

Desinfeksjon av utløpsvann fra minirenseanlegg

Av Markus Rawcliffe og Bjarne Paulsrud

Markus Rawcliffe og Bjarne Paulsrud er begge sivilingeniører og arbeider i Aquateam – norsk vannteknologisk senter.

Sammendrag

Det er gjort en vurdering av hva som kan oppnås ved desinfeksjon av utløpsvann fra minirenseanlegg basert på et litteraturstudium etterfulgt av et pilotforsøk.

Litteraturstudiet viste at de mest aktuelle metodene er UV, ozon og peroksyeddiksyre, der UV-behandling virker å være best egnet. Metoden ble derfor testet ut i et pilotforsøk, der følgende ble undersøkt:

- Effekt av UV-behandling ved optimal drift av et minirenseanlegg
- Effekt av slamflukt
- Effekt av beleggdannelse på UV-lampen over tid

Følgende konklusjoner ble trukket fra pilotforsøket:

- Ved optimale driftsbetingelser 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 for å gjenopprette behandlingseffekten.

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

Summary

An evaluation of what is achievable by disinfection of effluent from packaged wastewater treatment plants has been done. This is based upon a literature review followed by testing in a pilot scale plant.

The literature review revealed that the most interesting methods are treatment with UV, ozone and Peracetic acid. UV treatment seemed most appropriate, and this method was used for testing in a pilot scale plant. The following was examined:

- Effect of UV-treatment under optimal effluent quality
- Effect of increased particle concentration in the effluent (loss of sludge particles from the separation unit)
- Effect of build up of coating on the lamp

Conclusions from the pilot test:

- It is possible to achieve low levels of *E. coli* and *Clostridium perfringens* spores by UV-treatment under optimal conditions
- UV-treatment is vulnerable for increased particle concentration in the effluent. Such events will require immediate cleaning of the UV-lamp to ensure that the treatment efficiency is restored.
- The level of bacteria in UV treated wastewater has a clear correlation with the concentration of suspended solids in the treated water.
- The pilot test period was too short to evaluate the effect of increased coating on the UV-lamp.
- In order to achieve a good and stable performance of a UV treatment of effluents from wastewater treatment plants, a polishing unit to capture increased suspended solids concentration is necessary.

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 pilot-skala 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).

Litteraturstudium

UV-behandling

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.

Desinfeksjon ved hjelp av UV-lys gir en effektiv inaktivering av de fleste virus, sporer og protozoer. Behandlingen etter-

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

Ozon

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 overførings-effekt. Drift og vedlikehold av anlegget er relativt komplisert i forhold til de andre aktuelle metodene.

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.

Peroksyeddiksyre

Peroksyeddiksyre (Pereddiksyre, engelsk: Peracetic acid eller PAA, kjemisk forbindelse $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) produseres fra eddik-

syre og hydrogenperoksid. I vann vil løsningen foreligge i en masselikevekt mellom peroksyeddiksyre, hydrogenperoksid og eddiksyre (Gehr et al., 2003). Det antas at det hovedsakelig er peroksyeddiksyren som har en desinfiserende effekt på de aktuelle mikrobene.

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 (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.

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 desinfiserings-effekten er liten på sporer og protozoer.

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

Bruk av peroksyeddiksyre eliminerer dannelsen av de fleste, om ikke alle, desinfeksjonsbiprodukter, og det virker ikke som om det genereres giftige forbindelser i utløpet. Ved høye konsentrasjoner vil aldehyder, brom- og klorradikaler og hypobromitt (BrOH) kunne dannes.

Hydrogenperoksid

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

Pilotforsøk

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 behandlings-effektivitet.
- 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 mellomrom. I hver omgang ble det gjort forsøk med behandling av utløpsvann med økende UV-dose. 40 mJ/cm² er forventet nødvendig UV-dose for vann med drikkevannskvalitet (Norsk Vann, 2009), og 140 mJ/cm² 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/cm². 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 med forskjellige konsentrasjoner av suspendert stoff. 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.

Pilotanlegget

Pilotanlegget ble bygget slik at det var mulig å drifte UV-lampen kontinuerlig uten å tilføre nytt vann. Det ble lagt opp til prøvetaking umiddelbart før og etter 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/ redusere beleggdannelse dersom lampen skal brukes for avløpsvann. Lampen forhandles i Norge av Alfsen og Gunderson AS.

Indikatororganismer

I samråd med styringsgruppen for pro-

sjektet, ble følgende indikatororganismer valgt ut for forsøket:

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

Pilotforsøk – resultater

Normal drift

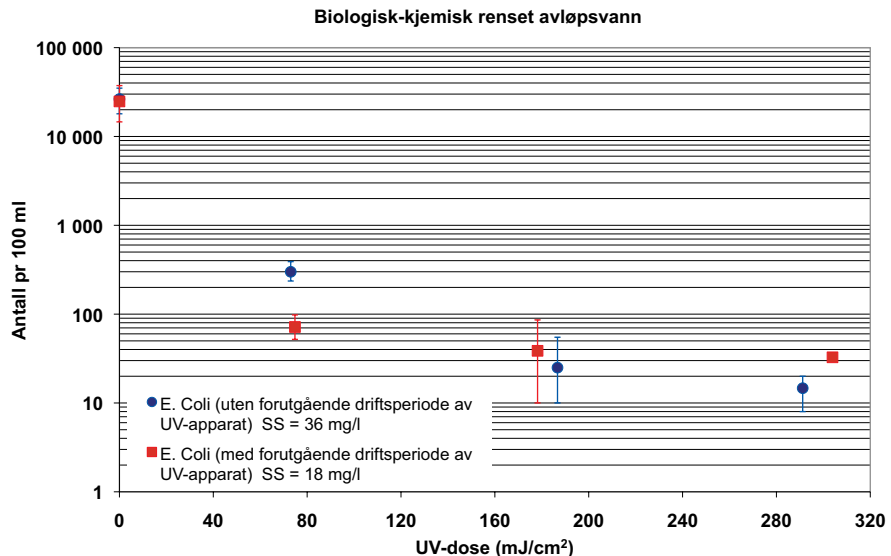
Pilotforsøket simulerte det som kan tilsvare normal drift ved et minirensenanlegg, det vil si utløpsvann med lavt innhold av suspendert stoff. Forsøket ble gjort ved å behandle vannet med flere UV-dosenivåer.

Figur 1 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).

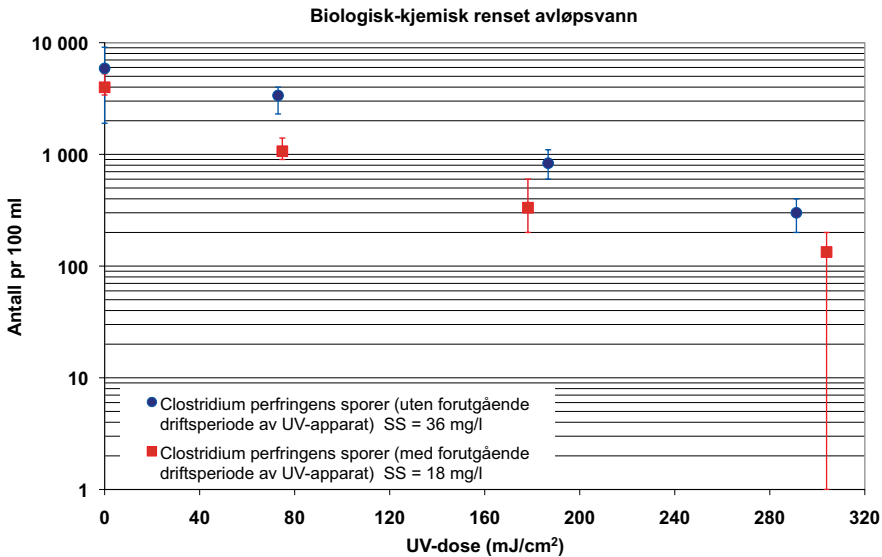
Resultatene viser at ved en UV-dose rundt 80 mJ/cm² reduseres antall *E. coli* til rundt 300 stk/100 ml og 70 stk/100 ml for henholdsvis første og andre forsøksomgang. Økende UV-dose gir også ytterligere reduksjon av antall *E. coli*, men den videre reduksjonen er ikke like stor. Ved høyeste UV-dose 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 2 viser resultatene for reduksjon av *Clostridium perfringens* sporer fra pilotforsøk med normale driftsforhold og økende UV-dose ved de to forsøksomgangene.



Figur 1. Innholdet av *E. coli* med normale driftsforhold i pilotanlegget.



Figur 2. 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.

Forsøk med slamflukt

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

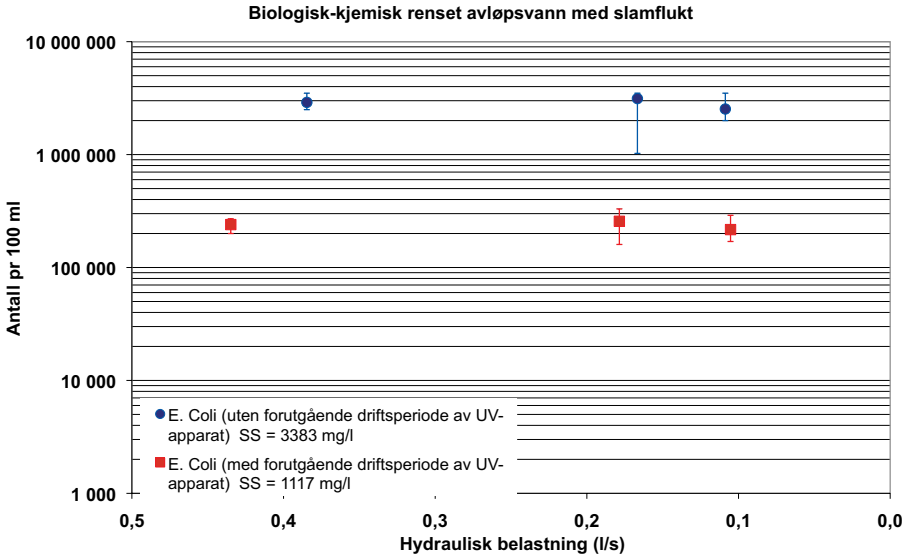
Beregning av UV-dose er avhengig av måling av vannets lys-transmisjon. Ved slamfluktforsøkene var transmisjonen ikke målbar, slik at det ikke var mulig å

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 3 viser resultatene for *E. coli* ved simulering av slamflukt.

Figur 3 viser at antallet *E. coli* i prø-



Figur 3. Innholdet av *E. coli* etter UV-behandling ved simulering av slamflukt.

vene 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 tilsvarende en reduksjon på 27 %. I prøveomgang 2 ble antall *E. coli* redusert fra 316.000 til 237.000 stk/100 ml i anlegget. Det tilsvarende en reduksjon på rundt 25 %.

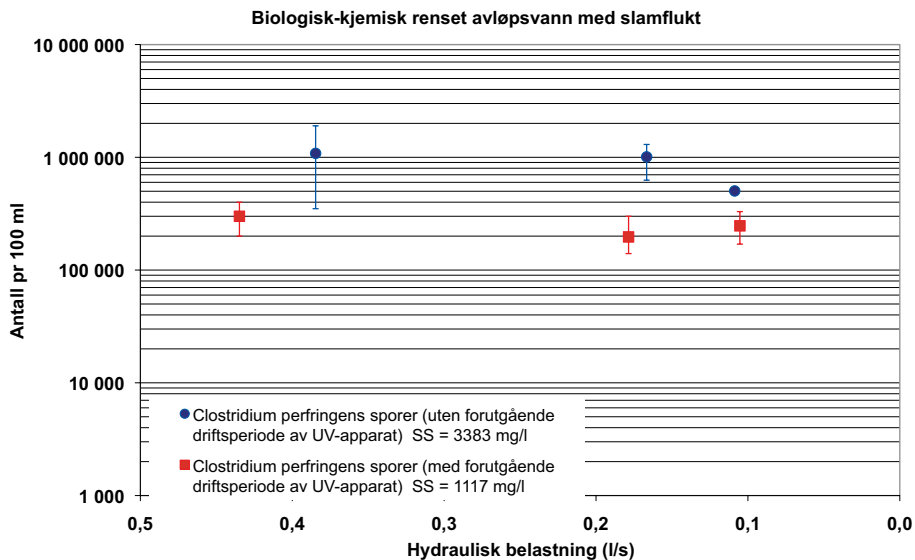
Lys-transmisjonen i vannet ved simulering av slamflukt var i begge omgangene ikke målbar. Resultatene tyder på at ved slamflukt vil reduksjonen av *E. coli* være dårlig. Den prosentvise reduksjonen av *E. coli* er tilnærmet lik i utløpsvann med konsentrasjon av suspendert stoff på rundt 1.000 og 3.000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

duseres selv også ved slamflukt-tilfeller med lavere utslipp av suspendert stoff.

Figur 4 viser resultatene for *Clostridium perfringens* sporer 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 re-



Figur 4. Innholdet av *Clostridium perfringens* sporer etter UV-behandling ved simulering av slamflukt.

duksjon 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.

Beleggdannelse

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

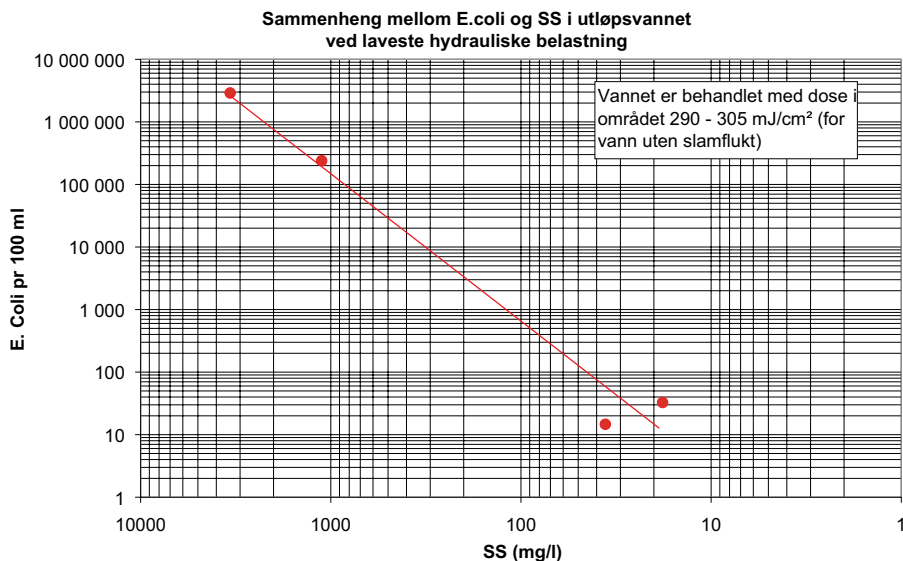
Forsøkene med slamflukt medførte at vann med høy slamkonsentrasjon ble pumpet gjennom lampen. Det kan virke som om dette vannet medførte beleggdannelse på glasset, slik at lampen ikke

ga tilfredsstillende gjennomlysning av vannet før kvartsglasset var rengjort mekanisk.

Sammenheng mellom innhold av suspendert stoff og hygieniseringsgrad

Resultatene fra forsøkene viser at det er en tydelig sammenheng mellom vannets innhold av suspendert stoff og konsentrasjonen av indikatororganismer i utløpet fra pilotanlegget. Figur 5 viser sammenhengen 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.

Trendlinjen er kun lagt inn som en illusjon, men viser at det er en forholdsvis



Figur 5. Sammenheng mellom *E. coli* og konsentrasjon av SS etter UV-behandling.

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.

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 for å gjenopprette behandlingseffekt, 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 minirensningsanlegg, må man ha en etterpolering av avløpsvannet før UV-behandling.

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.
- 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.
- Krogh, T. (2010): Kommentarer til rapport om hygienisering av avløpsvann, Nasjonalt folkehelseinstitutt. E-post korrespondanse 10.09.2010.
- Køhler, J.C. (2006): Hygienisering av rensset avløpsvann fra Odin rensesanlegg, Bioforsk Jord og miljø, Ås, Arkiv nr: 642.2
- Leverenz, H., Darby, J. and Tchobanoglous, G. (2006): Evaluation of 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. E-post korrespondanse 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.