



Desinfeksjon av utløpsvann fra minirensesanlegg

Aquateam - Norsk vannteknologisk senter A/S

Rapport nr: 10-021

Prosjekt nr: 09064

Prosjektleder: Siv. ing. Markus Rawcliffe

Medarbeider: Siv. ing. Bjarne Paulsrud

Postboks 6875 Rodeløkka
0504 Oslo

Telefon: 22 35 81 00

Telefaks: 22 35 81 10

Rapportnummer: 10-021

Tilgjengelighet: Åpen

Rapportens tittel	Dato
Desinfeksjon av utløpsvann fra minirensesanlegg	17.09.2010
	Antall sider og bilag
	21 / 0
Forfatter(e) sign.	Ansv. sign.
Markus Rawcliffe	Ragnar Storhaug
Bjarne Paulsrud	Ragnar Storhaug
	Prosjektnummer
	O-09064

Oppdragsgiver	Oppdr.givers ref.
Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Miljøvern avdelingen	Simon Haraldsen
Akershus Fylkeskommune	Stig Hvoslef

På oppdrag fra Fylkesmannen i Oslo og Akershus og Akershus fylkeskommune har Aquateam gjort en vurdering av hva som kan oppnås ved desinfeksjon av utløpsvann fra minirensesanlegg. Vurderingen er basert på et litteraturstudium etterfulgt av forsøk i pilotskala med den desinfeksjonsmetoden som syntes å være mest hensiktsmessig ut i fra litteraturstudiet.

Litteraturstudiet viser at de mest aktuelle metodene for desinfeksjon av avløpsvann fra minirensesanlegg er UV, ozon og peroksyeddiksyre. UV-lys gir inaktivering av de fleste virus, sporer og protozoer. Behandlingseffekten ved bruk av UV-lys er sårbar for svingninger i partikkelinnholdet i vannet. Dannelse av belegg på lampen vil gi redusert desinfisering, og UV-anlegget krever rengjøring og jevnlig lampebytte. Ozon gir inaktivering av de fleste virus, sporer og protozoer, men det kan også bli dannet bromid og aldehyder i behandlet vann. Håndtering av ozon kan gi HMS utfordringer for brukeren. Drift og vedlikehold av et ozon-anlegg er komplisert. Eventuell rest-ozon fra produksjonen må fjernes. Metoden er til en viss grad følsom for partikler og løst organisk materiale i vannet. Peroksyeddiksyre har relativt dårlig effekt på virus og dårlig effekt på sporer og protozoer, og ved lave grenseverdier for TKB kreves det relativt høy dosering. Restsyre vil gi økning av BOF i utløpet, og ved høy dosering kan det dannes aldehyder, brom- og klorradikaler samt hypobromitt i utløpet. Metoden er forholdsvis godt tilpasset varierende vannføring. Det må lages et opplegg for håndtering og oppbevaring av syren.

Ved pilotforsøket ble UV-behandling av rensset avløpsvann testet ut. Forsøket ble utført på Bekkelaget rensesanlegg i Oslo med biologisk-kjemisk rensset avløpsvann av tilsvarende kvalitet som fra et godt fungerende minirensesanlegg. Følgende ble undersøkt: Effekt av UV-behandling ved optimal drift av et minirensesanlegg, effekt av slamflukt og effekt av beleggdannelse på UV-lampen ved bruk av lampen over tid. Forsøket ble gjort i to omganger med 2 ukers mellomrom.

Følgende konklusjoner ble trukket fra pilotforsøket:

- Ved optimale driftsbetingelser (lavt SS-innhold i rensset avløpsvann) ble det oppnådd lave konsentrasjoner av *E. coli* og *Clostridium perfringens* sporer etter UV-behandling.
- UV-behandling er svært sårbar for slamflukt. Slamflukthendelser vil kreve umiddelbar rengjøring av UV-lampen.
- Innholdet av bakterier i UV-behandlet avløpsvann har en klar sammenheng med konsentrasjonen av suspendert stoff i det behandlede vannet.
- Forsøkene gikk over for kort tid til å kunne si noe om effekt av beleggdannelse på UV-lampen.

Stikkord - norsk

Stikkord – engelsk

Avløpsvann	Wastewater
Minirensesanlegg	Packaged wastewater treatment plants
Desinfeksjon	Disinfection
UV-behandling	UV treatment

Innholdsfortegnelse

Sammendrag og konklusjoner.....	4
1. Innledning.....	5
2. Litteraturstudium	6
2.1. Aktuelle desinfeksjonsprosesser.....	6
2.1.1. UV.....	6
2.1.2. Ozon	7
2.1.3. Peroksyedikksyre.....	8
3. Pilotforsøk	10
3.1. Forsøksopplegg	10
3.2. Pilotanlegget	10
3.2.1. Beregning av UV-dose.....	11
3.3. Indikatororganismer	11
3.3.1. Valg av indikatororganismer for pilotforsøket	12
4. Pilotforsøk – resultater	13
4.1. Normal drift	13
4.2. Forsøk med slamflukt.....	14
4.3. Beleggdannelse	16
4.4. Sammenheng mellom innhold av suspendert stoff og hygieniseringsgrad.....	17
5. Konklusjoner fra pilotforsøket.....	18
6. Folkehelseinstituttets syn på desinfeksjon av avløpsvann.....	19
7. Referanser	20
Vedlegg 1: Målt sammenheng mellom turbiditet og lys-transmisjon	21

Sammendrag og konklusjoner

Aquateam ble engasjert av Fylkesmannen i Oslo og Akershus og Akershus fylkeskommune for å gjøre en vurdering av hva som kan oppnås ved desinfeksjon av utløpsvann fra minirensanlegg. Vurderingen er basert på et litteraturstudium etterfulgt av forsøk i pilotskala med den desinfeksjonsmetoden som syntes å være mest hensiktsmessig ut i fra litteraturstudiet.

Litteraturstudiet viser at de mest aktuelle metodene for desinfeksjon av avløpsvann fra minirensanlegg er UV, ozon og peroksyeddiksyre.

UV-lys gir inaktivering av de fleste virus, sporer og protozoer, men det er viktig med tilstrekkelig høy dose. Metoden gir i liten grad dannelse av biprodukter. Bruk av UV-lys er en brukervennlig og trygg metode, men behandlingseffekten er sårbar for svingninger i lys-transmisjonen (partikkelinnholdet) i vannet. Dannelse av belegg på lampen vil gi redusert effekt, og UV-anlegg krever rengjøring og jevnlig lampebytte.

Ozon gir inaktivering av de fleste virus, sporer og protozoer, men det kan også bli dannet bromid og aldehyder i behandlet vann. Ozon vil kunne redusere lukt i vannet, samt gi økt konsentrasjon av oksygen. Bruk av ozon er forholdsvis godt tilpasset varierende vannføring, men håndtering av kjemikaliet kan gi HMS utfordringer for anleggseieren. Det må benyttes tilpassede materialer, som kan være kostbare. Eventuell rest-ozon fra produksjonen må fjernes. Drift og vedlikehold av et ozon-anlegg er komplisert. Metoden er også til en viss grad følsom for partikler og løst organisk materiale i vannet.

Peroksyeddiksyre har relativt dårlig effekt på virus og dårlig effekt på sporer og protozoer. Ved lave grenseverdier for TKB kreves det relativt høy dosering. Restsyre vil gi økning av BOF i utløpet, og ved høy dosering kan det dannes aldehyder, brom- og klorradikaler samt hypobromitt. Metoden er forholdsvis godt tilpasset varierende vannføring. Investeringskostnadene vil være lave, men driftskostnadene relativt høye. Bruk av peroksyeddiksyre krever at det lages et opplegg for håndtering og oppbevaring av syren.

Ved pilotforsøket ble UV-behandling av rensset avløpsvann testet ut. Forsøket ble utført på Bekkelaget rensanlegg i Oslo med biologisk kjemisk rensset avløpsvann av tilsvarende kvalitet som fra et godt fungerende minirensanlegg. Til pilotanlegget ble det benyttet en Aquaflex 1 AF4plus lampe produsert av Aquafides og levert av Alfsen og Gunderson AS. Prøvene ble analysert for *E. coli*, *Clostridium perfringens* sporer og suspendert stoff.

Følgende ble undersøkt i pilotforsøket:

- Effekt av UV-behandling ved optimal drift av et minirensanlegg.
- Effekt av slamflukt.
- Effekt av beleggdannelse på UV-lampen ved bruk av lampen over tid.

Forsøket ble gjort i to omganger med rundt 2 ukers opphold mellom forsøksomgangene. Følgende konklusjoner ble trukket fra pilotforsøket:

- Ved optimale driftsbetingelser (lavt SS-innhold i rensset avløpsvann) ble det oppnådd lave konsentrasjoner av *E. coli* (< 50/100 ml) og *Clostridium perfringens* sporer (< 150/100 ml) etter UV-behandling.
- UV-behandling er svært sårbar for slamflukt. Slamflukthendelser vil kreve umiddelbar rengjøring av UV-lamper, og dette krever tett oppfølging.
- Innholdet av bakterier i UV-behandlet avløpsvann har en klar sammenheng med konsentrasjonen av suspendert stoff i det behandlede vannet.
- Forsøkene gikk over for kort tid til å kunne si noe om effekt av beleggdannelse på UV-lampen, uten at det skjer slamflukt.

1. Innledning

Aquateam ble engasjert av Fylkesmannen i Oslo og Akershus og Akershus fylkeskommune for å gjøre en vurdering av hva som kan oppnås ved desinfeksjon av utløpsvann fra minirensanlegg. Vurderingen er basert på et innledende litteraturstudium etterfulgt av forsøk i pilotskala med den desinfeksjonsmetoden som syntes å være mest hensiktsmessig ut fra litteraturstudiet.

I forbindelse med prosjektet ble det nedsatt en styringsgruppe bestående av Simon Haraldsen (Fylkesmannen i Oslo og Akershus), Øyvind Østensvik (Veterinærhøgskolen), Truls Krogh og Vidar Lund (begge fra Folkehelseinstituttet).

2. Litteraturstudium

I tillegg til gjennomgang av litteratur om desinfeksjon av avløpsvann fra minirenseanlegg, er også resultater fra undersøkelser av desinfeksjon av avløpsvann fra større renseanlegg gjennomgått. En del bakgrunnsinformasjon er hentet fra en omfattende undersøkelse utført av Water Environment Research Foundation (WERF, 2008) av desinfeksjonspraksisen på rundt 4.450 avløpsrenseanlegg større enn ca 5.000 pe i USA.

2.1. Aktuelle desinfeksjonsprosesser

I avsnittene nedenfor vurderes desinfeksjonsprosessene som er mest aktuelle å benytte på norske avløpsrenseanlegg generelt og minirenseanlegg spesielt.

2.1.1. UV

Desinfeksjon ved hjelp av UV-lys utføres ved at vann bestråles med lys med en gitt bølglengde som uskadeliggjør mikrober (FHI, 2010).

Biovac AS og Kingspan Miljø AS (Klargester) leverer desinfeksjonsløsninger som benytter UV for sine renseanlegg.

Driftsstabilitet

Desinfeksjon ved hjelp av UV er godt tilpasset en automatisert prosess (Leverenz et al., 2006). Metoden er brukervennlig og er et trygt alternativ for operatører. Det er en fysisk prosess som, i motsetning til de kjemiske prosessene, ikke medfører håndtering, transport og lagring av giftige/farlige eller korrosive kjemikalier.

Effektiviteten vil være dårlig for vann med lav lys-transmisjon, forårsaket av for eksempel suspendert stoff eller farge i vannet.

Ved store vannførings- eller vannkvalitetsvariasjoner vil det være vanskelig å styre doseringen for å opprettholde tilstrekkelig god desinfeksjonseffekt, men metoden er allikevel godt tilpasset varierende vannkvalitet og mengde.

Det anbefales at lampene er i kontinuerlig drift. Beleggdannelse på lampen vil øke ved høyere vanntemperatur, som følge av for eksempel stillestående vann. For optimal drift bør det derfor legges til rette for resirkulering av vann over lampene, dersom resten av minirenseanlegget i perioder er uten avløpstilførsel.

Desinfeksjon ved hjelp av UV-lys krever kortere kontakttid i forhold til andre desinfeksjonsmetoder og er dermed også mindre arealkrevende.

Et UV-anlegg krever jevnlig ettersyn. Effektiviteten av lampene vil reduseres drastisk som følge av beleggdannelse på kontaktflaten mot vannet. Lampens effektivitet vil også reduseres over tid, og det er nødvendig med jevnlig bytte. Metoden kan gi relativt høye driftskostnader som følge av energibehov, lampebytte, rengjøring osv.

Det benyttes to typer lamper, lavtrykks og mellomtrykks (Norsk Vann, 2009). Lavtrykkslampene er kvikksølvholdige og etter bruk må de håndteres deretter. Lampeskade kan også resultere i kvikksølvutslipp. Mellomtrykkslamper har en høyere driftstemperatur, som kan øke graden av beleggdannelse på glasset.

Effekt på mikroorganismer

Desinfeksjon ved hjelp av UV-lys gir en effektiv inaktivering av de fleste virus, sporer og protozoer. Det er allikevel viktig å merke seg at ved typisk doseringsnivå for reduksjon av

TKB, vil enkelte virus (f.eks. Adenovirus 40 og 41), sporer og protozoer ikke bli effektivt inaktivert.

Behandlingen etterlater ingen restdose i utløpet som ville kunne gi negative følger for plante- og dyreliv i resipienten. Det dannes i liten grad biprodukter fra behandlingen.

Behandlet avløpsvann fra minirensanlegg vil typisk ha en UV-transmisjon på 60 – 74 % (1 cm) (Leverenz et al., 2006). Nødvendig UV-dose vil være 100 – 140 mJ/cm², mens det ved desinfeksjon av drikkevann anbefales 40 mJ/cm² for inaktivering av sporer av *Clostridium perfringens* (Norsk Vann, 2009). Med utstyr som er tilgjengelig på markedet, kan det forventes en nødvendig kontaktid på 6 – 40 s.

2.1.2. Ozon

Desinfeksjon ved hjelp av ozon foregår ved at ozon-gassen blandes inn i avløpsvannet og gir en kraftig oksidasjon (FHI, 2010).

Det er ingen minirensanlegg på det norske markedet som benytter ozon for desinfeksjon av utløpsvannet.

Driftstabilitet

Bruk av ozon er forholdsvis god tilpasset varierende vannkvalitet og -mengde. Driften av anlegget vil kreve noe ettersyn, men løsningen passer godt i en automatisert prosess.

I forhold til andre kjemiske prosesser vil det være få HMS-problemer som følge av transport og håndtering av kjemikalier, fordi ozon vanligvis genereres på stedet.

Ozon for desinfeksjon av avløpsvann krever avansert utstyr og et effektivt kontaktsystem for å sikre god overføringseffekt. Drift og vedlikehold av anlegget er relativt komplisert i forhold til de andre aktuelle metodene. Ozon er reaktivt med plast og metaller og krever derfor korrosjonsbestandige materialer som resulterer i relativt høye investerings- og vedlikeholdskostnader (Leverenz et al., 2006).

Effektiv behandling av vann ved hjelp av et ozonanlegg er til en viss grad følsomt for innhold av partikler og løst organisk materiale. Vannets pH og temperatur vil også påvirke behandlingseffektiviteten.

Overskuddsozon fra ozongeneratoren må fjernes før utslipp i arbeidsmiljøet, da gassen er sterkt irriterende og muligens også helseskadelig.

Effekt på mikroorganismer

Bruk av ozon er en effektiv metode for inaktivering av alle typer bakterier, virus, parasitter og protozoer. Riktig doseringsnivå er viktig. Dersom det kun doseres tilstrekkelig for reduksjon av TKB, vil effekten på enkelte virus, sporer og protozoer kunne være dårlig.

Det vil ikke være noen ettervekst av mikroorganismer, bortsett fra de som er beskyttet i partikulært materiale ved ozonbehandlingen.

Det dannes få skadelige biprodukter, men dersom det er bromid i vannet, kan det i reaksjon med ozon dannes bromat som er helseskadelig. Det vil også kunne dannes aldehyder.

Som følge av oksidasjonsprosessen, vil bruk av ozon også kunne redusere sulfid (lukt) i avløpsvannet. Ozon øker konsentrasjon av løst oksygen i utløpet, og reduserer vanligvis KOF-konsentrasjonen. Den vil også oksidere enkelte hormonhermere og medisinrester.

2.1.3. Peroksyedikksyre

Peroksyeddiksyre (Pereddiksyre, engelsk: Peracetic acid eller PAA, kjemisk forbindelse $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) produseres fra eddiksyre og hydrogenperoksid. I vann vil løsningen foreligge i en masselikevekt mellom peroksyediksyre, hydrogenperoksid og eddiksyre (Gehr et al., 2003).

Peroksyeddiksyre doseres direkte i vannstrømmen ved kraftig omrøring. For å sikre tilstrekkelig kontakttid bør vannet føres til en holdetank etter tilsetning.

Det antas at det hovedsakelig er peroksyediksyren som har en desinfiserende effekt på de aktuelle mikrobene. Ved høyt innhold av organisk materiale vil peroksyediksyre reagere med det organiske materialet og bli forbrukt. Ved lavere innhold av organisk materiale vil det kunne etableres en likevekt med peroksyediksyre i behandlet vann, og det vil være en resteffekt i utløpet.

Odin Maskin AS leverer desinfeksjonsløsninger som benytter peroksyediksyre for sine renseanlegg (Køhler, 2006).

Driftsstabilitet

Peroksyeddiksyre er godt tilpasset for desinfeksjon av avløpsvann ved varierende vannføring. For store anlegg er investeringskostnadene på nivå med UV, men lavere enn for ozon. For desinfeksjon brukes vanligvis en løsning med konsentrasjon 5 – 15 %, som har god varighet. Mer fortynnede løsninger vil brytes ned raskere over tid (Leverenz et al., 2006).

Kjemikaliet er relativt kostbart og medfører relativt høye drifts- og vedlikeholdskostnader. Det er også nødvendig å iverksette tiltak for å sikre forskriftsmessig oppbevaring

Effekt på mikroorganismer

Peroksyeddiksyre har lignende desinfeksjonseffektivitet som klor ved tilsvarende dosering. Bruken er allikevel antatt å være lite hensiktsmessig dersom det stilles krav til lave grenseverdier for TKB, da dette vil kreve relativt høye doseringer. Kjemikaliet har også relativt dårlig effekt på virus, og desinfiseringseffekten er liten på sporer og protozoer.

Bruk av peroksyediksyre eliminerer dannelsen av de fleste, om ikke alle, desinfeksjonsbiprodukter, og det virker ikke som om det genereres giftige forbindelser i utløpet. I behandlet vann vil det være en rest av eddiksyre som øker BOF i utløpet. Ved høye konsentrasjoner vil aldehyder, brom- og klorradikaler og hypobromitt (BrOH) kunne dannes.

Forsøk har vist at dosering av 5 mg peroksyediksyre/l med kontaktid på 20 min kan gi en 4 – 5 log reduksjon av TKB og totale koliforme bakterier (Leverenz et al., 2006). Tilsvarende dosering har vist å gi rundt 1 log reduksjon av kolifager (Koivunen et al., 2005). Det vil være nødvendig med høye doseringer for å oppnå betydelig reduksjon av virus, sporer og protozoer samt for å oppnå lave restnivå av totale koliforme bakterier.

Forsøk har vist at peroksyediksyre ikke gir noen reduksjon av *Clostridium perfringens* i kjemisk rensed avløpsvann (Gehr et al., 2003). Tilsvarende resultater har også blitt funnet for parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium*.

Hydrogenperoksid

Hydrogenperoksid er ikke vurdert spesielt, men tatt med i sammenstillingen for peroksyediksyre. Forsøk viser at nødvendig dose av hydrogenperoksid er mye større enn for peroksyediksyre (Wagner et al., 2002).

Biovac AS leverer desinfeksjonsløsninger som benytter hydrogenperoksid (H_2O_2) for sine renseanlegg.

3. Pilotforsøk

3.1. Forsøksopplegg

I samråd med prosjektets styringsgruppe ble det besluttet at pilotforsøket skulle gjøres ved bruk av UV-lys.

I forsøket skulle følgende undersøkes:

- Effekt av UV-behandling ved optimal drift av anlegget for gitte parametre (indikatororganismer).
- Effekt av slamflukt på behandlingseffektivitet.
- Effekt av beleggdannelse på UV-lampen.

Pilotforsøket ble gjennomført på Bekkelaget avløpsrenseanlegg i Oslo. Forsøket ble gjort med biologisk-kjemisk rensed avløpsvann fra utløpet av sedimenteringsbassengene. For å simulere tilfeller av slamflukt, ble utløpsvannet tilsatt aktivslam fra returslamstrømmen på anlegget.

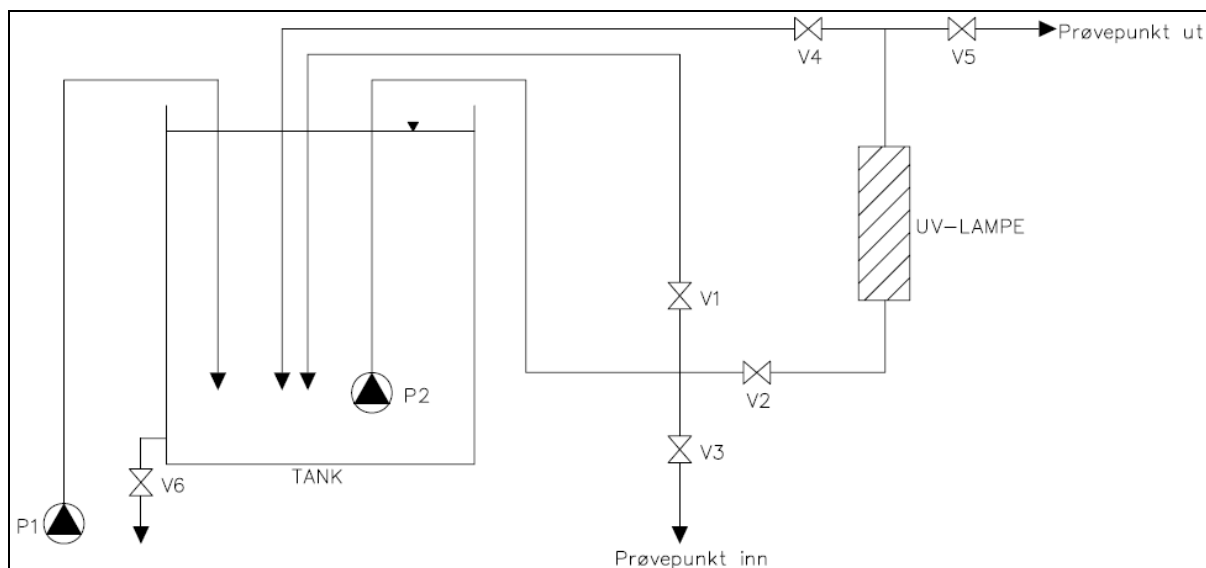
Forsøket ble gjennomført i to omganger med rundt 2 ukers opphold mellom forsøksomgangene. I hver omgang ble det gjort forsøk med behandling av utløpsvann med økende UV-dose. 40 mJ/cm^2 er forventet nødvendig UV-dose for vann med drikkevannskvalitet (Norsk Vann, 2009), og 140 mJ/cm^2 er anslått nødvendig dose for å oppnå tilfredsstillende reduksjon i behandlet avløpsvann (Leverenz et al., 2006). I forsøket ble det valgt dosenivåer på henholdsvis 80, 140 og 280 mJ/cm^2 . Dosenivåene tilsvarer henholdsvis dobbelt dose i forhold til anslått dose i drikkevannsforskriften, rundt forventet dose for avløpsvann og dobbel forventet dose for avløpsvann.

Ved hver UV-dose ble det også simulert et tilfelle av slamflukt ved å tilsette aktivslam til utløpsvannet fra sedimenteringsbassengene. I den første forsøksomgangen var konsentrasjonen av suspendert stoff rundt 3.000 mg/l , mens i den andre forsøksomgangen var konsentrasjonen av suspendert stoff rundt 1.000 mg/l . Det ble ikke gjort noen endringer av innstillingene på anlegget for å ta hensyn til at den økte konsentrasjonen av suspendert stoff gir redusert lys-transmisjon (det vil si at henvisningene til UV-dose gjelder for utløpsvann uten tilsatt aktivslam).

Hensikten med oppholdet mellom forsøksomgangene var å vurdere eventuell reduksjon av lampens effektivitet som følge av begroing på kvartsglasset.

3.2. Pilotanlegget

Pilotanlegget ble bygget slik at det var mulig å kjøre UV-lampen kontinuerlig uten å tilføre nytt vann. Det ble lagt opp til prøvetaking umiddelbart før og etter UV-lampen (se figur 1).



Figur 1: Flytskjema for pilotanlegget

I forsøkene med høy konsentrasjon av suspendert stoff i vannet, ble innløppspumpen (P1) satt i bunnen av tanken (uten slanger) for å sikre god omrøring og stabil vannkvalitet gjennom UV-lampen.

UV-lampen som ble benyttet i forsøket, var en Aquaflex 1 AF4plus produsert av Aquafides. Kvartsglasset i lampen var påført en coating som har til hensikt å forsinke/reducere beleggdannelse når lampen skal brukes for avløpsvann. Lampen forhandles i Norge av Alfsen og Gunderson AS.

3.2.1. Beregning av UV-dose

Vannets UV-dose er gitt av UV-lampens intensitet, vannets eksponeringstid for UV-lys og vannets lys-transmisjon. Benyttet UV-lampe var utstyrt med en sensor som anga lampens prosentvise intensitet i forhold til maksimal intensitet. I tillegg til avlesning av lampens intensitet ble også vannføring målt og vannets lys-transmisjon beregnet.

Målinger av lys-transmisjon ble foretatt på Aquateams laboratorium i etterkant av forsøkene (utstyret er ikke flyttbart). For å beregne UV-dose i felt ble det derfor etablert en sammenheng mellom vannets turbiditet og lys-transmisjon. I vedlegg 1 vises den etablerte sammenhengen som ble benyttet.

Beregninger av UV-dose ble gjort ved hjelp av et regneark som fulgte med leveransen av UV-lampen. Det var ikke mulig å justere lampens intensitet. UV-dose ble derfor justert ved å endre vannføringen gjennom anlegget.

Målingene av lys-transmisjon ble gjort med kyvettelengde 50 mm (t_{50}), mens beregning av UV-dose tar utgangspunkt i kyvettelengde på 10 mm (t_{10}). Lys-transmisjon t_{50} ble omregnet til t_{10} ved hjelp av følgende sammenheng; $t_{10} = 39,8 \times t_{50}^{0,2}$ (Norsk Vann, 2008).

Håndtering av lampen og alle beregninger av UV-dose er gjort etter anvisning og kvalitetskontroll av Alfsen og Gundersen AS, ved Odd-Anders Beckmann.

3.3. Indikatororganismer

Tabell 1 oppsummerer aktuelle indikatororganismer som ble vurdert benyttet i forbindelse med pilotforsøket.

Tabell 1: Aktuelle indikatororganismer (Norsk Vann, 2009, FHI, 2010, Lund og Krogh, 2009, Leverenz et al., 2006)

Indikatororganisme	Indikator på
Termotolerante koliforme bakterier (TKB) <i>E. coli</i>	Fersk fekal forurensning. Grad av inaktivering av patogene bakterier
<i>Clostridium perfringens</i> sporer (anaerobe sporedannere)	Indikator på mulig overlevelse av virus og tarmparasittcyster Virus og protozoer Gammel fekal forurensning
Totale koliforme bakterier	Mulig fekal forurensning
Intestinale enterokokker (Fekale streptokokker)	Mulig forekomst av tarmvirus. God overlevelse i sjøvann. Kan sammen med <i>E. coli</i> brukes for å vurdere om avføring er fra mennesker eller dyr (gjelder etter kort oppholdstid).
Bakteriofager (kolifager)	Humanvirus

For analyse av drikkevann skal det rutinemessige analyseprogrammet inneholde analyse av indikatorene kimtall (22°), koliforme bakterier, *E. coli*, Intestinale enterokokker og *Clostridium perfringens* (Norsk Vann, 2009).

E. coli er ikke en pålitelig indikator for nærvær av virus, *Cryptosporidium* eller *Giardia* protozoer eller *Campylobacter*. Forekomst av parasittene *Cryptosporidium* og *Giardia* må eventuelt bestemmes ved hjelp av spesifikke analyser for disse organismene.

3.3.1. Valg av indikatororganismer for pilotforsøket

I samråd med styringsgruppen for prosjektet, ble følgende indikatororganismer valgt ut for forsøket:

- *E. coli*
- *Clostridium perfringens* sporer

For analyse av bakteriologiske parametre ble det tatt tre parallelle prøver ved hver prøvetaking. I rapporteringen er gjennomsnittsverdier for de parallelle prøvene benyttet.

Det ble i tillegg også foretatt analyse av suspendert stoff som referanseanalyse for partikulært materiale i avløpsvannet. Turbiditet og lys-transmisjon ble også målt.

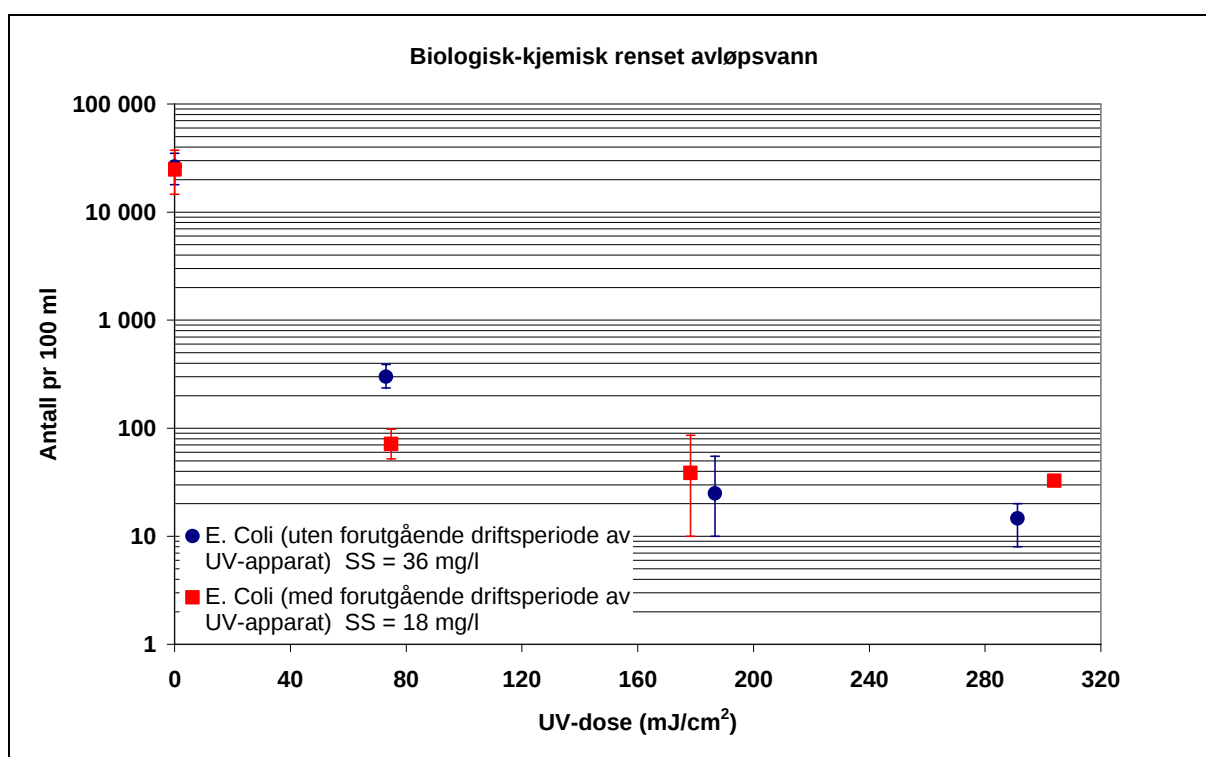
4. Pilotforsøk – resultater

4.1. Normal drift

Pilotforsøket simulerte det som kan tilsvare normal drift ved et minirensesanlegg, det vil si utløpsvann med lavt innhold av suspendert stoff. Forsøket ble gjort ved å behandle vannet med flere UV-dosenivåer. Som beskrevet tidligere (kap 3.1), var valgte UV-doser rundt 80, 140 og 280 mJ/cm².

Konsentrasjonen av suspendert stoff i første og andre forsøksrunde var henholdsvis 36 og 18 mg/l, og dette vurderes å være representativt for utløpsvann fra et velfungerende minirensesanlegg.

Figur 2 viser resultatene for reduksjon av *E. coli* fra pilotforsøk med normale driftsforhold og økende UV-dose ved de to forsøksomgangene. Figuren viser også resultat av analyse av innløpsprøvene (UV-dose = 0 mJ/cm²).



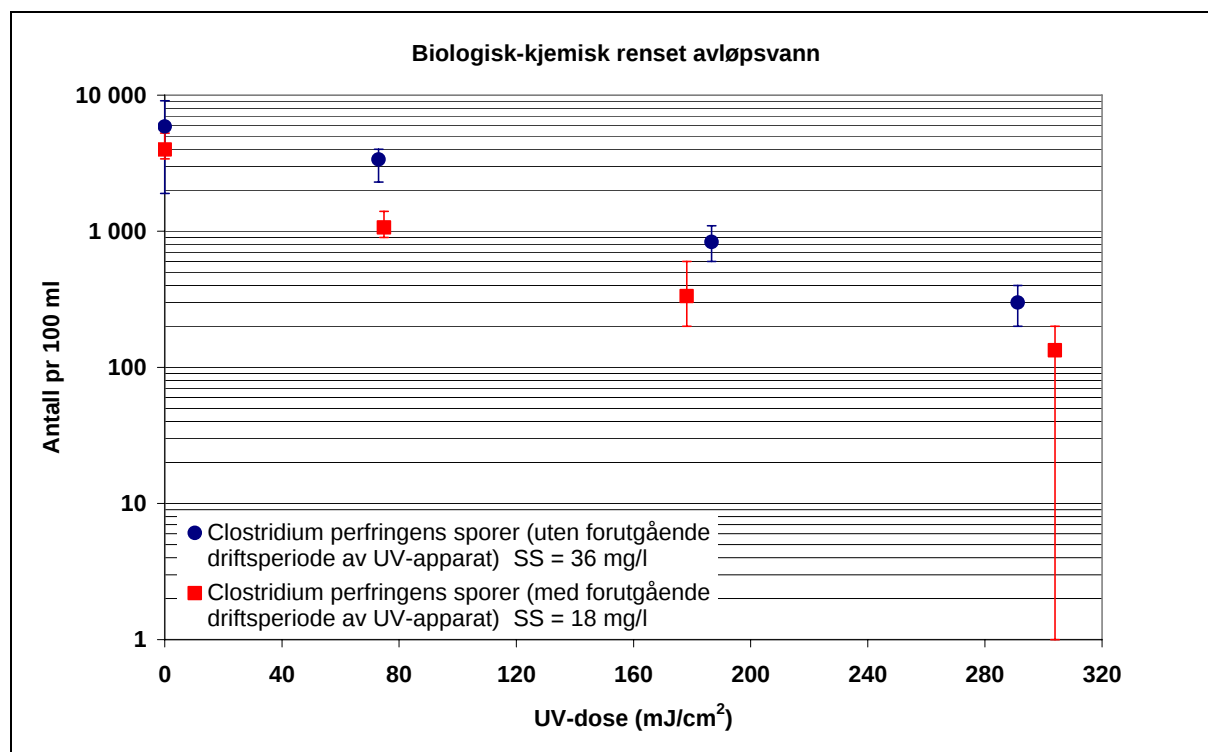
Figur 2: Innholdet av *E. coli* med normale driftsforhold i pilotanlegget

Resultatene for innløpsprøvene er et gjennomsnitt av prøvene tatt på innløpet ved de tre dosenivåene i hver prøveomgang. Innløpsprøvene er tilnærmet like i begge omgangene og fremkommer derfor ikke så tydelig på figuren. Resultatene er henholdsvis 26.400 og 24.800 *E. coli*/100 ml for forsøk med og uten forutgående driftsperiode på UV-lampen.

Resultatene viser at ved en UV-dose rundt 80 mJ/cm² reduseres antall *E. coli* til rundt 300 stk/100 ml og 70 stk/100 ml for henholdsvis første og andre forsøksomgang. Økende UV-dose gir også ytterligere reduksjon av antall *E. coli*, men den videre reduksjonen er ikke like stor. Ved høyeste UV-dose oppnås det en log reduksjon på 3,3 i første forsøksomgang og 2,9 i andre.

Det er ingen entydig forskjell mellom resultatene fra forsøk med ny lampe og lampe som har vært benyttet i en forutgående driftsperiode.

Figur 3 viser resultatene for reduksjon av *Clostridium perfringens* sporer fra pilotforsøk med normale driftsforhold og økende UV-dose ved de to forsøksomgangene.



Figur 3: Innholdet av *Clostridium perfringens* sporer med normale driftsforhold i pilotanlegget

Resultatene fra analyse av *Clostridium perfringens* sporer viser en jevn reduksjon av antall sporer ved økende dosering. Ved det høyeste dose-nivået oppnås det i gjennomsnitt en reduksjon av *Clostridium perfringens* sporer fra rundt 5.900 til 300 stk/100 ml i første forsøksomgang og fra rundt 4.000 til 130 stk/100 ml i andre forsøksomgang. Dette tilsvarer en log reduksjon på henholdsvis 1,2 og 1,4.

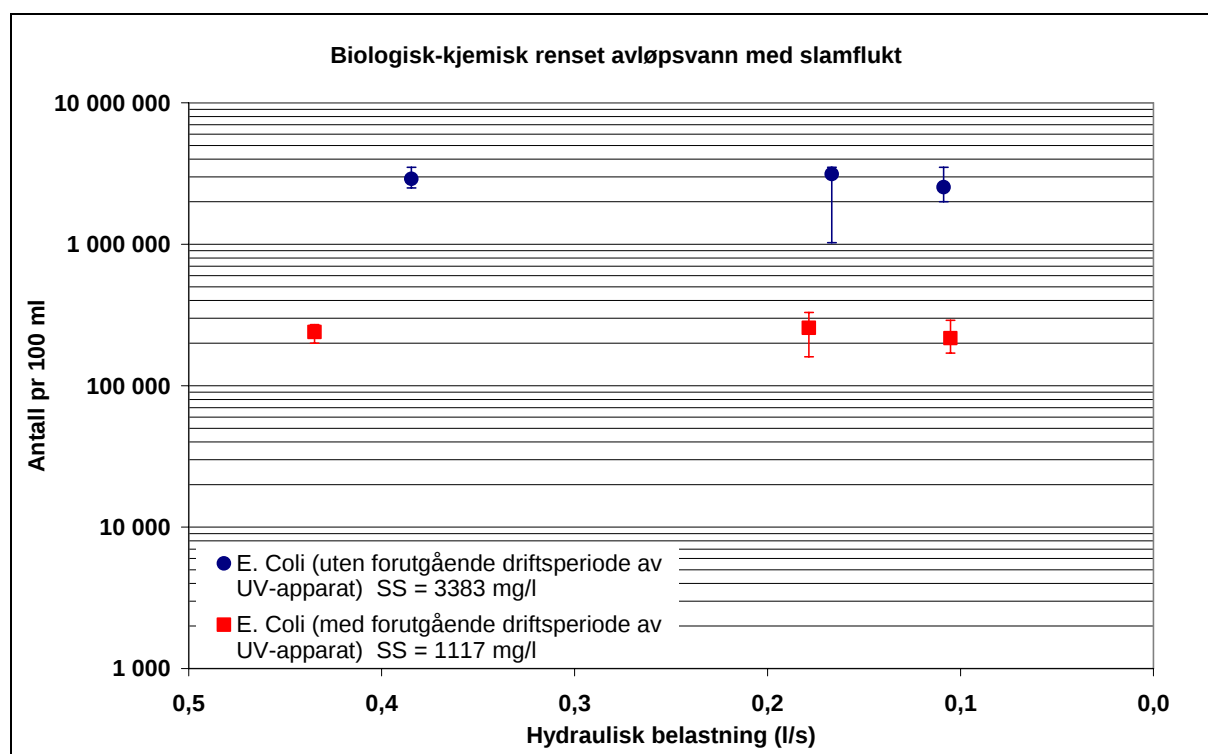
4.2. Forsøk med slamflukt

Ved alle dose-nivåene ble det gjort forsøk med simulering av tilfeller av slamflukt, ved at vannet ble tilsatt aktivslam.

Beregning av UV-dose er avhengig av måling av vannets lys-transmisjon. Ved slamfluktforsøkene var transmisjonen ikke målbar, slik at det ikke var mulig å beregne hvilken dose vannet ble påført. Resultatene viser imidlertid hvilke følger slamflukthendelser vil ha på desinfiseringen av avløpsvannet ved aktuelle UV-doser for normalt utløpsvann.

I første forsøksomgang var konsentrasjonen av suspendert stoff rundt 3.000 mg SS/l (3.383 mg/l i gjennomsnitt). I den andre forsøksomgangen, etter forutgående drift av UV-lampen, var konsentrasjonen av suspendert stoff rundt 1.000 mg SS/l (1.117 mg/l i gjennomsnitt). Hensikten med å bruke to forskjellige nivåer av slamflukt, var å vurdere om hygieniseringseffekten ville opprettholdes ved slamflukthendelser med lavere konsentrasjon av suspendert stoff.

Figur 4 viser resultatene for *E. coli* ved simulering av slamflukt.



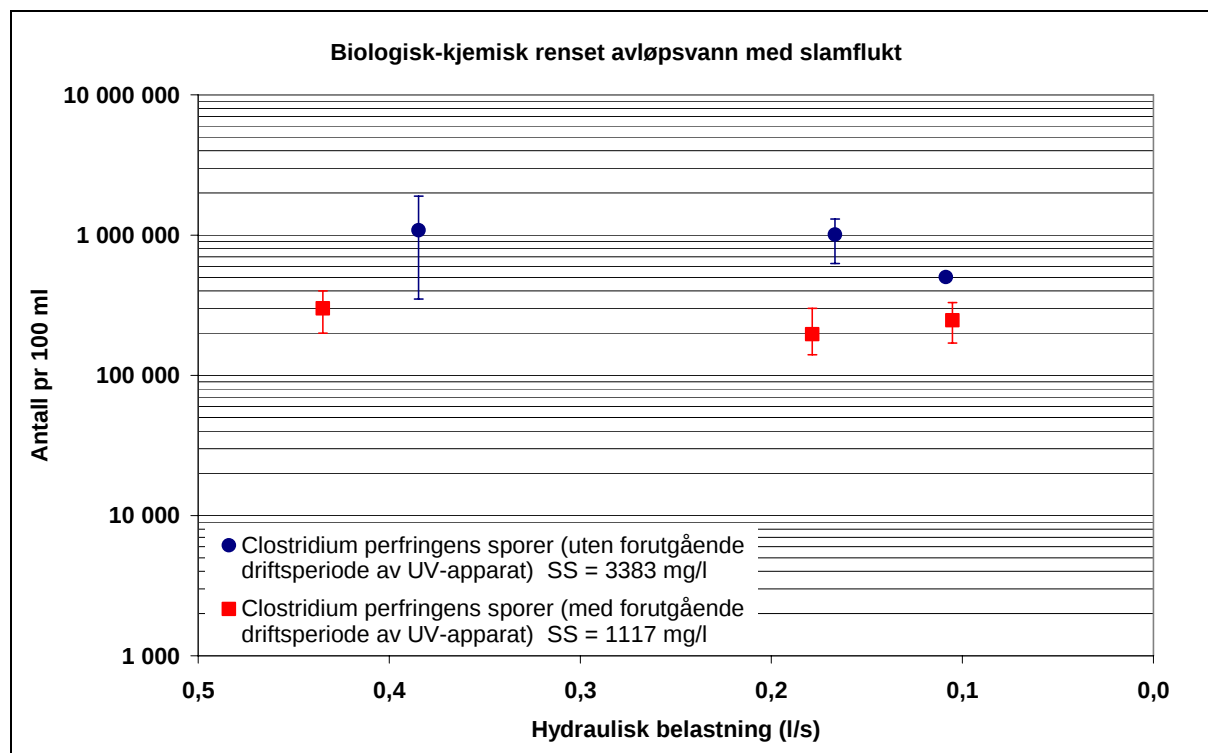
Figur 4: Innholdet av *E. coli* etter UV-behandling ved simulering av slamflukt

Figuren ovenfor viser at antallet *E. coli* i prøvene etter UV-behandling er forholdsvis konstant, uavhengig av hydraulisk belastning på UV-lampen.

I prøveomgang 1 var det i gjennomsnitt 3.911.000 *E. coli*/100 ml i innløpet til UV-lampen. I utløpsprøvene var det i gjennomsnitt 2.855.000 stk/100 ml. Dette tilsvarer en reduksjon på 27 %. I prøveomgang 2 ble antall *E. coli* redusert fra 316.000 til 237.000 stk/100 ml i anlegget. Det tilvarer en reduksjon på rundt 25 %.

Lys-transmisjonen i vannet ved simulering av slamflukt var i begge omgangene ikke målbar. Resultatene tyder på at ved slamflukt vil reduksjonen av *E. coli* være dårlig. Den prosentvise reduksjonen av *E. coli* er tilnærmet lik i utløpsvann med konsentrasjon av suspendert stoff på rundt 1.000 og 3.000 mg/l. Det tyder på at reduksjon av *E. coli* i stor grad vil reduseres selv også ved slamflukt-tilfeller med lavere utslipp av suspendert stoff.

Figur 5 viser resultatene for *Clostridium perfringens* sporer ved simulering av slamflukt.



Figur 5: Innholdet av *Clostridium perfringens* sporer etter UV-behandling ved simulering av slamflukt

Det er noe større variasjon i resultatene for *Clostridium perfringens* sporer. Det kan se ut som om det er en svak økning av inaktivering ved den laveste hydrauliske belastningen i forsøksomgang 1 (forsøk med høyest konsentrasjon av suspendert stoff). Tendensen gjentas ikke i andre forsøksomgang. Reduksjonen er noe dårligere ved hydraulisk belastning på 0,1 l/s sammenlignet med rundt 0,2 l/s.

I prøveomgang 1 var det i gjennomsnitt 1.028.000 *Clostridium perfringens* sporer/100 ml i prøvene før UV-lampen. I utløpsprøvene var det i gjennomsnitt 865.000 stk/100 ml. Dette utgjør en reduksjon på 16 %. I prøveomgang 2 var det ingen reduksjon av *Clostridium perfringens* sporer (endring fra 242.000 til 247.000 stk/100 ml, det vil si en økning på 2,3 %).

Resultatet tyder på at desinfiseringen med hensyn på *Clostridium perfringens* sporer ved slamflukthendelser er svært dårlig.

4.3. Beleggdannelse

Forsøkene gikk over for kort tid til at det var mulig å si noe om effekten av beleggdannelse på UV-lampen uten at det skjer slamflukt.

Under forsøkene med slamflukt viste sensor for intensitet på lampen alarmsignal, det vil si at intensiteten var < 1 %. Etter forsøk med slamflukt i første forsøksomgang ble systemet rengjort ved at rent utløpsvann ble kjørt gjennom slangene, og anlegget startet igjen. Etter slamfluktforsøket kan det virke som om det var dannet et belegg i lampen. Avlest intensitet gikk ikke over 8-9 %. Etter anvisning fra leverandøren av lampen ble kvartsglasset rengjort ved å tørke av det med papir. Anlegget ble deretter startet igjen, og avlesning av intensitet på lampen viste 100 % som forut for slamfluktforsøket.

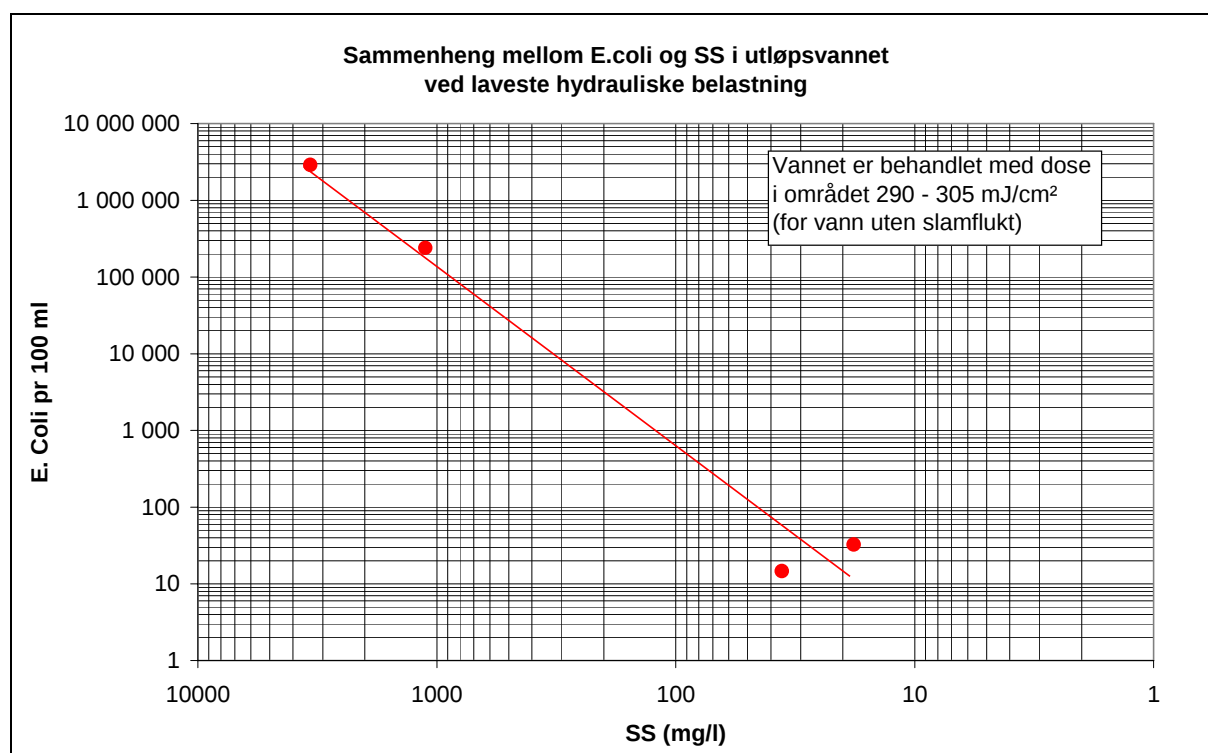
Det kan virke som om tilførsel av vann med høy slamkonsentrasjon medførte beleggdannelse på glasset, slik at lampen ikke ga tilfredsstillende gjennomlysning av vannet

før kvartsglasset var rengjort mekanisk. Beleggdannelsen gjentok seg ikke ved andre forsøksrunde med slamflukt.

4.4. Sammenheng mellom innhold av suspendert stoff og hygieniseringsgrad

Resultatene fra forsøkene som er referert i foregående avsnitt, viser at det er en tydelig sammenheng mellom vannets innhold av suspendert stoff og konsentrasjonen av indikatororganismer i utløpet fra pilotanlegget.

Figur 6 viser sammenheng mellom innholdet av *E. coli* og konsentrasjonen av suspendert stoff etter UV-behandling. Resultatene er fra forsøk med laveste hydrauliske belastning, det vil si høyeste UV-dose der det var mulig å beregne denne.



Figur 6: Sammenheng mellom *E. coli* og konsentrasjon av SS etter UV-behandling

Trendlinjen er kun lagt inn som en illustrasjon, men viser at det er en forholdsvis tydelig sammenheng mellom konsentrasjon av suspendert stoff og innholdet av *E. coli*. Ut fra denne figuren kan det virke som om lav konsentrasjon av suspendert stoff er en forutsetning for god reduksjon av *E. coli* ved UV-behandling.

5. Konklusjoner fra pilotforsøket

Ved optimale driftsbetingelser (lavt SS-innhold i rensed avløpsvann) ble det oppnådd lave konsentrasjoner av *E. coli* (< 50/100 ml) og *Clostridium perfringens* sporer (< 150/100 ml) etter UV-behandling.

UV-behandling er svært sårbar for slamflukt. Slamflukthendelser vil kreve umiddelbar rengjøring av UV-lamper, og dette krever tett oppfølging av anlegget.

Innholdet av bakterier i UV-behandlet avløpsvann har en tydelig sammenheng med konsentrasjonen av suspendert stoff i det behandlede vannet.

Forsøkene gikk over for kort tid til å kunne si noe om effekt av beleggdannelse på UV-lampen, uten at det skjer slamflukt.

Skal det oppnås god og stabil effekt med UV-behandling ved minirensesanlegg, må man ha en etterpolering av avløpsvannet før UV-behandling.

6. Folkehelseinstituttets syn på desinfeksjon av avløpsvann

Folkehelseinstituttet har følgende tilrådninger i forbindelse med vurdering av desinfeksjon av avløpsvann (Krogh, 2010):

Desinfeksjon av avløpsvann gjennomføres med et ønske om forbedrete hygieniske forhold i resipienten. Det er spesielt to forhold som gjør at man ikke alltid vil oppnå en slik forbedring, selv om kontrollanalyser skulle tyde på at resultatet er godt.

1. Overvåkingen gjennomføres vanligvis ved å analysere forekomsten av *E. coli* (eventuelt også koliforme bakterier) i resipienten. *E. coli* og koliforme bakterier har en forholdsvis lav toleranse for de fleste kjemiske og fysiske desinfeksjonsmetoder, sett i forhold til en del andre sykdomsfremkallende organismer. Spesielt er forskjellen stor ved bruk av kjemiske desinfeksjonsmetoder (klor, hydrogenperoksid, ozon eller liknende). Resultatet kan bli at man fjerner indikatororganismene (de man måler, og dermed fungerer som en advarsel) uten at man vet om man fjerner smittefaren.
2. Desinfeksjon av avløpsvann til en følsom resipient med andre brukerinteresser (bading, drikkevannsproduksjon) fordrer at man har en meget god effekt hele tiden for at det skal kunne ha en mening. Det er ikke tilstrekkelig at den hygieniske kvaliteten er tilfredsstillende kun en del av tiden, selv ikke om det er mesteparten av tiden. Usikkerheten omkring hvorvidt et lite anlegg uten kontinuerlig oppfølging av spesialister vil kunne fungere 100 % hele tiden er stor. For å spre sykdom vil det kunne være nok med at anlegget har en dårlig funksjon noen timer om året, dersom det er en kilde som benyttes til drikkevann, og det samme dersom dette skjer i badesesongen og brukerinteressen er bading. En tillatelse til nye utslipp til en slik resipient basert på en tro om at utslippet hygieniseres gjennom en desinfeksjon, slik at det blir uten betydning, vil kun skape en falsk trygghet. Det er mye bedre å velge andre løsninger som fører avløpet ut av det sårbare området på en sikker måte (dvs. uten overløpsmulighet), eventuelt at det ikke tillates ny bebyggelse med avløp i området.

Eksisterende bebyggelse med urensset avløp vil kunne forbedres noe ved skikkelig avløpshåndtering. Dersom det ikke er mulig å finne andre løsninger, vil en rensing hvor desinfeksjon inngår som siste trinn, kunne gi en forbedring, selv om denne løsningen ikke er fullgod, og derfor ikke kan anbefales til nye avløp.

7. Referanser

FHI (2010): Vannforsyningens ABC, Nasjonalt folkehelseinstitutt, http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3030:1:0:0::0:0

Gehr, R., Wagner, M., Veerasubaramanian, P. and Payment, P. (2003): Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater. Water Research 37 (2003) 4573-4586, IWA.

Koivunen, J. and Heinonen-Tanski, H. (2005): Peracetic acid (PAA) disinfection of primary, secondary and tertiary treated municipal wastewaters. Water Research 39 (2005) 4445-4453, IWA.

Krogh, T. (2010): Kommentarer til rapport om hygienisering av avløpsvann, Nasjonalt folkehelseinstitutt. Korrespondanse på e-post 10.09.2010.

Køhler, J.C. (2006): Hygienisering av rensed avløpsvann fra Odin renseanlegg, Bioforsk Jord og miljø, Ås, Arkiv nr: 642.2

Leverenz, H., Darby, J. and Tchobanoglous, G. (2006): Evaluation og Disinfection Units for Onsite Wastewater Treatment Systems. Center for Environmental and Water Resources Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis. Report no 2006-1.

Lund, V. og Krogh, T. (2009): Prosjektforslag: Desinfeksjon av avløpsvann. Nasjonalt folkehelseinstitutt. Korrespondanse på e-post 12.11.2009.

Norsk Vann (2008): Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann, Norsk Vann rapport 164 – 2008.

Norsk Vann (2009): Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis, Norsk Vann rapport 170 – 2009.

Wagner, M., Brumelis, D. and Gehr, R. (2002): Disinfection of Wastewater by Hydrogen Peroxide or Peracetic Acid: Development of Procedures for Measurement of Residual Disinfectant and Application to a Physicochemically Treated Municipal Effluent. Water Environment Research, Volume 74, number 1. Water Environment Federation.

WERF (2008): Disinfection of Wastewater Effluent - Comparison of Alternative Technologies, IWA Publishing.

Vedlegg 1: Målt sammenheng mellom turbiditet og lys-transmisjon

