor, bytting av lamper/kvartsglass, kontroll av alarm- og stengefunksjoner, kalibrering av sensor og viserinstrumenter, etc. En årlig service fra leverandør eller annen kompetent instans vil trolig øke sikkerheten og anleggets levetid.

1.3.5 Miljøeffekter

Selv om bestråling med UV-lys kan forårsake forandringer i kjemiske forbindelser er det en allmen oppfatning at de UV-doser som normalt benyttes ved desinfeksjon av vann er for lave til å forårsake giftige biprodukter.

Miljørelaterte problemer knyttet til bruk av UV synes derfor kun å være tilknyttet direkte eksponering fra lyskilden. Slik eksponering kan føre til øyeskader, i verste fall blindhet. Det skal ikke være mulig å åpne et UV-kammer uten at lampene er slått av.

2. Materialer og metoder

Forsøkene ble gjennomført ved fiskeforedlingsbedriften Edward Johnsen A/S, lokalisert til Langøyneset i Møre og Romsdal. Bedriften har 50 ansatte (35 årsverk) og tilvirker en rekke fiskeprodukter, i første rekke laksefilet/koteletter, lutefisk og sild, samt filetering av sei, torsk og hyse.

Det brukes mye vann, både direkte i produksjonen og til tining av frossen laks og hvitfisk. I produksjonslokalene er det ikke mulig å skille prosessvannet fra lakseforedling og prosessvann fra foredling av annen fisk. Dette gjør at store mengder prosessvann må behandles.

I tabell 3 vises konsentrasjonsnivåer for ulike parametere i prosessvannet fra en ren laksefileteringsbedrift sammenliknet med prosessvannet fra Edward Johnsen A/S. Analyseresultatene fra Edward Johnsen A/S viser svært varierende kvalitet. Partikkelinnholdet målt som suspendert stoff varierte fra 14 mg/l til 1321 mg/l. Vi ser også at det er betydelige forskjeller mellom UV-transmisjonen i ufiltrerte og filtrerte prøver, noe som viser at mye av strålingsintensiteten absorberes av partikler som kan fjernes ved filtrering.

Variasjonene i vannkvalitet skyldes at bedriften har et variert produktspekter og derfor varierende bearbeiding. I perioder med filetering vil prosessvannet inneholde mye partikulært organisk materiale.

Tabell 3. Analyser av prosessvannet fra en laksefileteringsbedrift (blandprøve) og fra Edward Johnsen A/S (stikkprøver).

	Lakse- filetering blandprøve	Edw. Johnsen 22.05.96 produksjon	Edw. Johnsen 26.09.96 produksjon	Edw. Johnsen 26.09.96 tinevann	Edw. Johnsen 22.12.98 produksjon
pH	7.2	7.6	7.7	7.9	6.48
Konduktivitet, mS/m	269	1570	-	-	
Susp. stoff, mg/l	1600	130	528	14	1321
KOF dikr., mgO/l	3050	530	-	-	2140
Tot-P, mg/l	28.9	-	12.2	0.21	39.9
Tot-N, mg/l	132	-	43.2	1.04	383
UV-abs _{254 nm} a. enh/cm	2.273	-	0.743	0.079	
UV-abs _{254 nm} , filtr, a.enh/cm		-	0.245	0.025	
UV-trans., %		-	18.1	83.4	
UV-trans. filtrert %		-	56.9	94.4	

Alt prosessavløp som har vært i kontakt med oppdrettsfisk føres til felles kum. Fra kummen pumpes prosessavløpet til renseanlegget som består av et Soby Miljøfilter type 740/800 MPS med silduksåpninger på 350 µm (figur 2). Filterduken rengjøres v.h.a. vannspyling via dyser. Det skal bemerkes at spylingen under forsøkene ikke var optimal da spyletrykket var for lavt (1,5-2,5 bar i forhold til et ideelt trykk på 6 bar).

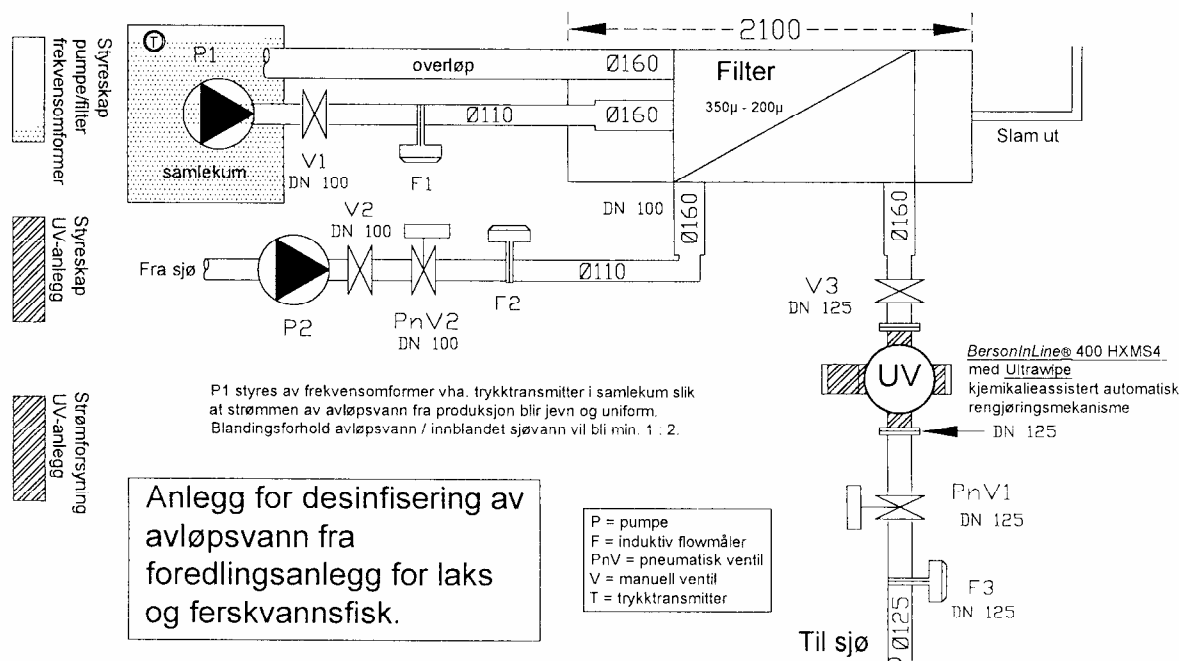
Slam som tas ut på filterduken føres til oppsamlingstank. Pumpen for prosessvannet styres av nivåvipper, noe som gjør at renseanlegget belastes støtvis. Etter filtrering blandes prosessavløpet med en konstant mengde rent sjøvann for å bedre kvaliteten og UV-transmisjonen, før blandingen føres med selvføll gjennom UV-kammeret for desinfeksjon.

UV-kammeret er av fabrikat Berson, type InLine 400 (HXMS4) utstyrt med 4 stk. B2020 MultiWave UV-lamper. UV-kammeret har en automatisk viskermekanisme for rengjøring av kvartsglassene (UltraWipe) hvor det automatisk doseres et fettløsende rengjøringsmiddel. UV-systemet har en mikrocomputer som kontinuerlig regner ut UV-dose på grunnlag av vannmengde og UV-intensitet.

Vannmengdemålere er montert på prosessavløpet fra pumpekummen, på sjøvannstilførselen, og på blandingstrømmen som går gjennom UV-kammeret. Det er montert ventiler for styring av vannmengder, og pneumatisk spjeldventiler for stenging av vannstrømmen ved for lav UV-dose. UV-dose og vannmengder registreres i en datalogger.

I ettertid er det montert utstyr for frekvensstyring av pumpen for prosessvann, noe som har gitt en jevnere og lavere vannmengde til UV-anlegget, og derved høyere UV-dose.

For kvantifisering av bakterietallet i prosessavløpet før og etter UV-bestråling ble det benyttet kimentallbestemmelse på tryptone soya agar (TSA) ved 20°C og vibriotellinger på tiosulfat-citrat-galle salt-sukrose agar (TCBS) ved 20 °C. Da vibrio-bakterier har et nært slektskap til aeromonas-bakterier og *A. salmonicida*, ansees det som sannsynlig at disse har sammenliknbar følsomhet ovenfor desinfeksjonsmidler. Forskjeller i vekst på TCBS-medium før og etter UV-desinfeksjon er derfor benyttet som en metode for å evaluere effekten (Storset 1991).



Figur 2. Flytskjema for filtrering og UV-desinfisering av prosessavløpet ved Edward Johnsen A/S.

For kimentallbestemmelse ble det benyttet fortyninger og direkte utplating av 0,1 ml prøve (spredelateteknikk), mens det for vibriobestemmelse ble benyttet direkte utplating i første prøveperiode og membranfiltrerteknikk i andre prøveperiode. Etter filtrering av prøvevolumer på 5 ml, ble membranfilterene (0,45 µm) inkubert på TCBS-medium. Alle skåler ble laget til og inkubert i duplikat. Kolonier ble talt etter 48 timer. For å evaluere effekten av såkalt fotoreparasjon ble parallelle prøvepar inkubert mørkt og under lampelys (140 cm under 2 stk. Osram L 36W/20 Cool White lysstoffrør) i 4 timer i andre prøveperiode.

På de dagene da målingene ble gjennomført, var det normal produksjon ved bedriften, slik at kvaliteten på prosessavløpet regnes som representativt for det som kan forventes ved normal drift.

3. Resultater og diskusjon

For fjerning av større partikler fra prosessavløpet før UV-bestrålingen ble det vurdert flere filterduker med ulike lysåpninger. For å sikre problemfri drift ble det valgt å benytte en silduk med lysåpninger på 350 µm. Det vil trolig være mulig å redusere lysåpningene til 200 µm uten nevneverdige driftsproblemer.

I den første prøveperioden (22.12.99) ble det benyttet tilnærmet like deler rent sjøvann og prosessavløp, noe som resulterte i en gjennomsnittlig UV-transmisjon på 50%. Imidlertid var transmisjonen nede i 38% i en periode med dårlig kvalitet på prosessvannet.

For kvantifisering av bakterier ble det i første prøveperiode benyttet direkte utstryk på agarskålene (ikke oppkonsentrering ved filtrering). Dette medførte at laveste deteksjonsgrense var 10 kim pr. ml, noe gjorde det umulig å dokumentere høye inaktiveringsgrader for vibrio-bakterier (>99,9%), da innløpsverdiene ikke var høye nok. Imidlertid ble det ikke påvist vekst på TCBS-skålene etter UV-bestråling, noe som tilsier at antall bakterier var mindre enn 10 pr. ml.

Som forventet var uspesifisert kimtall på TSA-skåler høyere enn antall vibrio på TCBS-skåler, både før og etter UV-bestråling (tabell 4). Dette er i tråd med målinger som er gjort i sjøvansinntaket til settefiskanlegg som viser at det er vanskeligere å oppnå høy UV-inaktiveringsgrad for kimtall sammenliknet med vibrio-bakterier.

Under prøvetakingen ble det tilført omtrentlig like mye sjøvann som filtrert prosessavløp (350 µm åpninger i silduken), med en totalmengde på ca. 75 l/min. Som det framgår av tabellen varierte blandingens UV-transmisjon mellom 38 og 59% målt i 1 cm kyvette, uten at det her var mulig å antyde noen sammenhenger mellom UV-transmisjon og inaktiveringsgrad. Et fåtall målinger gjorde en slik korrelering vanskelig.

Tabell 4. Antall vibrio og kimtall pr. ml i en blanding filtrert prosessvann (ca. 35 l/min) og sjøvann (ca. 30 l/min) før og etter UV-bestråling i den første prøveperioden (22.12.98). UV-transmisjonen i blandingen er angitt.

Klokke-slett	Antall vibrio pr. ml			Kimtall pr. 100 ml			UV-trans. 1 cm, %
	Innløp	Utløp	% reduksjon	Innløp	Utløp	% reduksjon	
15:00	>6000	<10	>99,8	>10000	490	>95.1	
15:15		<10			1540		59
15:50	3860	<10	>99,7	>10000	210	>97.9	57
16:10		<10					54
16:20		<10			630		43
16:50	4600	<10	>99,8	>10000	240	>97.6	38
17:30		<10			250		49

I den andre prøveperioden (28.-29.10.99) ble det benyttet 1 del sjøvann til 4 til 5 deler prosessavløp. Dette ga UV-transmisjoner fra 28,7% til 93,1% avhengig av kvaliteten på innkommende prosessavløp. Dersom anbefalingen om at UV-transmisjonen ikke bør være lavere enn 50% skal følges, må sjøvannsdelen økes. Imidlertid viste anleggets dosemåler at minimumsdosen på 25 mWs/cm² ble opprettholdt.

I den andre prøveperioden ble det benyttet membranfiltrerteknikk for kvantifisering av bakterier, noe som gjør at deteksjonsgrensen blir lavere enn ved direkte utstryk, og at inaktiveringsgraden kan bestemmes mer eksakt. Det ble funnet et midlere antall kim i innløpet på 69183 pr. ml, mens vibriotellingene ga et midlere antall på 15849 pr. 5 ml (tabell 5). Kimtallet etter UV bestråling varierte fra 20 til 7800 pr. ml ved mørkinkubering. Etter fotoreaktivering synes kimtallet og være noe høyere i gjennomsnitt. Vibrioantallet etter UV bestråling varierte fra 2 til 500 pr. 5 ml ved mørkinkubering.

Også her synes bakteietallet å være noe høyere dersom skålene ble eksponert for synlig lys etter UV-bestrålingen.

Tabell 5. Antall vibrio og kimtall pr. ml i en blanding filtrert prosessvann (gjennomsnittlig mengde 39,9 l/min) og sjøvann (gjennomsnittlig mengde 11,6 l/min) før og etter UV-bestrålingi den andre prøveperioden (28.-29.10.99). UV-transmisjonen i blandingen er angitt. Midlere antall kim i innløpet var 69183 pr. ml, mens vibriotellingene ga et midlere antall på 15849 pr. 5 ml.

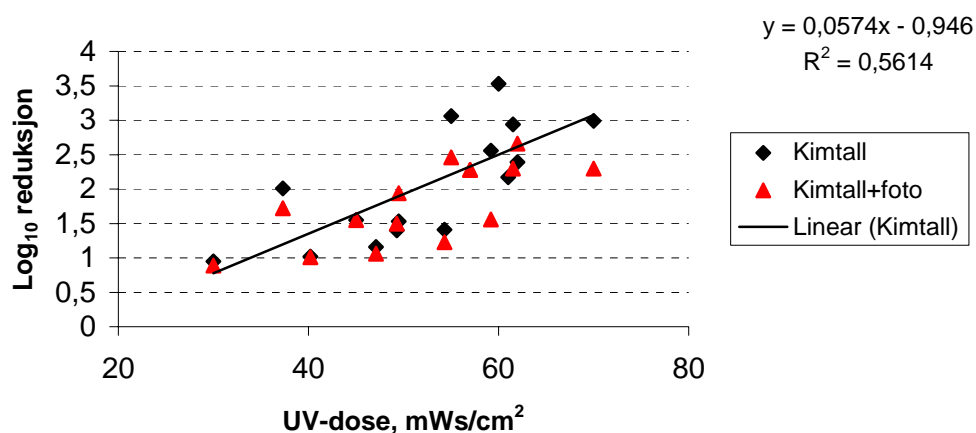
Dato	Klokke-slett	Kimtall 20 °C pr. ml	Kimtall etter fotoreakt. 20 °C, pr. ml	Antall vibrio 20°C pr. 5 ml	Antall vibrio etter fotoreakt. 20°C, pr. 5 ml	UV-dose, mWs/cm ²
28.10.99	15:15	20	-	13	23	60
"	15:20	80	350	14	6	61,5
"	15:30	680	1300	51	62	37,3
"	17:15	-	360	9	29	57
"	17:40	280	150	15	26	62
"	17:50	60	240	9	16	55
"	18:15	470	-	2	6	61
29.10.99	09:45	7800	8900	155	232	30
"	10:10	190	190	27	21	59,2
"	10:20	70	350	9	5	70
"	10:40	1940	1960	118	144	45
"	11:10	2740	2200	112	-	49,3
"	11:25	2720	4050	241	285	54,3
"	11:35	4740	5980	202	108	47,1
"	11:50	2050	800	23	48	49,5
"	12:10	6580	6830	500	-	40,2

I figurene 3 og 4 vises log₁₀ reduksjon for henholdsvis kimtall og vibrio i forhold til avlest UV-dose. Da vannmengden var tilnærmet konstant ved de ulike tidspunktene for prøvetaking (gjennomsnittlig totalt 51,5 l/min), gjenspeiler de ulike UV-dosene endringer i vannkvaliteten. Høyt stoffinnhold i prosessvannet resulterer i lav UV-transmisjon og lav UV-dose.

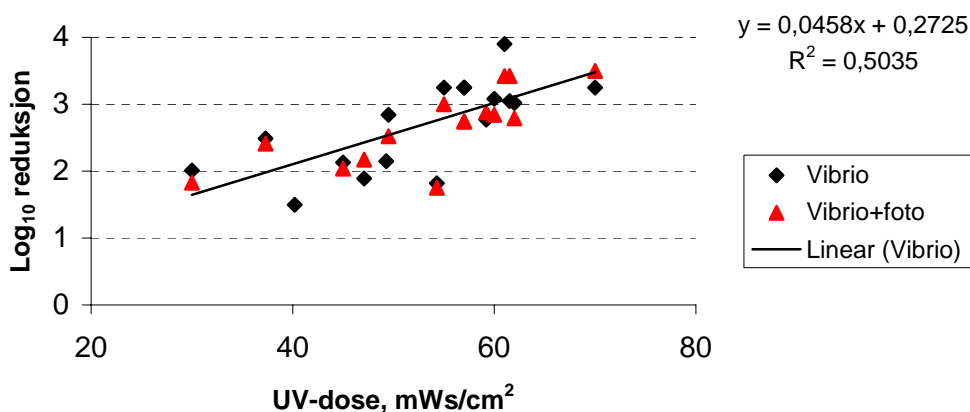
Som det framgår er den logaritmiske inaktivering høyere for vibrio enn for kimtall ved samme UV-dose. Generelt var det også her vanskeligere å oppnå høy drepeeffekt ovenfor kimtall enn ovenfor vibrio.

Effekten av fotoreparasjon synes å være liten. Imidlertid antydes det en noe lavere inaktiveringsgrad, både for kimtall og vibrio, i prøvene som ble inkubert lyst i forhold til prøvene som ble inkubert mørkt (figur 3 og 4). Dette gjorde imidlertid lite utslag i forhold til nødvendig UV-dose for 3 log₁₀ (tilsvarende 99,9%) inaktivering av vibrio-bakterier, som viser seg å være ca. 60 mWs/cm² (figur 4) for begge behandlingene. Denne dosen er over det dobbelte av dosen som er fastsatt i forskriften (25 mWs/cm²), og svært mye høyere enn dosene som skal til for å inaktivere *Vibrio anguillarum* og *Aeromonas salmonicida* i laboratorieforsøk. Med og uten fotoreaktivering kreves henholdsvis 9,5 og 3,2 mWs/cm² for >99,9% inaktivering av disse to fiskepatogenene (Liltved og Landfald 1996). Den reduserte vannkvaliteten (høyt partikkelinnhold hvor bakterier kan oppnå helt eller delvis beskyttelse mot UV stråler) kan være medvirkende årsak til det høye dosebehovet. Imidlertid er det også i rentvannstyper observert at man kan få vekst på TCBS-mediet, selv ved høye UV-doser, uten at dette kan forklares med redusert effekt som følge av dårlig vannkvalitet. Dette har gitt grunnlag for diskusjoner om hvor god TCBS-metoden er for kvantifisering av vibrio i forbindelse med godkjenning av UV-installasjoner. Det skal også bemerkes at det ikke er gjort systematiske undersøkelser med bruk av TCBS-metoden for evaluering av andre godkjente desinfeksjonsmetoder (f.eks. klorering og

maursyre tilsetning) i fullskala. Slike undersøkelser ville være interessant som et sammenlikningsgrunnlag.



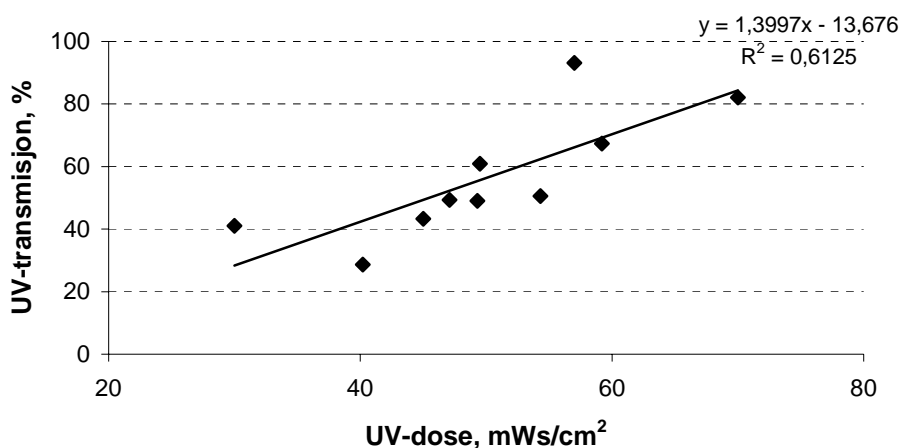
Figur 3. Log₁₀ reduksjon i kimtall, med og uten fotoreaktivering, som funksjon av UV-dose. Log₁₀ reduksjon på 3 enheter tilsvarer 99,9% inaktivering.



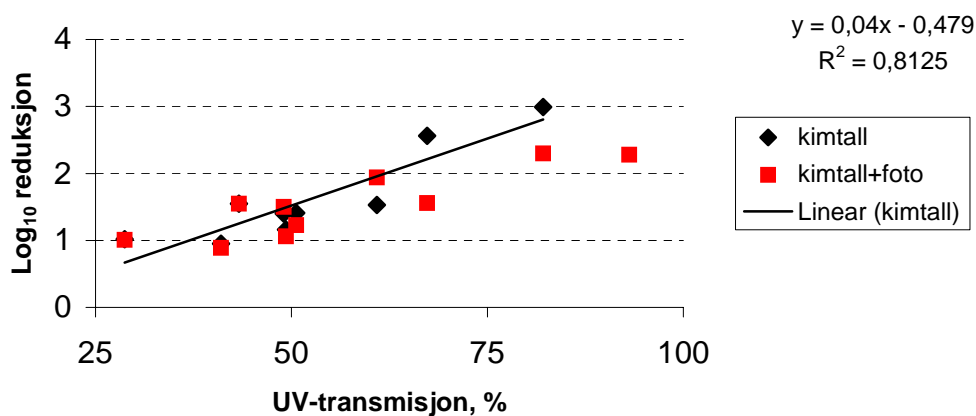
Figur 4. Log₁₀ reduksjon i vibrio, med og uten fotoreaktivering, som funksjon av UV-dose. Log₁₀ reduksjon på 3 enheter tilsvarer 99,9% inaktivering.

Sammen med de bakteriologiske prøvene ble det også analysert m.h.p. UV-transmisjon og suspendert stoff. Som forventet gir økende UV-transmisjon økende UV-dose (figur 5). Det var videre en god lineær korrelasjon mellom vannets UV-transmisjon og inaktiveringsgrad, både for kimtall og for vibrio (figur 6 og 7). Dette viser at UV-transmisjon er en god indikator for effekten av UV-bestrålingen i det aktuelle vannet.

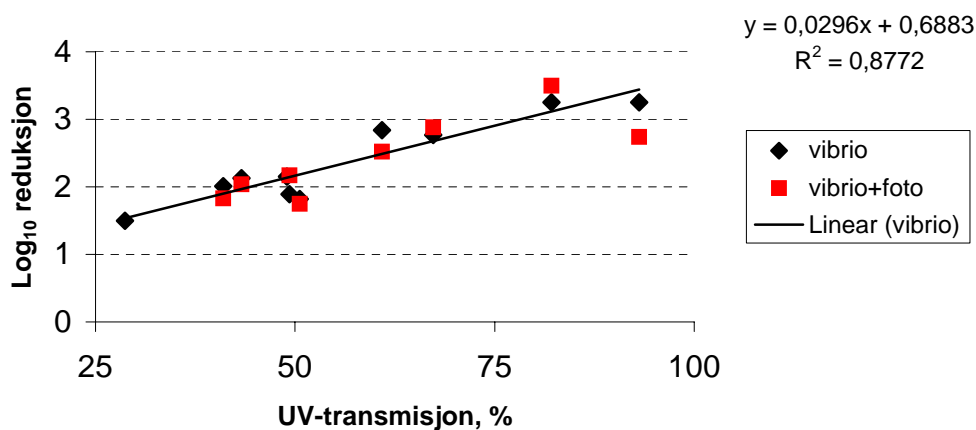
Under de driftsbetingelsene som ble benyttet her var det nødvendig med en UV-transmisjon på >75% for 3 log₁₀ enheters inaktivering. Ved å redusere vannmengden gjennom UV-kammeret er det mulig å kompensere for lav UV-transmisjon og derved oppnå høyere dose og høyere inaktiveringsgrad.



Figur 5. Sammenhengen mellom vannets UV-transmisjon og UV-dose.



Figur 6. Log₁₀ reduksjon i kimtall, med og uten fotoreaktivering, som funksjon av vannets UV-transmisjon. Log₁₀ reduksjon på 3 enheter tilsvare 99,9% inaktivering.

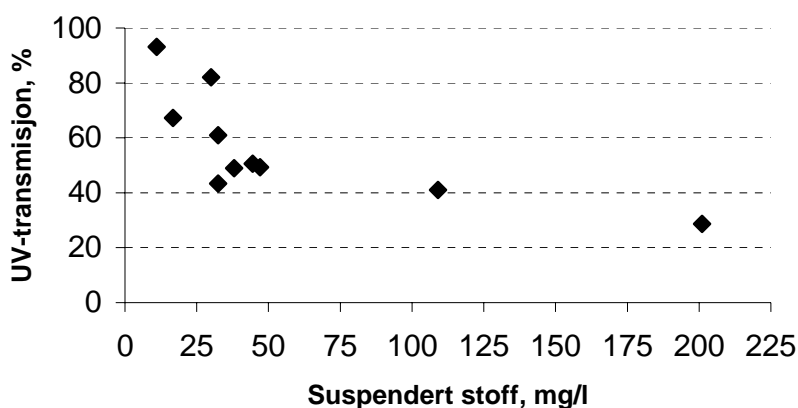


Figur 7. Log₁₀ reduksjon i vibrio, med og uten fotoreaktivering, som funksjon av UV-dose. Log₁₀ reduksjon på 3 enheter tilsvare 99,9% inaktivering.

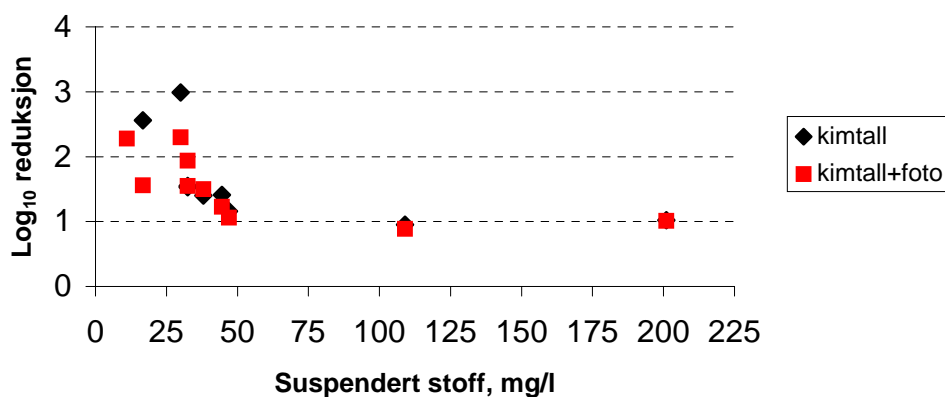
I figur 8 er sammenhengen mellom innholdet av suspendert stoff og UV-transmisjon vist. Som det framgår er det en rask nedgang i transmisjonen med økende partikkelinnhold opp til ca 50 mg/l. Ved høyere partikkelinnhold enn 50 mg/l synes kurven å flate ut.

Tilsvarende kurveforløp ble registrert når \log_{10} -reduksjon i kimtall og \log_{10} -reduksjon i vibrio ble plottet mot suspendert stoff (figur 9 og 10). Det synes å være en klar sammenheng mellom inaktivertingsgraden og partikkelinnholdet fra 10 til ca. 50 mg/l (reduisert inaktivering ved økende partikkelinnhold). Ved 50 mg/l var \log_{10} inaktivering ca. 1 enhet for kimtall og i underkant av 2 enheter for vibrio. Ved høyere partikkelinnhold enn 50 mg/l synes ikke inaktiveringsgraden å bli redusert ytterligere i vesentlig grad, noe som viser at suspendert stoff ikke i samme grad som UV transmisjon angir effekten av bestrålingen.

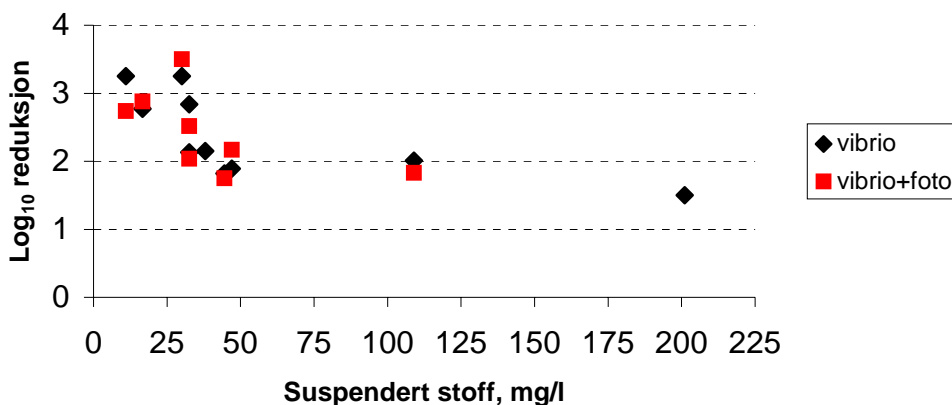
Resultatene fra forsøkene tilsier at partiklene som er tilstede i avløpsvannet adsorberer UV-stråling, og derved nedsetter transmisjonen og inaktiveringsgraden. De sammenfallende kurveforløpene for UV transmisjon mot suspendert stoff (figur 8) og log reduksjon mot suspendert stoff (figur 9 og 10) tyder på at suspendert stoff i første rekke gir nedsatt inaktivering som følge av redusert transmisjon og redusert gjennomsnittlig UV-dose, og i mindre grad som følge av direkte skjerming av bakteriene for UV-stråling. Sistnevnte mekanisme krever en direkte binding eller innbaking av bakteriene i partiklene.



Figur 8. Sammenhengen mellom UV-transmisjon og vannets innhold av suspendert stoff.



Figur 9. Log₁₀ reduksjon i kimtall, med og uten fotoreaktivering, som funksjon av vannets innhold av suspendert stoff. Log₁₀ reduksjon på 3 enheter tilsvarer 99,9% inaktivering.



Figur 10. Log₁₀ reduksjon i vibrio, med og uten fotoreaktivering, som funksjon av vannets innhold av suspendert stoff. Log₁₀ reduksjon på 3 enheter, tilsvarer 99,9% inaktivering.

For å nå målsettingen om 99,9% inaktivering m.h.p. vibriobakterier i prosessvannet til Edward Johnsen A/S, viser den gjennomførte undersøkelsen at det kreves en UV-dose på ca. 60 mWs/cm². På grunn av for stor mengde prosessvann med dårlig kvalitet ble en slik inaktiveringsgrad bare oppnådd ved et fåtall av prøveuttakene. Ved å redusere vannmengden vil det være mulig å oppnå tilstrekkelig dose. Dette kan gjøres ved at vannet pumpes jevnt inn på UV-kammeret, uten de støtbelastningene som styring av innløpspumpen v.h.a. nivåvipper gir.

Som tidligere nevnt er det i ettertid installert frekvensomformer på innløpspumpen for å redusere vannmengden til UV-kammeret. Dette har ført til at UV-dosen normalt ligger over 100 mWs/cm² noe som gir tilstrekkelig inaktivering. I perioden fra 4. april til 12. april har UV-dosen ligget over dette nivået, bortsett fra 10. april kl. 10:52 da dosen var nede i 36 mWs/cm² i ca. 3 min (vedlegg 1).

Viskermekanismen for UV-lampene synes å fungere godt. Mekanismen gjør det mulig å unngå problematisk beleggdannelse på kvartsglassene som omslutter UV-lampene. Dette har vært et av ankepunktene mot bruk av UV-systemer i forurensede avløpsstrømmer. Effekten av rengjøringsmiddelet kom ikke klart fram i undersøkelsen

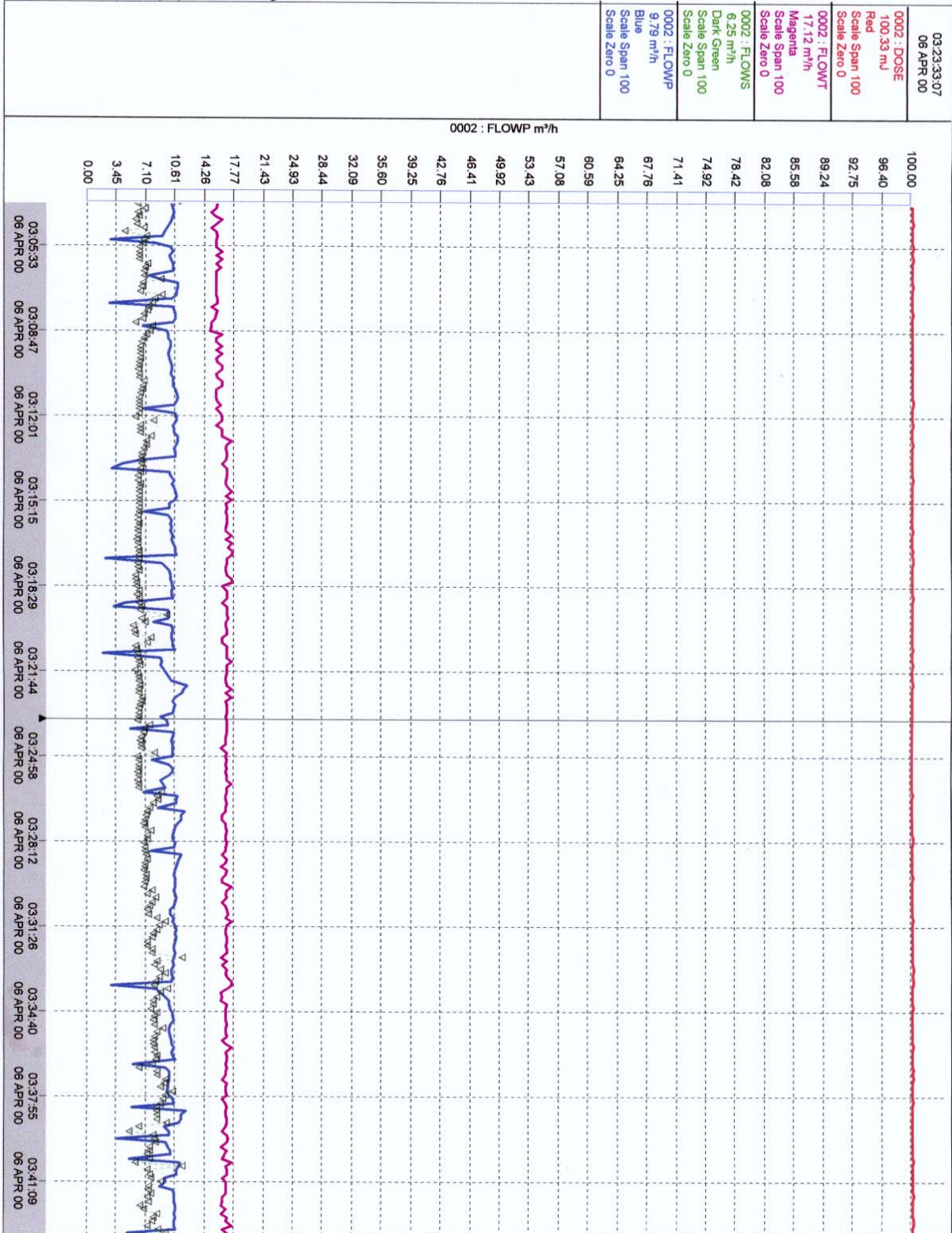
4. Referanser

- Bitton, G., Henis, Y. og Lahav, N. 1972. Effect of several clay minerals and humic acid on the survival of *Klebsiella aerogenes* exposed to ultraviolet irradiation. Appl. Environ. Microbiol. 23: 870-874.
- Bukhari Z., Hargy T.M., Bolton J.R., Bertrand D. og Clancy J.L. 1999. Medium-pressure UV for oocyst inactivation. Jour. Am. Wat. Works Assoc. 91, 86-94.
- Byskov, P., Halvorsen K., og Thorsen T. 1977. Opparbeiding av rensset fisk. Delrapport nr. 4 fra NORDFORSK-prosjektet "Fiskeindustriens vandproblemer". Vandkvalitetsinstituttet, Danmark. 75 s. + vedlegg.
- Fløgstad, H. og Torgersen, Y. 1992. Rensing og desinfeksjon av prosessvann fra slakteanlegg. SINTEF-rapport STF 60 A92038, ISBN nr.: 82-595-7348-2, 27 s.
- Harris, G. D., Adams, V. D., Sorensen, D. L. og Dupont, R. R. 1987. The influence of photoreactivation and water quality on ultraviolet disinfection of secondary municipal wastewater. Journal, W. P. C. F. 59: 781 - 787.
- Landbruksdepartementet 1991. Slakteriforskrift. 5 s.
- Liltved, H., Hektoen H. og Efraimssen H. 1995. Inactivation of bacterial and viral fish pathogens by ozonation or UV irradiation in water of different salinity. Aquacult. Engineering, 14: 107-122.
- Liltved H. og Landfald B. 1996. Influence of liquid holding recovery and photoreactivation on survival of ultraviolet-irradiated fish pathogenic bacteria. Water Research, 30: 1109-1114.
- Liltved H. og Cripps S. 1999. Removal of particle-associated bacteria by prefiltration and ultraviolet irradiation. Aquacult. Res. 30, 445-450.
- Liltved H. 1997. Analyse av avløpsvann fra filet- og rekeindustri. NIVA rapport LNR 3631-97. 25 s.
- Liltved H. og Norgaard E. 1997. Desinfeksjon av avløpsvann fra bedrifter som tilvirker oppdrettsfisk. NIVA rapport LNR 3600-97, 70 s.
- Liltved H. 1998. Analyse av avløpsvann fra fiskeforedlingsindustrien - filetering av torsk og sild. NIVA rapport LNR 3773-98.
- Qualls, R. G. og Johnson, R. D. 1983. Bioassay and dose measurement in U.V. disinfection. Appl. Environ. Microbiol. 45: 872 - 877.
- Qualls, R. G., Flynn, M. P. og Johnson, J. D. 1983. The role of suspended particles in ultraviolet disinfection. Journal, Water Pollut. Contr. Fed. 55: 1280 - 1285.
- Ransome M.E., Whitmore T.N. og Carrington E.G. 1993. Effects of disinfectants on the viability of *Cryptosporidium parvum*. Water Supply, Amsterdam 11:75-89.

- Sako H. og Sorimachi M. 1985. Susceptibility of fish pathogenic viruses, bacteria and fungus to ultraviolet irradiation and the disinfectant effect of UV-ozone water sterilizer on the pathogens in water. Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture 8:51-58.
- Storset A. 1991. Desinfeksjon av sjøvann - metode for bakteriologisk kontroll. Norsk Veterinærtidsskrift, 103, 11, 1025-1027.
- Thorsvik H. 1996. Personlige meddelelser og skriftlig underlag.
- Torgersen Y. 1998. Physical and chemical inactivation of the infectious salmon anaemia (ISA) virus. Proceedings of the New England Farmed Fish Health Workshop, pp. 2-10, Washington County Technical College, Eastport, ME.
- VKI, 1988. Spildvand fra vegetabilsk og animalsk industri i Danmark. Områderapport. Branchegruppe B: Fisk og skaldyr til konsum. Vandkvalitetsinstituttet, Lyngby, Danmark. 44 s. + vedlegg.
- Wolfe, R. L. 1990. Ultraviolet disinfection of potable water. Environ. Sci. Technol. 24: 768 - 773.

Vedlegg 1

Graph 1 - 11:42AM Monday, April 17, 2000 - Page 1 of 1



0002 : FLOWP m³/h

0002 : DOSE	100.33 mJ
Red	Scale Span 100
Scale Zero 0	
0002 : FLOWT	17.12 m³/h
Magenta	Scale Span 100
Scale Zero 0	
0002 : FLOWS	6.25 m³/h
Dark Green	Scale Span 100
Scale Zero 0	
0002 : FLOWP	9.79 m³/h
Blue	Scale Span 100
Scale Zero 0	

100.00
96.40
92.75
89.24
85.58
82.08
78.42
74.92
71.41
67.76
64.25
60.59
57.08
53.43
49.92
46.41
42.76
39.25
35.60
32.09
28.44
24.93
21.43
17.77
14.26
10.61
7.10
3.45
0.00

03:05:33 06 APR 00
03:08:47 06 APR 00
03:12:01 06 APR 00
03:15:15 06 APR 00
03:18:29 06 APR 00
03:21:44 06 APR 00
03:24:58 06 APR 00
03:28:12 06 APR 00
03:31:26 06 APR 00
03:34:40 06 APR 00
03:37:55 06 APR 00
03:41:09 06 APR 00

Graph 1 - 10:41AM Monday, April 17, 2000 - Page 1 of 1

