



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Kolofon

Titel:

Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Emneord:

Desinfektion, spildvand, overløbsvand, UV-behandling, kemisk desinfektion, elektrokemisk desinfektion.

Projektmidler:

Projektet er gennemført med støtte fra Tilskudsordningen til Miljøeffektiv teknologi 2010.

Udgiver:

Naturstyrelsen

Ansvarlig Institution:

Krüger A/S

Forfatter:

Kim Sundmark, Krüger A/S
Morten Boel Andersen, Krüger A/S
Anden bidragyder
Henrik R. Andersen , DTU

Sprog:

Dansk

År:

2012

ISBN net:

978-87-92903-17-4

Udgiverkategori:

Statslig

Resumé:

I dette projekt er udført forsøg med desinfektion af spildevand og overløbsvand på tre udvalgte renseanlæg. Formålet har været at demonstrere effektiviteten ved desinfektion med UV-behandling eller kemisk desinfektion med pereddikesyre samt at udvikle et produkt baseret på elektrokemisk desinfektion.

Ansvarsfraskrivelse:

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsen. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand	5
Indledning	5
Lovgrundlag	6
Formål	6
Målgruppe for rapporten	7
Metoder til desinfektion	7
UV-belysning.....	7
Ultrafiltrering	8
Elektrokemisk desinfektion.....	12
Udvalgte teknologier	14
Demonstrationsprojekt.....	14
Udviklingsforsøg	15
Forsøg	15
Forsøgsopstilling	15
Prøveudtagning	18
Måleusikkerhed.....	18
Indløbsdata	19
Afløb renseanlæg.....	19
Overløbsvand	20
Demonstrationsprojekter	20
UV-belysning.....	20
Resultater og diskussion	20
Overløbsvand	21
Konklusion	21
Udløb fra renseanlæg.....	21
Overløb	22
Kemisk desinfektion	22
Udviklingsprojekt	25
Elektrokemisk desinfektion.....	25
Sammenligning af metoder	28
Driftsomkostninger – med vedligehold og afskrivning af anlæg	30
Konklusion	31
Måleusikkerhed.....	31
UV-belysning.....	31
Kemisk desinfektion med pereddikesyre	31
Elektrokemisk desinfektion.....	31
Referencer	32
Bilag 1 Konservering af prøver med natriumsulfit	33
2 Målemetoder DTI	37
3 RWO udviklingsrapport	49
4 Resumé af skitseprojekter	65

Forord

Projektet er udført og finansieret af:

- Hjørring Vandselskab A/S
- Middelfart Spildevand A/S
- Vejle Spildevand A/S
- Krüger A/S
- RWO
- Teknologisk Institut, Aarhus
- Naturstyrelsen, Miljøministeriet

Projektet er yderligere støttet af:

- Spildevandsteknisk Forening
- DANVA

Projektets resultater har dannet grundlag for følgende artikler og posters:

- Jonas Echardt, Kim Sundmark, Electrochemical disinfection of waste water and storm overflows using the Ectosys© Technology, Article, (ikke udgivet)
- Jonas Echardt, Kim Sundmark, Electrochemical disinfection of waste water and storm overflows using the Ectosys © Technology, Poster, AOP6 -6th IWA International conference on Oxidation Technologies for Water and Waste water Treatment

Herudover projektet været præsenteret ved følgende arrangementer:

- Innovationsdag, Vejle 29. september 2011. "Klimaændringer i Danmark kræver nytænkning"
- Spildevandsteknisk Forening, Døgnkursus 5. november 2011

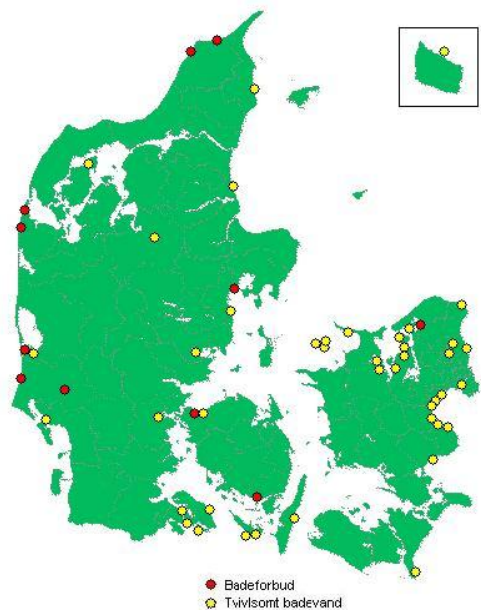
Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Indledning

Den danske vandbranche står overfor mange udfordringer. På den ene side sætter klimaforandringer øget pres på spildevandsinfrastruktur i form af mere intense nedbørshændelser, med større og hyppige aflastninger til følge. På den anden side sætter Vandrammedirektiv og Badevandsdirektivet større krav til vandkvaliteten i recipienterne, dels i form af god økologisk tilstand og dels i form af et hygiejnekrav. Samtidig hermed indføres en Vandsektorlov, hvor der er fokus på økonomisk optimering og effektivisering.

Derudover er der et ønske fra borgerne om at kunne udnytte vores rekreative omgivelser, herunder vores vandmiljøer uden sundhedsfare. Der lægges mere og mere vægt på at kunne lege og bade i forskellige vandmiljøer, f.eks. strande, havnebade, åer, søer mv. Projekter, som havnebade i København, Århus Å projekt, badestrand i havnen i Holbæk, nyt havnebad i Faaborg, er blot et fåtal af projekter, der viser, at samfundet inddrager vandmiljøer på en ny måde. En ny måde, der igen sætter krav til spildevandsinfrastrukturen, om at medvirke til at højne vandkvaliteten og dermed mindske sundhedsfare ved kontakt med vand i naturen.

På Figur 1 ses de steder i 2009 i Danmark, der dels havde fået badeforbud og dels havde fået betegnelsen tvivlsomt badevand.



Det fremgår af figuren, at der er mange steder, hvor der var tvivlsomt badevand (44 steder) og 13 steder, hvor der var badeforbud. Derudover var der i 2009 mere end 30 badesteder, der mistede det blå flag.

Figur 1: Badesteder med badeforbud (rød) og med betegnelsen tvivlsomt badevand (gul).

I efterfølgende tabel ses udviklingen i tvivlsomt badevand (steder under observation) og badeforbud i Danmark i perioden 1990 til 2009.

Tabel 1: Udviklingen i tvivlsomt badevand og i badeforbud i Danmark. Perioden 1990 til 2009. /By- & Landskabsstyrelsen/.

Årstal	Antal målestationer	Antal steder under observation	Antal badeforbud
1990	1370	70	49
1991	1338	70	38
1992	1307	54	28
1993	1282	55	21
1994	1288	33	21
1995	1301	54	20
1996	1299	57	19
1997	1310	18	17
1998	1307	45	18
1999	1307	30	17
2000	1295	28	17
2001	1279	17	15
2002	1275	38	15
2003	1269	30	16
2004	1256	23	16
2005	1249	10	14
2006	1258	20	14
2007	1259	34	14
2008	1271	65	14
2009	1260	44	13

Af ovenstående tabel fremgår det, at der i perioden 1990 til 2009 har været et meget varierende antal målesteder i Danmark, hvor der enten er tvivlsomt badevand eller et badeforbud. Antallet de sidste par år har ligget over 50 steder, hvilket ikke inkluderer de steder, hvor det blå flag er mistet. Generelt er antallet dog reduceret siden 1990.

Årsagerne til den manglende hygiejniske kvalitet af badevandet, som det ses af data præsenteret i figur 2.1 og tabel 2.1, er dels udledninger fra renseanlæg og dels aflastninger fra overløbsbygværker i forbindelse med regnhændelser.

Lovgrundlag

De nuværende krav til den hygiejniske kvalitet af badevand, er fastsat i EUs Badevandsdirektiv - Rådets direktiv 2006/7/EF af 15. februar 2006, om forvaltning af badevandskvalitet. Dette direktiv er i dansk lovgivning indført ved en tilhørende dansk "Bekendtgørelse om badevand og badeområder" nr. 1283 af 15. december 2011, hvori der fastsættes krav til antallet af bakterier i vandet på lokaliteter udlagt til badeformål i kommuneplan, samt øvrige områder, hvor der findes badevand.

Som indikatorbakterier anvendes:

- Intestinale Enterokokker (forkortes til Enterokokker)
- *Escherichia coli* (forkortes til *E.coli*)

Anførte værdier af bakterier er gældende i fersk- og havvand, som i almindelighed anvendes til badning. Der behøver således ikke være defineret en officiel lokalitet for badning, for at kravene er gældende.

Der er for badevand fastlagt følgende kvalitetskrav:

Parameter	Enhed	Udmærket kvalitet	God kvalitet	Tilfredsstillende kvalitet
Enterokokker	cfu/100 ml	200 ¹⁾	400 ¹⁾	330 ²⁾
<i>E.coli</i>	cfu/100 ml	500 ¹⁾	1.000 ¹⁾	900 ²⁾

Tabel 2: Kvalitetskrav til ferskvand

Parameter	Enhed	Udmærket kvalitet	God kvalitet	Tilfredsstillende kvalitet
Enterokokker	cfu/100 ml	100 ¹⁾	200 ¹⁾	185 ²⁾
<i>E.coli</i>	cfu/100 ml	250 ¹⁾	500 ¹⁾	500 ²⁾

Tabel 3: Kvalitetskrav til havvand (kystvande og overgangsvande)

¹⁾ Ud fra en vurdering af 95% fraktilen

²⁾ Ud fra en vurdering af 90% fraktilen

Der henvises supplerende til Bek. 1283 af 15. december 2011, med bilag, for en nærmere beskrivelse af, hvorledes bedømmelsen af badevandet foretages.

Formål

Hovedformålene i projektet er følgende:

<p>At</p> <ul style="list-style-type: none"> - demonstrere mulig anvendelse og sammenligne kendte og nye teknologier til desinfektion af dels rensed spildevand og dels overløbsvand - fastlægge nødvendig dosis og øvrige krav for at opnå en ønsket desinfektion - udvikle ny teknologi til desinfektion - Vurdere målesikkerhed på de anvendte metoder til bestemmelse af <i>E.coli</i> og Enterokokker - Optimere nuværende anvendte metode til bestemmelse af bakte-reindhold i badevand

Der findes på markedet en række teknologier og produkter, som anvendes til desinfektion i især industrien og dambrug.

På spildevandsområdet er der – indtil 2010 - alene anvendt desinfektion med UV-behandling, og der er supplerende udførte enkelte forsøg med andre metoder.

Det har været vores ønske, at udvælge de umiddelbart mest optimale metoder til desinfektion af spildevand. Efterfølgende at fastlægge dosis, opholdstid mv. for at opnå en desinfektion, som kan medføre overholdelse af badevandskrav på lokaliteter belastet af rensset spildevand og evt. overløb fra overløbsbygværker.

Målgruppe for rapporten

Målgruppen for den foreliggende rapport er personer, som i sit praktiske arbejde, med drift eller planlægning på spildevandsområdet, ønsker viden om muligheden for desinfektion af spildevand, samt de hermed forbundne omkostninger til anlæg og drift.

Metoder til desinfektion

Efterfølgende oplystes vurderede teknologier til desinfektion:

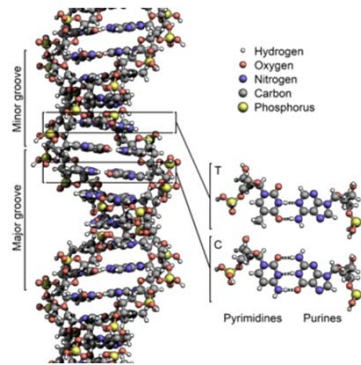
- **UV-belysning**
- **Ultrafiltrering**
- **Kemisk desinfektion – Oxidation**
- **Elektrokemisk desinfektion**

UV-belysning

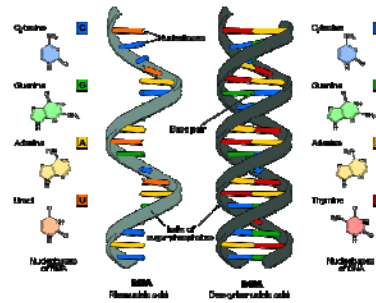
Ved UV-belysning opnås desinfektionen ved at lyset, i form af fotoner, rammer molekyler i hhv. DNA og RNA, som polymeriserer og herved forhindrer celledeling.

DNA, som i bakterier er bærer af koden til arvemassen, er opbygget af nukleinsyrerne Adenin (A), Guanin (G), Thymin (T) og Cytosin (C).

Den indbyrdes rækkefølge og placeringen af nukleinsyrerne bestemmer organismens udseende og egenskaber. Tilsvarende gælder for vira, at arvemassen gemmes i hhv. DNA og RNA.

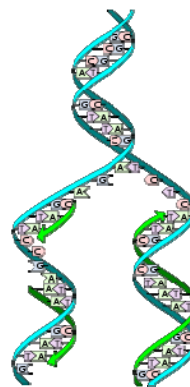


Figur 2: DNA-struktur med viste nukleinsyrer i spiralstruktur, med eksempler på placering af nukleinsyrerne (A), (T), (G) og (C).



Figur 3: Forskellen mellem RNA og DNA .

Ved belysning med UV-lys sker der en kemisk reaktion i molekylet, som medfører, at der dannes krydsbindinger mellem især to Thymin (T) nukleinsyrer eller to Cytosin (C) nukleinsyrer - såkaldte Pyridindimerer og Thymindimerer. Herved hindres den kodning, som kræves for at kopiere RNA og DNA til en ny celle.



Figur 4: Eksempel på celledeling med kopiering af DNA.

UV-lys ødelægger samtidig de primære, sekundære og tertiære strukturer i proteiner, hvorved proteinernes funktion i cellen fjernes. UV-lys ødelægger således den rumlige struktur i proteiner, uden at ændre proteinmolekylers opbygning.

Fotoreaktivering

Ved at skade DNA'et, skulle cellen ikke kunne formere sig, men der findes enzymer i cellerne, som vil forsøge at reparere evt. skader. Enzymet binder sig til skadet DNA. Ved lyspåvirkning med bølglængder mellem 350 og 500 nm spaltes enzymet den covalente binding mellem f.eks. to pyrimidiner og fraspaltes sig herefter igen fra DNA'et.

Der findes tilsvarende mekanismer for reparation af DNA/RNA uden lyspåvirkning – såkaldt "dark repair".

Det er ved forsøg vist, at der kan opnås en fotoreaktivering med en genvækst, ved belysning med synligt lys. Det er således væsentligt at opnå en effektiv UV-dosis og dermed effektiv ødelæggelse af DNA, for at sikre, at mikroorganismen ikke kan formere sig igen.

Den opnåede effekt ved fotoreaktivering vil afhænge af den lyspåvirkning, som vandet efterfølgende udsættes for. Det har ikke været muligt at finde oplysninger på forventet reaktivering i naturlige systemer. Vi har i dette projekt valgt at antage 10 gange reaktivering, hvilket må antages at give en stor sikkerhed ved de anvendte doser.

Ved UV-belysning opnås således ikke ødelæggelse af cellekernen og døde bakterier, men at bakterierne i stedet gøres "sterile" og dermed ikke kan formere sig.

Da den sygdomsfremkaldende effekt af bakterier og vira er baseret på en stor vækst i den udsatte person, medfører "sterilisationen" af bakterier/vira, at indtag af UV-behandlet vand ikke er sygdomsfremkaldende - på trods af at bakterierne ikke er døde.

Ultrafiltrering

Ved ultrafiltrering foretages en fjernelse af bakterier ved en simpel filtrering over en

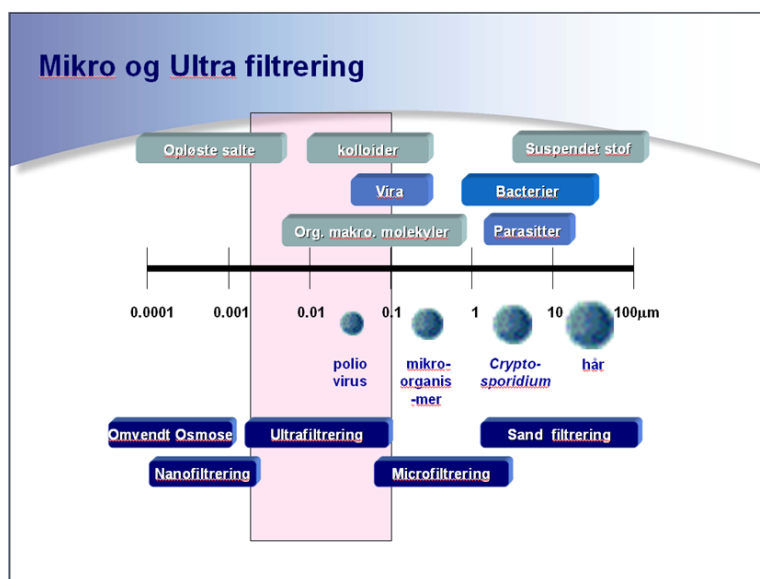
membran, hvor hullerne blot er mindre end de bakterier og vira, som ønskes fjernet.

Som det ses af figuren, vil de fleste vira og bakterier fjernes ved ultra-filtrering, med en hulstørrelse op til 0,1 μm ($0,1 \times 10^{-6} \text{ m}$). Det kan bemærkes, at vira typisk er 10–100 gange mindre end bakterier.

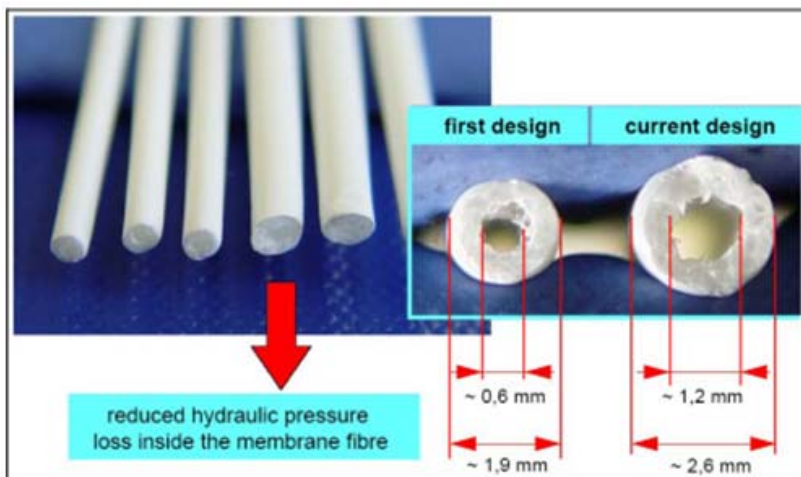
Filtre kan være udformet som plader eller tynde "spaghetti-rør", og drives normalt med et differenstryk på op mod 0,5 mVs.

Som det ses af figuren, vil de fleste vira og bakterier fjernes ved ultra-filtrering, med en hulstørrelse op til 0,1 μm ($0,1 \times 10^{-6} \text{ m}$). Det kan bemærkes, at vira typisk er 10–100 gange mindre end bakterier.

Filtre kan være udformet som plader eller tynde "spaghetti-rør", og drives normalt med et differenstryk på op mod 0,5 mVs.



Figur 5: Eksempel på filtreringseffekt som funktion af hulstørrelse.



Figur 6: Eksempel på Ultra-filtre.

Med et tilstrækkeligt fint filter, vil vandet kunne betragtes som bakterie- og vira-frit. Denne metode er således meget effektiv for opnåelse af desinfektion, men desværre også meget bekostelig i etablering samt drift.

Ultrafiltrerings-anlæg til behandling af 10–20 m³/time koster overslagsmæssigt 2-4 mio. kr., og der kan antage omkostninger til drift på 1-3 kr./m³. Metoden anses derfor ikke for anvendelig på nuværende tidspunkt, begrundet i de høje anlægs- og driftsomkostninger.

Metoden er ikke anvendt under forsøgene og beskrives ikke yderligere.

Kemisk desinfektion - Oxidation

Generelt anvendes en række oxidationsmidler til desinfektion, og her beskrives kort:

- Hypoklorit
- Klordioxid
- Ozon
- Brintperoxid
- Permyrsyre
- Pereddikesyre

Ved kemisk desinfektion antages den desinficerende effekt at opstå ved, at cellemembranen ætzes. Det forventes, at oxidationen ødelægger proteiner og fedtsyrer i cellevæggen, hvorved cellevæggen ødelægges og cellen går til grunde.

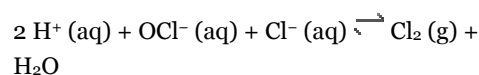
Dette er i overensstemmelse med, at der ikke registreres en genvækst af mikroorganismer efter kemisk desinfektion

Der er således ingen effektive reparationsmekanismer ved kemisk desinfektion, som det er gældende ved UV-belysning.

Da der ikke forekommer reaktivering, ved kemisk desinfektion, har vi i dette projekt valgt at målsætte desinfektion med kemisk oxidation og elektrokemi til en faktor 10 højere end ved UV-belysning.

Hypoklorit

Den mest anvendte hypoklorit er natriumhypoklorit - NaOCl, som i vandig opløsning er i en ligevægt med frit klor.



Som det fremgår af ligevægten, vil en opløsning af natriumhypoklorit være basisk og frigive frit klor.

Kloring er en gammel teknologi, som er meget effektiv til reduktion af mikroorganismer. Kloring medfører en kemisk oxidation af mikroorganismernes cellevægge, hvorved mikroorganismene dør. /ATV-Regelverks 2003/.

Klor er meget reaktivt og vil i spildevand reagere med vandets indhold af både uorganiske og organiske forbindelser. Ved reaktion med stoffer som alkoholer, humussyrer og fenoler kan dannes klorfenoler, trihalometaner og AOX. Da flere af de dannede forbindelser er

kræftfremkaldende, vurderes klorning af spildevand ikke med OH⁻-ioner i vandet. Der dannes herved et som en attraktiv behandlingsform i Danmark.

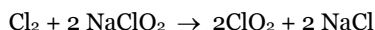
Metoden anvendes derfor ikke ved de gennemførte forsøg.

Klordinoxid

I de senere år er det forsøgt at anvende kloridoxid som alternativ til hypoklorit.

Ved brug af klordinoxid undgås dannelsen af frit klor, men molekylet er, som det gælder for permyrsyre, ustabil og må produceres på forbrugsstedet.

Klordinoxid dannes ved at blande klor (Cl₂) med natriumklorit i sur opløsning.



Klordinoxid er en eksplosiv gas, men stabil i vandig opløsning, hvis det ikke udsættes for lys, høj temperatur eller basiske forhold.

Til forsøg har det ikke været hensigtsmæssigt at skulle anvende ustabile kemikalier, som blandes under særlige sikkerhedsforhold. Da produktet desuden kan udgøre en væsentlig fare i arbejdsmiljøet, er dette kemikalie ikke vurderet at være attraktivt.

Anvendelse af klordinoxid til desinfektion er derfor ikke yderligere belyst i rapporten.

Ozon

Det er muligt at anvende Ozon (O₃) til reduktion af mikroorganismer i spildevand på tilsvarende måde, som med klor.

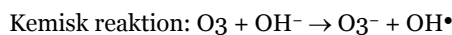
Ozon er et meget reaktivt iltningmiddel, med et standardpotential i forhold til andre oxidationsmidler:

Ozon	2,07 V
Brintperoxid	1,78 V
Hypoklorit	1,49 V
Klor	1,36 V

Ozon er således det kraftigste normalt anvendte iltningmiddel.

Oxidation med ozon virker enten direkte ved en reaktion med O₃, eller ved et reaktionsprodukt

OH-radikale, som er uhyre reaktivt.



OH-radikaler har et potential på 2,8 V, og har således et højere potentiale end O₃. OH-radikalers høje reaktivitet medfører kort levetid og samtidig mulighed for at reagere med andre stoffer end bakteriecellerne.

For at reducere hastigheden for dannelsen af OH-radikaler, og dermed mindske forbruget af ozon til andre reaktioner, bør pH således holdes lav for at opnå bedst desinfektion.

Celle-inaktiveringsprocessen med ozon er ikke fastlagt. Det antages, at ozon ødelægger proteiner og fedtsyrer i cellevæggen, hvorved cellevæggen ødelægges og cellen går til grunde.

I efterfølgende tabel angives en forventet dosis af ozon, for at opnå en ønsket reduktion af mikroorganismer. Der er angivet den tilførte ozonmængde, samt opholdstid for de opnåede reduktioner.

	Reduktion	Dosis	Opholdstid
Total Coli	99,9%	15 mg/l	10 min
Fækal Coli	99,9%	15 mg/l	10 min
Pseudomonas	99,9%	15 mg/l	10 min
Streptokokker	99,9%	10 mg/l	15 min
Clostridium	90%	10 mg/l	10 min
Giardia	90%	15 mg/l	10 min
Vira	99,9%	10 mg/l	10 min

Tabel 4: Reduktion af mikroorganismer ved zondosis og opholdstid i reaktionskammer.

I relation til reduktion af mikroorganismer med UV er det bemærkelses-værdigt, at ozon er meget mere effektivt overfor reduktion af vira. Dette antages at hænge sammen med, at ozon virker på cellevæggen, mens UV-lys overvejende reagerer med cellekernen.

Ozon produceres på forbrugsstedet ud fra atmosfærisk luft, eller ud fra ren ilt.

Ved anvendelse af ozon bør man være meget opmærksom på de effekter, der kan opstå i arbejdsmiljøet. Ozon er særdeles giftigt, og anlæg skal derfor altid overvåges med online-måling af ozon i luften.

Ved etablering af anlæg, skal man ved valg af materialer være meget opmærksom på ozonets stærkt korroderende effekt.

Da ozon-anlæg er bekostelige i anlæg og samtidig er relativt dyre i drift, pga. strømforbrug og stærk korrosion af maskinkomponenterne, anses metoden ikke generelt for optimal, ved behandling af spildevand.

Metoden anvendes derfor ikke ved de gennemførte forsøg.

Brintperoxid

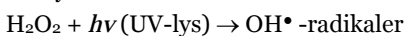
Brintperoxid – H_2O_2 - er tilsvarende ozon et effektivt oxidationsmiddel, som kan anvendes til desinfektion.

Brintperoxid reagerer via dannede OH-radikaler, som reagerer meget hurtigt, men desværre er det nødvendigt at "aktivere" H_2O_2 , for at danne radikalerne.

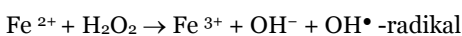
Uden "aktivering", er det fundet, at brintperoxid har en halveringstid i ferskvand på ca. 8 timer og i saltvand på ca. 16 timer.

Katalyseringen, til dannelsen af radikaler, kan ske med enten UV-lys eller med jern (Fe^{2+}) ved Fentons reaktion.

UV-lys



Fentons reaktion



Der har tidligere været defineret et udlederkrav fra Miljøstyrelsen, således at vand behandlet med brintperoxid maksimalt må indeholde 10 $\mu\text{g/l}$, ved udledning til recipient.

Da anvendelse af brintperoxid altid vil medføre, at der vil udledes en lille mængde til recipienten, er det vigtigt at der opnås en effektiv omsætning af brintperoxiden.

Desinfektion af spildevand med brintperoxid vil normalt kræve, at processen katalyseres med UV-lys eller jern, for at opnå en tilstrækkelig omsætning, til at opnå en næsten fuldstændig omsætning af brintperoxid.

Brintperoxid finde også i andre produkter baseret på H_2O_2 f.eks. pereddikesyre og permyresyre, så problematikken om næsten fuldstændig omsætning af H_2O_2 er således også aktuel for disse produkter.

Etablering af anlæg med brintperoxid, i kombinationen med UV-lys, vil umiddelbart være bekostelige og ikke praktisk attraktive, da UV-lys alene vil kunne sikre en ønsket desinfektion. Tilsætning af jern til vand, som udledes til recipienten, vil ikke være acceptabelt.

Ved gennemløb af f.eks. et sandfilter, efter behandling med brintperoxid, har det vist sig, at bakterier ved udsendelse af et enzym (katalase), er i stand til at omsætte brintperoxid, svarende til en udledning under udlederkrav på 10 $\mu\text{g/l}$. En sandfiltrering, eller tilsvarende, synes således at løse problemet med omsætning af brintperoxid.

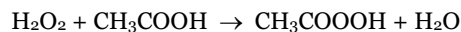
Krav til "aktivering" af brintperoxid medfører, at processen ikke vurderes at være attraktiv til desinfektion af spildevand.

Anvendelse af brintperoxid til desinfektion, er ikke yderligere belyst i rapporten.

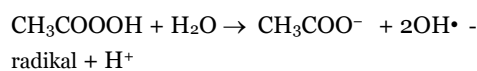
Pereddikesyre

Pereddikesyre er et kraftigt desinfektionsmiddel, og har i en række år været testet på en række renseanlæg, til desinfektion af råspildevand eller biologisk rensset spildevand, og er fundet meget egnet.

Pereddikesyre produceres ud fra brintperoxid og eddikesyre ved følgende reaktion:



Oxidations-reaktionen med pereddikesyren er ikke beskrevet i litteraturen, men et bud kunne være:



Der kan opnås en betydelig desinfektion, med en reduktion af bakterietallet, med 2–3

log ved en dosis på ca. 4 g Pereddikesyre/m³ og en opholdstid på 4–10 minutter.

Desinfektion med pereddikesyre vil øges ved højere temperatur.

Pereddikesyre kan leveres fra en række producenter i en stabil opløsning til dosering i spildevand. Der er en maksimal koncentration af Pereddikesyre på ca. 15% i en lagerstabil opløsning. Øges koncentrationen bliver pereddikesyren ustabil og dekomponerer.

Produktet er relativt let at håndtere. Handelsvaren betegnes som brandnærende da kemikaliet frigiver ilt ved kraftig opvarmning.

Der skal ved anvendelse bruges normale værnemidler da kemikaliet er ætsende og sundhedsskadeligt ved indånding.

Produktet er fundet meget egnet til desinfektion af spildevand, da tests viser, at desinfektion med pereddikesyre ikke medfører dannelse af giftige eller mutagene biprodukter i væsentlig mængde.

Pereddikesyre er udvalgt som kemisk desinfektionsmiddel til anvendelse i dette projekt, da kemikaliet forventes at være effektivt og samtidig er enkelt at håndtere.

Det forventes at erfaringer med pereddikesyre vil kunne overføres til tilsvarende oxidationsmidler, såfremt det efterfølgende vurderes at andre produkter kan være attraktive.

Permyresyre

Der er i de seneste år udviklet et koncept, for etablering af desinfektion med permyresyre på renseanlæg.

Permyresyre virker kraftigt desinficerende, men er samtidig et ustabil molekyle, hvorfor det må produceres på forbrugsstedet og blandes lige inden anvendelsen.

Produktet må forventes at være effektivt ved en lav dosis af permyresyre, men indholdet af restmængder af H₂O₂ må, som ved anvendelse af brintperoxid H₂O₂ og pereddikesyre vurderes.

Da produktet skal blandes på forbrugsstedet, er det ikke fundet egnet til det foreliggende forsøg.

Anvendelse af permyresyre til desinfektion er ikke yderligere belyst i rapporten.

Elektrokemisk desinfektion

Elektrokemisk desinfektion kan benyttes til desinfektion af spildevand, idet der etableres en elektrolytisk celle med jævnstrøm.

Processen fungerer ved, at der ved hhv. anode og katode sker en overførsel af elektroner, som resulterer i dannelsen af radikaler og oxidationsmidler (AOX). Radikaler og oxidationsmidler reagerer med bakterier/vira i vandet, hvorved den desinficerende effekt opnås.

Elektrokemisk desinfektion fungerer ved følgende tre mekanismer:

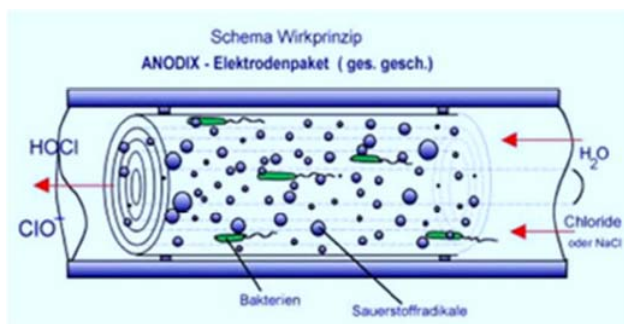
Direkte oxidation/reduktion på elektrodeoverflader

Indirekte oxidation ved dannelse af oxidationsmidler ved anoden

Dannelse af residual-stoffer, som opstår ved øvrige reaktioner

Oxidation

I den anvendte proces, med direkte/indirekte oxidation, anvendes Boron Doped Diamond elektroder (BDD), da disse er meget effektive til dannelse af radikalerne OH, O, HO₂ og molekylerne bl.a. H₂O₂, Cl₂ og HClO.



Figur 7: Virkning af elektrokemisk oxidation.

Elektrode	Proces	Bemærkninger
Anodisk produktion af ozon	(1) $2\text{OH}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + [\text{O}]$ (2) $2 [\text{O}] \rightarrow \text{O}_2$ (3) $[\text{O}] + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$	Ved anoden produceres aktive iltatomer (1), der reagerer videre under dannelse af både ilt og ozon (Patermarakis & Fountoukidis, 1990)
Anodisk produktion af radikaler	(1) $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HO}_3^+ + \text{OH}^-$ (2) $\text{HO}_3^+ + \text{OH}^- \rightarrow 2 \text{HO}_2^\bullet$ (3) $\text{O}_3 + \text{HO}_2^\bullet \rightarrow \text{OH}^\bullet + 2\text{O}_2$	Den ozon, der genereres ved anoden, reagerer videre med vand under dannelse af frie radikaler, hvoraf hydroxylradikaler er et særdeles kraftigt oxidationsmiddel (Patermarakis & Fountoukidis, 1990)
Anodisk produktion af hypoklorit	(1) $2\text{Cl}^- + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2$ (2) $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$	Ved anoden vil der ske oxidation af klorid til klor, der reagerer videre med vand til hypoklorit og saltsyre (Patermarakis & Fountoukidis, 1990)
Katodisk produktion af brintperoxid	(1) $\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	Under let-sure forhold vil der ved katoden ske en dannelse af brintperoxid ud fra ilt (Patermarakis & Fountoukidis, 1990)

Tabel 5: Eksempler på elektrodereaktioner ved anvendelse af elektrokemi på spildevand.

Klorid-indholdet i det behandlede vand har betydning for den opnåede desinfektion, idet desinfektionsgraden stiger væsentligt ved stigende klorid-koncentration. Dette svarer til, at dannet Cl_2 og HClO kan bidrage væsentligt til desinfektionen.

Desinfektion er 3 gange hurtigere ved $\text{pH} = 6$, end ved $\text{pH} = 8$, og da HClO er et kraftigere desinfektionsmiddel ved lavere pH , tyder dette på, at desinfektionen overvejende skyldes dannelse af Cl_2 .

Selv om de dannede radikaler, som OH^\bullet -radikalet, er et ca. 10^5 kraftigere oxidationsmiddel end Cl_2 , viser forsøg, at de klorerede forbindelser er mest betydende, såfremt der er klorid tilstede i det behandlede vand.

Dannelsen af klorforbindelser medfører en risiko for dannelse af organisk bundne halogener – i dette tilfælde – klorforbindelser.

I vand uden klorid, sker der stadig en desinfektion, men denne forløber langsommere. Målinger viser, at desinfektionen her hovedsagelig sker ved dannelsen af brintperoxid.

BDD-anoderne har den fordel, at de producerer en mindre mængde af klorerede forbindelser end andre elektroder, hvorfor de anses for bedre egnede til desinfektion af spildevand.

Udvalgte teknologier

I det foreliggende projekt, er det valgt, dels at afprøve kendte teknologier med begrænset udbredelse i Danmark, dels deltage i udvikling af ny teknologi for desinfektion af rensset spildevand og overløbsvand fra overfaldsbygværker.

Vil har udvalgt følgende teknologier til det foreliggende demonstrations- og udviklingsprojekt:

Demonstrationsprojekt:
- UV-belysning
- Kemisk desinfektion – Pereddikesyre
Udviklingsprojekt:
- Elektrokemisk desinfektion

Demonstrationsprojekt

I demonstrationsprojektet afprøves UV-belysning og kemisk desinfektion i form af pereddikesyre.

UV-belysning

UV-belysning anvendes på nuværende tidspunkt på 2 renseanlæg i Danmark (Hørsholm og Vejle) samt på overfaldsbygvæk i København (Scherfigsvej).



Figur 8: Eksempel på UV-standardanlæg til rensning af spildevand.

Da UV-belysning har en beskeden udbredelse, er det fundet relevant at undersøge, om normalt anvendte doser er optimale i dansk spildevand med forskellig kvalitet.

Forskelle i størrelse, cellevæg og cellevæske i bakterier og vira medfører, at følsomheden overfor UV-belysning er forskellig, hvorfor den nødvendige dosis er varierende.

Der er internationalt stor erfaring med den nødvendige dosis for udvalgte bakterier/vira. Efterfølgende er anført normal designdosis for udvalgte bakterier, vira og svampe.

	90% Reduktion 10 x = 90% Dosis Ws/m ²	99% Reduktion 100 x = 99% Dosis Ws/m ²	99,9% Reduktion 1000 x = 99,9% Dosis Ws/m ²
Total coli	100	200	300
Fækale coli	100	200	300
Salmonella	100	200	300
Stafylokokker	150	450	
Enterokokker	150	300	450
Cryptosporidium	150	300	450
Giardia	150	300	450
Vira – Hepatitis A*	100	200	300
Vira – Adenovirus*	500	1.000	1.500
Svampe og sporer	500		

* Der er meget stor variation i nødvendig dosis for reduktion af vira.

Tabel 6: Typiske design doser, for reduktion af udvalgte mikroorganismer.

Det ses af tabellen, at det er lettest at opnå en reduktion af Coliforme og Salmonella (Gram negative bakterier). Sværere er stafylokokker og enterokokker (Gram positive bakterier) samt Cryptosporidium og Giardia (parasitter), mens svampe og sporer kræver den højeste UV-dosis. /ATV Regelværk 2003, s12/.

Ved udvælgelse af forsøgsbetingelser med UV-belysning, er der taget udgangspunkt i ovenstående tabel over forventede doser.

Kemisk Oxidation – Pereddikesyre

Som den senest indførte metode i Danmark, til desinfektion af spildevand, udvælges kemisk desinfektion med Pereddikesyre.

Valget af pereddikesyre er baseret på et kendt og effektivt oxidationsmiddel. Vi har haft fokus på at anvende et oxidationsmiddel uden indhold af klor, for at undgå evt. dannelse af uønskede klorerede organiske forbindelser.

Ved udvælgelse af handelsvare, har vi fokuseret på et højt indhold af Pereddikesyre og et minimalt indhold af brintperoxid, da der ved brug stilles krav til udløbskoncentrationen af restmængder af brintperoxid til recipienten.

I forbindelse med forsøg, har det været vigtigt, at vi har kunnet anvende et stabilt produkt, som ikke skulle produceres på stedet.

Det anvendte produkt er relativt enkelt at håndtere arbejdsmiljømæssigt og da det samtidig er frostsikkert ned til -50°C , er det enkelt at håndtere, ved forsøg samt ved permanent drift.

Det har været vores tanke at anvende pereddikesyre, som repræsentant for kemisk oxidation og opnå viden om, hvorledes det virker i forskellige driftssituationer. Viser det sig efterfølgende, at der fremkommer oplysninger, som gør, at et andet produkt foretrækkes, vil det være relativt enkelt at skifte til et andet produkt og samtidig anvende erfaringerne fra de udførte forsøg.

Udviklingsforsøg

For opnåelse af elektrokemisk desinfektion, har vi valgt at basere forsøg på udstyr udviklet til desinfektion af ballastvand til skibe.

Elektrokemisk desinfektion har vist sig meget effektivt til behandling af ballastvand, og det er derfor oplagt at forsøge med tilsvarende udstyr til behandling af spildevand.

Der er dog væsentlig forskel på de to vandtyper, idet de hver især kendetegnes ved:

Havvand

- Højt kloridindhold, høj ledningsevne, lave bakterietal

Spildevand

- Lavt kloridindhold, lav ledningsevne, høje bakterietal, højt kalkindhold

Da de to vandtyper er meget forskellige, forventer vi, at den lave ledningsevne i spildevand, samt lavt kloridindhold vil medføre behov for et større energiinput, end ved behandling af ballastvand.

Ved anvendelse på spildevand forventes ligeledes risiko for tilstopning samt udfældninger på de anvendte elektroder.

Forsøg

Forsøgsopstilling

Da det er valgt at udføre forsøgene med de udvalgte teknologier på tre renseanlæg, med et flow på $10\text{ m}^3/\text{time}$, for at opnå realistiske forsøgsbetingelser, blev det valgt at etablere testinstallationen i en container, således at flytning af anlægget blev enkelt.

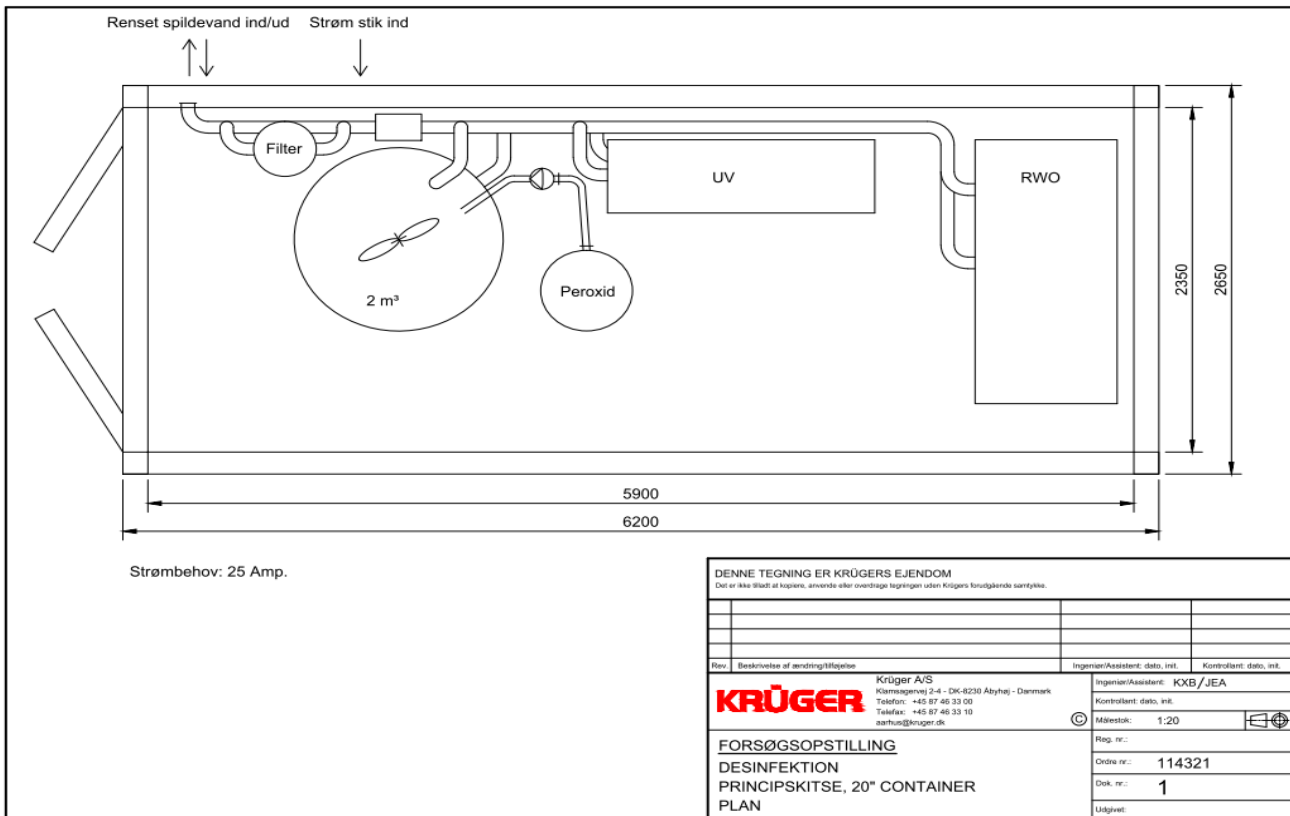


Figur 9: Test-container samt 10 m^3 tank for håndtering af overløbsvand.

Containeren blev bestykket på forhånd med el-tavle, tilløbspumpe, flowmåling, selvrensende filter ($10\text{-}200\ \mu\text{m}$), rørføringer, ventilomstillinger samt de tre teknologier:

- UV-belysning
- Kemisk oxidation med pereddikesyre
- Elektrokemisk oxidation

Til behandling af overløbsvand, blev der etableret en 10 m^3 tank, med omrøring for tilkørsel af overløbsvand fra lokale regnvandsbassiner.



Figur 10: Skitse med indretning af test-container.

UV-belysning

Til gennemførelse af forsøg blev anvendt udstyr fra Xylem (tidl. Wedeco), bestående af et tryksat anlæg med UV-lamper og lysintensitetsmåling. Til forsøg blev anvendt produkterne LBX 10 (ca. 0,9 kW) samt LBX 3 (ca. 0,3 kW) for at opnå så stor en variation i dosis som muligt.

Da de benyttede anlæg kun har én lystyrke, er dosis varieret ved at anvende forskelligt flow. Ud fra målt transmission i vandet, er den aktuelle dosis beregnet af tekniker fra Xylem. Efter gennemløb af UV-anlægget, blev der udtaget 100 ml prøver for bakteriemålinger via en ventil for prøveudtagning



Figur 11: Forsøgsopstilling med UV-anlæg fra Xylem (Wedeco)

Kemisk oxidation med pereddikesyre

Forsøg med dosering af pereddikesyre blev udført i en 1 m³ reaktionstank med omrøring. Tanken blev fyldt med spildevand, og den valgte mængde pereddikesyre blev herefter tilsat under omrøring.

Desinfektionsudstyret bestod af et rør, hvor der i hvert af fire tværsnit, var placeret 2 stk. katoder i stål, samt 1 stk. bordoteret diamantbelagt anode.



Figur 102: 1 m³ reaktionstank med forfilter, flowmåling og rørinstallation.

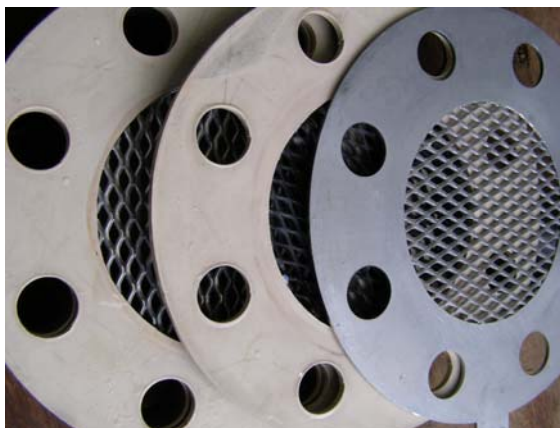
Efter den valgte reaktionstid i tanken, blev der udtaget prøver i 250 ml prøveflasker for bakteriemålinger. Prøveflaskerne var forinden tilført en opløsning af natriumsulfit, til fjernelse af evt. restmængder af oxidationsmiddel.

Der blev ved start af forsøgsfasen udført forsøg med forskellige doser af natriumsulfit for udvælgelse af optimal mængde. Se bilag 1.

Elektrokemisk oxidation

Elektrokemisk desinfektion blev under forsøget udført med en forsøgsopstilling fra RWO, med produktet Ectosys med en kapacitet på 10 m³/time.

A



B



Figur13: Katoder og anode for kemisk desinfektion (A) og Testanlæg (B).



Figur 14: Testanlæg for elektrokemisk desinfektion – Elektrokemiske celler.

Der kunne mellem hvert elektrodepar fastsættes en ønsket strømstyrer på op til 75 A DC og apparaturet indstillede herefter den nødvendige spænding mellem elektroderne i et interval op til 50 V DC. Maximalt output var 3,75 kW.

Elektroder var udformet som ”strækmetal”, med ca. 4 mm huller. Afstanden mellem katoder og anode var 4 mm.

Ved drift var der altid ét elektrodesæt ude af drift for renholdelse.

Ved gennemløb af testrøret, gennemløb spildevandet således 3 stk. tværsnit, med identiske elektriske felter. Den samlede dosis var således 3 gange dosis i ét elektrisk felt.

Den anvendte opstilling er alene udformet til gennemførelse af forsøg, og kan ikke umiddelbart opskaleres til storskala-anlæg.

For storskala-anlæg, på anvendelse til udløb fra renseanlæg og overløbsvand, vurderes det, at der må der udvikles udstyr, hvor elektroderne består af plader – parallelle med strømningsretningen – således, at risikoen for tilstopning undgås.

Umiddelbart efter behandling, blev 250 ml prøver udtaget for bakteriemålinger.

Prøveudtagning

Forsøg blev overvejende udført ved ugentlige besøg – hovedsagelig mandage, da dette tidsmæssigt passede med laboratoriets håndtering og omstikning mv.

På hver forsøgsdag blev der udtaget én tilløbsprøve, fra det behandlede vand, på 1000 ml, for bakteriemålinger (*E.coli* og Enterokokker) samt for måling af de fysisk-kemiske parametre (COD, SS, ledningsevne, transmission 1 cm ved 254 nm, pH, Fe-total og Mn-total).

Efter behandling, med de enkelte teknologier, blev der udtaget 250 ml prøver for bakteriemålinger. Disse blev straks sat i køleskab og ved prøvedagens afslutning, blev de transporteret i køletaske direkte til Teknologisk Institut i Aarhus for videre behandling.

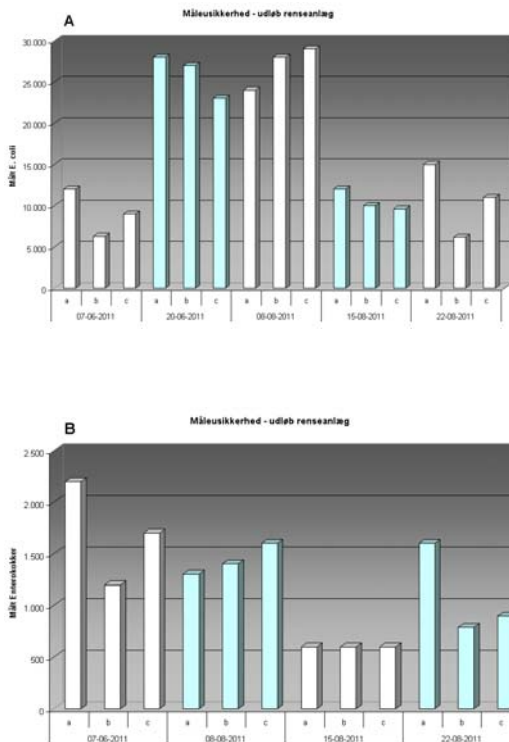
Måleusikkerhed

For at bestemme måleusikkerheden, på målingen af henholdsvis *E.coli* og Enterokokker, har Teknologisk Institut, som udførte målingerne, lavet trippelbestemmelser af fem udløbsmålinger, dels fra Vejle og dels fra Nr. Lyngby Renseanlæg. Resultaterne ses i 15.

For at vurdere måleusikkerheden, ser vi på forholdet mellem højeste og laveste måling, som for *E.coli* ligger fra en faktor 1,2 til 2,4, mens det for Enterokokker ligger fra en faktor 0,0 til 2,0. Gennemsnitligt er forskellen en faktor 1,6 for *E.coli* og 1,3 for Enterokokker.

Konklusionen er, at der er relativt stor måleusikkerhed for både *E.coli* og Enterokokker. For yderligere informationer om målinger af bakterier og måleusikkerheder, se Bilag 2.

Overordnet må der antages en måleusikkerhed på ca. 100 %.



Figur 15: Trippelbestemmelser af målinger af *E.coli*(A) og Enterokokker(B) i udløb fra renselanlæg.

For at vurdere måleusikkerheden, ser vi på forholdet mellem højeste og laveste måling, som for *E.coli* ligger fra en faktor 1,2 til 2,4, mens det for Enterokokker ligger fra en faktor 0,0 til 2,0. Gennemsnitligt er forskellen en faktor 1,6 for *E.coli* og 1,3 for Enterokokker.

Konklusionen er, at der er relativt stor måleusikkerhed for både *E.coli* og Enterokokker. For yderligere informationer om målinger af bakterier og måleusikkerheder, se Bilag 2.

Overordnet må der antages en måleusikkerhed på ca. 100 %.

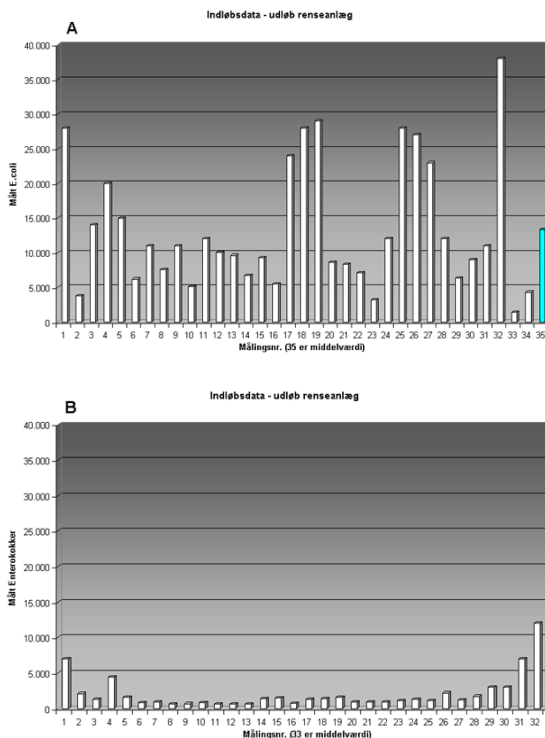
Indløbsdata

Som indløbsvand til desinfektionen er der anvendt udløbsvand fra de tre biologiske renselanlæg og overløbsvand fra tre regnvandsbassiner.

Da det har været vores mål at opnå viden om dosis-respons, har vores fokus været at fastlægge de givne doser, som er nødvendige for at opnå en ønsket desinfektion – uanset tilløbskoncentrationen af bakterier.

Efterfølgende illustreres de målte koncentrationer af bakterier, i afløb fra de tre renselanlæg samt fra de tre overfaldsbygværker ved regnvandsbassinerne.

Afløb renselanlæg

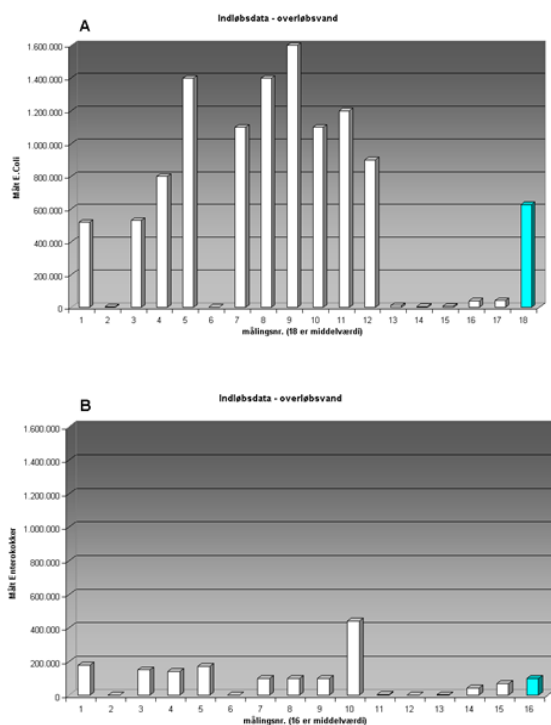


Figur 16: Målingerne af indløb til desinfektionen (afløb fra renselanlægene), for henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B). På hver af de to grafer er middelværdien lagt ind, som den sidste måling (markeret med blå).

Som det fremgår, er niveauet for *E.coli* væsentligt højere end for Enterokokker, de afrundede middelværdier er for hhv. *E.coli* ca. 13.000 CFU/100 ml og for Enterokokker ca. 2.000 CFU/100 ml. Disse middelværdier ses som de blå søjler i figur 15.

Overløbsvand

Overløbsvand varierer mere i koncentration, da denne afhænger af hvornår i et regnskyl overløbet indtræder. Se Figur 17.



Figur 17: Målingerne af indløb til desinfektionen (overløbsvand), for henholdsvis *E. coli*(A) og Enterokokker(B). På hver af de to grafer er middelværdien lagt ind som den sidste måling (markeret med blå).

Som for udløbsvand er middelkoncentrationen af *E. coli* (ca. 600.000 CFU/100 ml) en faktor 6 højere end middelkoncentrationen af Enterokokker (ca. 100.000 CFU/100 ml).

Det kan bemærkes, at forholdet mellem middelværdien af *E. coli* og Enterokokker er en faktor 6 for begge vandtyper. Denne værdi kan således evt. benyttes som erfaringstal, såfremt der udtages prøver, hvor kun den ene parameter måles. Forholdet varierer i de udtagne prøver fra en faktor ca. 3 til ca. 10.

Demonstrationsprojekter

UV-belysning

Forsøgene med UV-belysning blev udført ved, at udløbsvand fra et af de biologiske renseanlæg, eller overløbsvand fra et overløbsbygværk blev ledt igennem et filter (porestørrelse 40 µm). Herefter løb det med et fastsat flow igennem standardudstyr til UV belysning. Her under ses de forskellige flow, hvorved forsøgene er udført.

Udløbsvand fra renseanlæg						
	Flow					
	[m ³ /h]					
	3	5	6	7	8	10
<i>E. coli</i>	2	2	2	1	2	5
Enterokokker	2	2	2	1	2	5

Tabel 7: Antal målinger af udløbsvand fordelt på de forskellige flow.

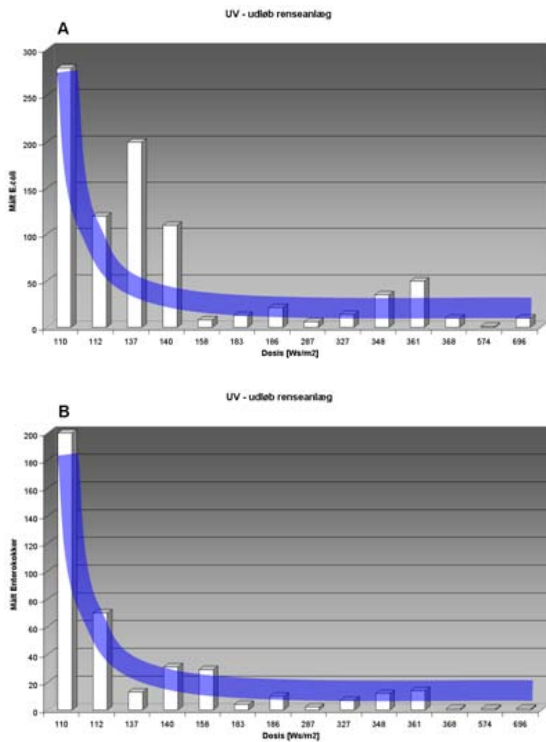
Overløbsvand									
	Flow								
	[m ³ /h]								
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	10
<i>E. coli</i>	2	1	2	1	2		2		2
Enterokokker	2	1	2	1	3	1	2	1	2

Tabel 8: Antal målinger af overløbsvand fordelt på de forskellige flow.

Resultater og diskussion

Afløb renseanlæg

For at finde de optimale driftsindstillinger for et UV anlæg, bliver målingerne af *E. coli* og Enterokokker afbilledet i forhold til UV dosis, som er afhængig af intensitet, transmission og flow.



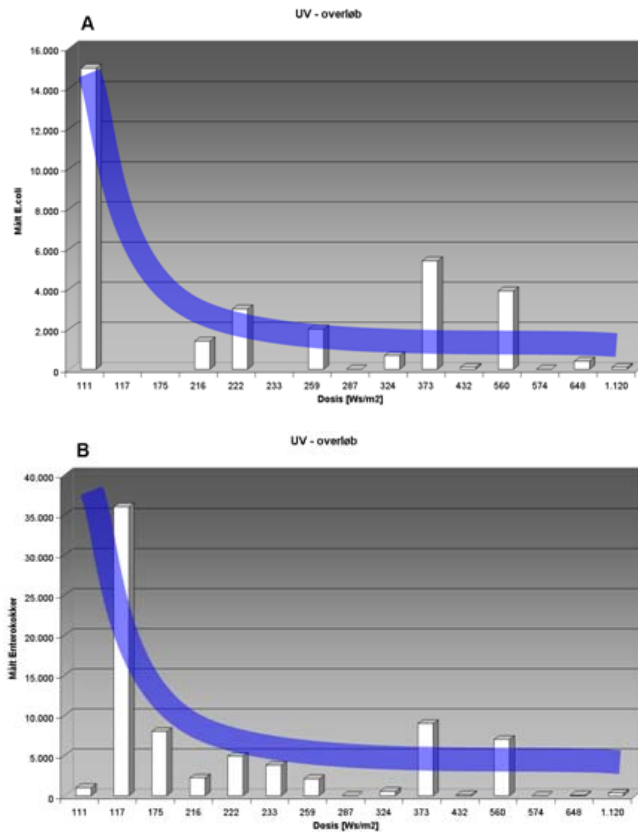
Figur 18: Resultatet af forsøg med UV-belysning som desinfektionsmetode på udløbsvand fra renselanlæggene for *E.coli*(A) og Enterokokker(B). Den blå linje viser den forventede afløbskvalitet.

I Figur 18 ses det, at selv ved lave doser af UV-belysning, er det opnåede antal af *E.coli* altid under 300 CFU/100ml, og antallet af Enterokokker under 200 CFU/100ml.

Derfor kunne den anbefalede dosis være meget lav, men erfaringsmæssigt vides det, at en del af bakterierne over tid vil reaktivere, og derfor anbefales en dosis på minimum 200 Ws/m², til sikring af en desinfektion til værdier under badevandskravene.

Overløbsvand

Overløbsvand har en væsentlig højere initialkoncentration af *E.coli* (ca. 600.000 CFU/100 ml) end rensed spildevand (ca. 13.000 CFU/100 ml). Da overløbsvandmængden normalt vil være beskeden, i forhold til den konstante udledning af bakterier fra renselanlæggene, antages det, at det vil være acceptabelt, at vi kan nøjes med en desinfektion af overløbsvand, svarende til en faktor ca. 10 højere koncentration i overløbsvand, end for afløb fra renselanlæg.



Figur 19: Resultatet af forsøg med UV-belysning som desinfektionsmiddel på overløbsvand for *E.coli*(A) og Enterokokker(B). Den blå linje viser den forventede afløbskvalitet.

I Figur 19 ses det, at man skal op på en dosis på over 200 Ws/m², for at nå ned under 2.000 CFU *E.coli*/100 ml, og 5.000 CFU Enterokokker/100 ml. Indregnes reaktivering af bakterier, vil en anbefalet dosis være på 400 Ws/m².

Konklusion

Som det fremgår af resultaterne, er det muligt at desinficere både udløbsvand fra renselanlæg og overløbsvand ved brug af UV-belysning.

Udløb fra renselanlæg

For udløbsvand anbefales en dosis på 200 Ws/m², hvilket sikrer en god desinfektion, som vist i tabellen herunder.

	Udløbskoncentration	Dosis	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Ws/m²	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	13.000	200	50
Enterokokker	2.000	200	20

Tabel 9: Opsummering af UV-forsøg i effekt af anbefalet dosis for udløbsvand fra renselanlæg

Normalt anvendt dosis til design på storskala-anlæg er 300 Ws/m² i afløb fra renseanlæg, hvilket således – ud fra vores målinger – giver en stor sikkerhed for opnået desinfektion.

Overløb

For overløbsvand anbefales en dosis på 400 Ws/m², som giver en tilfredsstillende desinfektion.

	Overløbskoncentration	Dosis	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Ws/m ²	CFU/100 ml
<i>E. coli</i>	600.000	400	1.000
Enterokokker	100.000	400	3.000

Tabel 10: Opsummering af UV-forsøg i effekt af anbefalet dosis for overløbsvand

Kemisk desinfektion

Forsøgsbeskrivelse i detaljer

Forsøg med pereddikesyre er udført på udløbsvand fra renseanlæg og overløbsvand. Vandet blev pumpet til forsøgstanken, hvor pereddikesyren blev tilsat. Efter udvalgte opholdstider, blev der udtaget prøver fra tanken. For at sikre, at desinfektionen ikke fortsatte i prøveflasken, blev der tilsat 2,4 ml natriumsulfidopløsning til 250 ml prøve, da dette kemikalie forventes at forbruge evt. rester af pereddikesyren og brintperoxid, og dermed standser desinfektionen (se mere i bilag 1).

Tabel 11 og Tabel 12 samt Figur 20 og Figur 21 viser antallet af prøver med resultater, der er anvendt i den videre vurdering af denne metode.

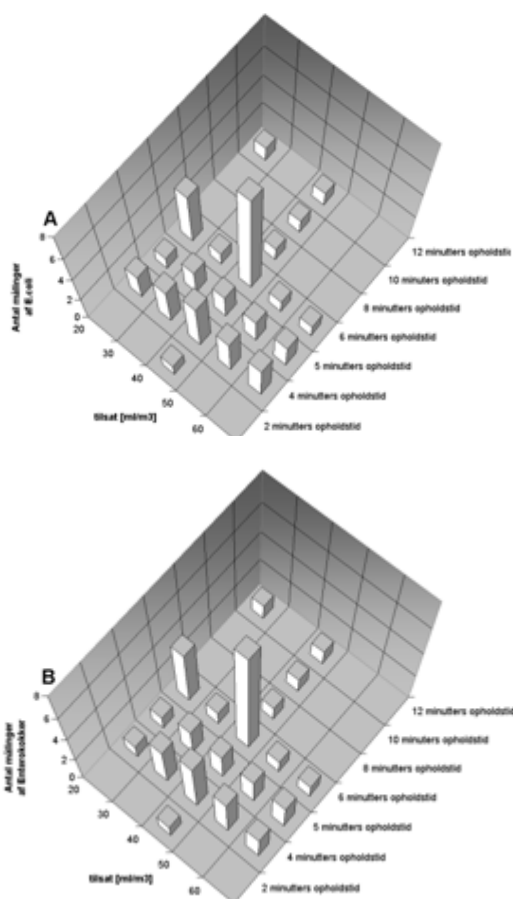
Udløbsvand fra renseanlæg

Da det tidligt i forsøget blev klart, at en dosis på ca. 40 ml/m³ og en opholdstid på 4–6 minutter er acceptabelt, er antallet af forsøg koncentreret omkring disse værdier. Der blev ved forsøgene anvendt en 15 % pereddikesyreopløsning.

<i>E. coli</i>					
Opholdstid [min]	Tilsat pereddikesyre [ml/m ³]				
	20	30	40	50	60
2			1		
4	2	3	4	3	3
5	1	2	2	2	2
6	4	1	8	1	1
8			1		
10			1		
12	1		1		

Enterokokker					
Opholdstid [min]	Tilsat pereddikesyre [ml/m ³]				
	20	30	40	50	60
2			1		
4	1	3	4	3	2
5	1	2	2	2	2
6	4	1	8	1	1
8			1		
10			1		
12	1		1		

Tabel 11: Antal data for udløbsvand fra renseanlæggene.



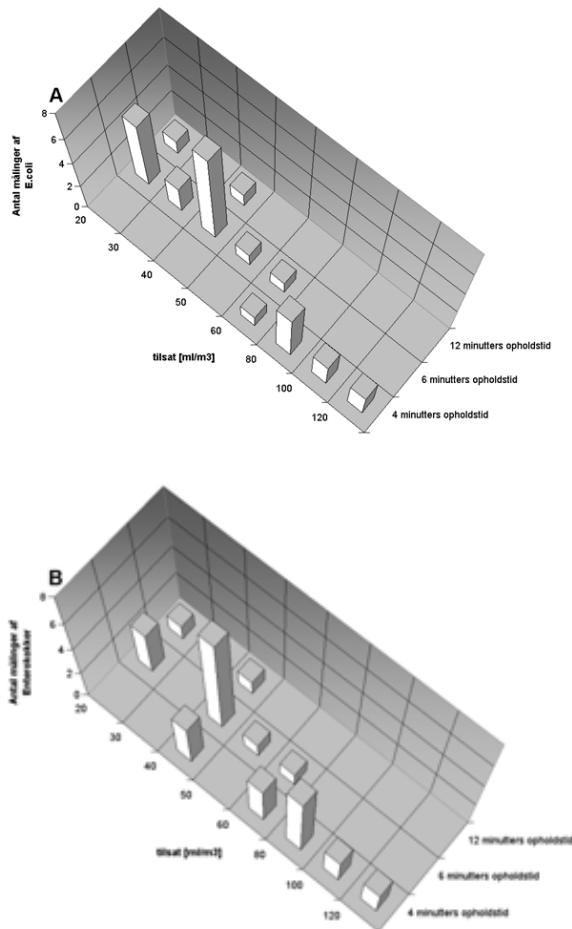
Figur 20: Grafisk fremstilling af antallet af målinger af henholdsvis *E. coli*(A) og Enterokokker(B) fra udløb af renseanlæg.

Overløbsvand

Da det tidligt i forsøget blev klart, at en dosis på ca. 60–100 ml/m³ og en opholdstid på 4–6 minutter er optimalt, er antallet af forsøg koncentreret omkring disse værdier

<i>E.coli</i>								
Opholdstid [min]	Tilsat pereddikesyre [ml/m ³]							
	20	30	40	50	60	80	100	120
4					1	4	2	2
6	5	2	7	1	1			
12	1		1					
Enterokokker								
Opholdstid [min]	Tilsat pereddikesyre [ml/m ³]							
	20	30	40	50	60	80	100	120
4			3		3	5	2	2
6	3		7	1	1			
12	1		1					

Tabel 12: Antal data for udløbsvand fra renseanlæggene. (15 % pereddikesyre-opløsning)



Figur 21: Grafisk fremstilling af antallet af målinger af henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B) fra overløbsvand.

Resultater og diskussion

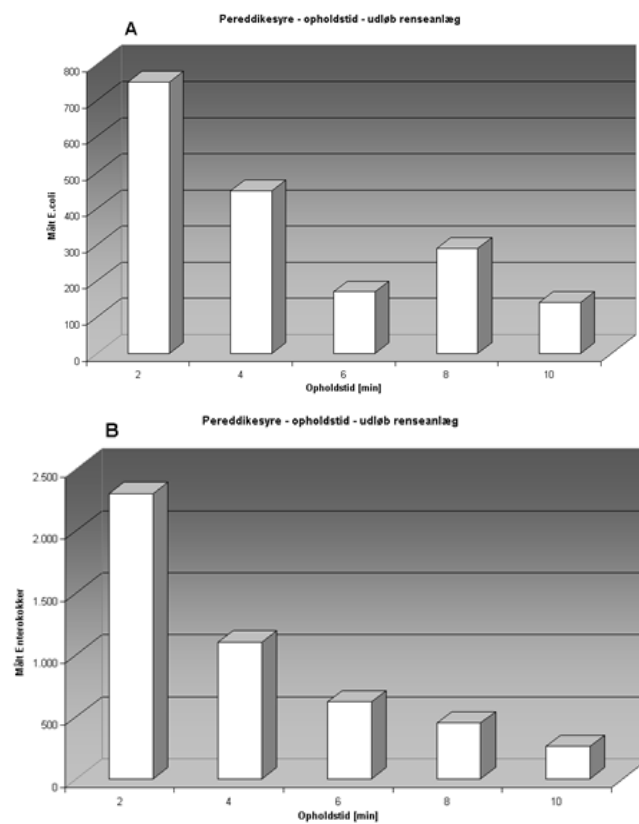
Afløb renseanlæg

Forsøgene med pereddikesyre er udført med variation af følgende parametre:

- Opholdstid
- Dosis pereddikesyre

Opholdstid

For at finde effekten af opholdstiden, blev der udført en forsøgsrække på det samme udløbsvand og med en fast tilsætning af pereddikesyre på 40 ml/m³, men med forskellige opholdstider. Resultaterne af disse forsøg ses i Figur 22.



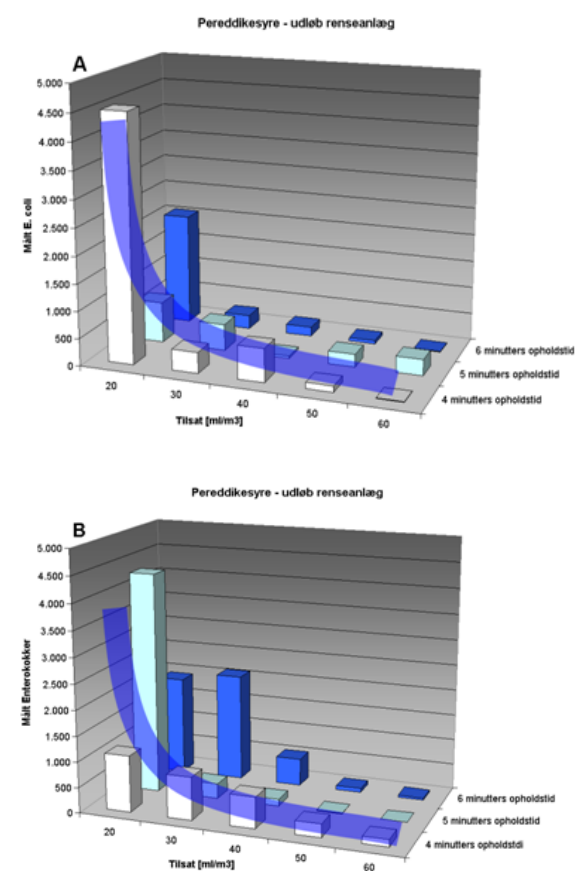
Figur 22: Test af opholdstidens effekt på desinfektionen for *E.coli* Enterokokker (B).

Figur 22 viser, at både for desinfektionen af *E.coli* og Enterokokker, er opholdstiden af stor betydning. Der ses en tydelig sammenhæng mellem opnået desinfektion og opholdstiden, idet en længere opholdstid giver en bedre udnyttelse af den tilsatte mængde pereddikesyre, og dermed en bedre desinfektion.

De samlede resultater fra forsøgene med pereddikesyre, som desinfektionsmiddel er vist med to variable - tilsat pereddikesyre og

opholdstid. Resultaterne fra forsøgene med udløbsvand fra renseanlæggene ses i Figur 23: Data fra forsøg med pereddikesyre som desinfektionsmiddel. Graferne afbilder henholdsvis målinger af *E.coli* og Enterokokker. De blå linjer i A og B viser, hvilken afløbskvalitet der forventes med en opholdstid på 4 minutter.

En større dosering vil antages at medføre en øget desinfektion, ligesom en længere opholdstid vil øge desinfektionen. Opgaven er at finde det optimale driftspunkt for begge parametre, i forhold til et ønsket niveau for desinfektion.



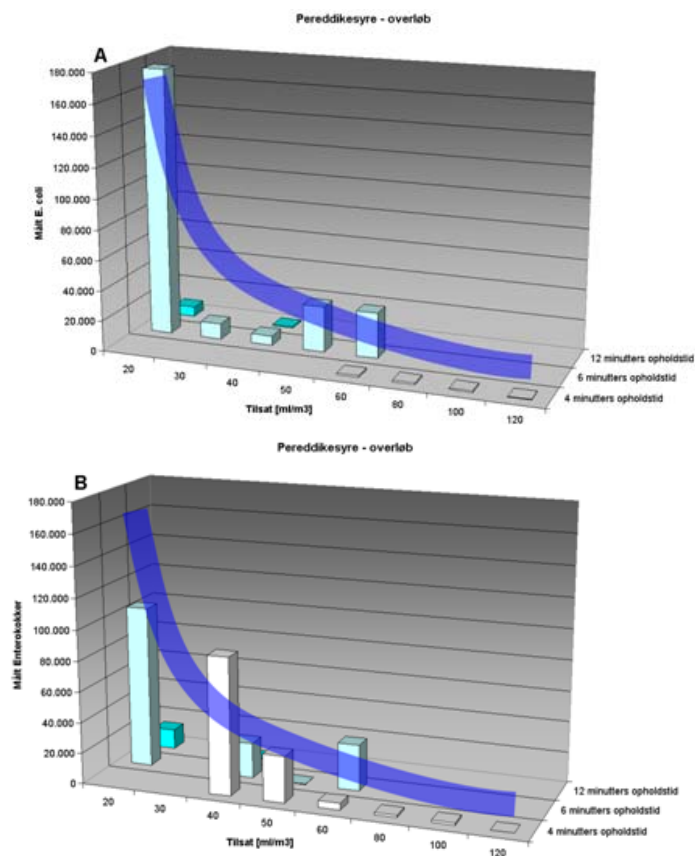
Figur 23: Data fra forsøg med pereddikesyre som desinfektionsmiddel. Graferne afbilder henholdsvis målinger af *E.coli* og Enterokokker. De blå linjer i A og B viser, hvilken afløbskvalitet der forventes med en opholdstid på 4 minutter.

Figur 24 viser, at en øget tilsætning af pereddikesyre giver en bedre desinfektion. Ud fra de viste data fastsættes en forventet anbefalet drift svarende til dosering af 30 ml/m³ og 4 minutters opholdstid - som vist med den blå linje. Dette er gældende både for *E.coli* og Enterokokker.

Overløbsvand

Da overløbsvand indeholder meget større koncentrationer af bakterier, end det er gældende for afløbsvand fra renseanlæg, er der i denne forsøgsrække anvendt større dosering og længere opholdstid.

Resultaterne af disse forsøg ses i Figur 24.



Figur 24: Data fra forsøg med pereddikesyre som desinfektionsmiddel. Graferne afbilder henholdsvis målinger af *E.coli* og Enterokokker. De blå linjer i A og B viser en forventet afløbskvalitet for en opholdstid på 6 minutter.

Figur 24 viser en klar sammenhæng mellem den tilsatte mængde pereddikesyre og graden af desinfektion. En anbefalet dosis vil ud fra foreliggende data være på ca. 60 ml/m³ og minimum 6 minutters opholdstid – som vist med den blå linje. Dette er gældende både for *E.coli* og Enterokokker.

Konklusion

Som det fremgår af resultaterne, er det muligt at desinficere både udløbsvand fra renseanlæg og overløbsvand, ved brug af pereddikesyre.

Afløb fra renseanlæg

For udløbsvand antages en tilsætning på 30 ml/m³ at være en nødvendig dosering, da data indikerer, at man ved denne dosis får dræbt en

mængde af bakterier, svarende til opnået badevandskvalitet - både når det gælder *E.coli* og Enterokokker. Ud fra de foreliggende data, er der ikke nogen indikation af den store forskel på 4 og 6 minutters opholdstid. Det er dog klart, at en længere opholdstid vil resultere i en bedre desinfektion.

	Udløbs-koncentration	Opholds-tid	Pereddike-syre	Forventet koncentration efter desinfektion
Enhed	CFU/100 ml	minutter	ml/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	13.000	4	30	500
Enterokokker	2.000	4	30	300

Tabel 13: Opsummering af pereddikesyre i effekt af anbefalet dosis og opholdstid for udløbsvand fra renseanlæg. Der blev anvendt en 15 % opløsning.

Overløb

Ved en dosis på 60 ml/m³ vil man opnå et acceptabelt resultat. Dog giver de foreliggende data indtryk af, at man ved at hæve opholdstiden fra 4 til 6 minutter vil opnå en bedre desinfektion.

	Overløbs-koncentration	Opholds-tid	Pereddike-syre	Forventet koncentration efter desinfektion
Enhed	CFU/100 ml	minutter	ml/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	600.000	6	60	15.000
Enterokokker	100.000	6	60	15.000

Tabel 14: Opsummering af pereddikesyre i effekt af anbefalet dosis og opholdstid for overløbsvand. Der blev anvendt en 15 % opløsning.

Udviklingsprojekt

Elektrokemisk desinfektion

Forsøgsbeskrivelse i detaljer

Forsøgene til test af elektrokemisk desinfektion blev udført ved at udløbsvand fra et renseanlæg eller overløbsvand blev pumpet igennem et filter, og herefter igennem den elektrokemiske enhed.

Den anvendte strømstyrke er herefter omregnet til afsat effekt (W/m³) til spildevandet.

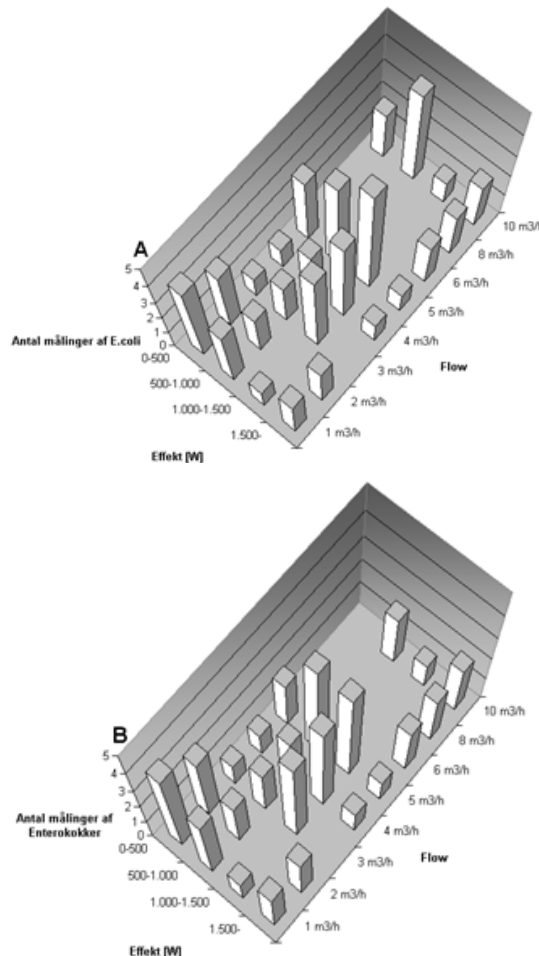
Herunder ses i tabel 15 samt i figur 25, antallet af anvendte målinger inddelt efter flow og afsat effekt.

For afløb fra renseanlæg, er der udført forsøg med varierende afsat effekt og varierende flow.

<i>E.coli</i>								
Afsat effekt	Flow							
[W]	[m ³ /h]							
	1	2	3	4	5	6	8	10
0-500	4	3	1	1	3			2
500-1000	3	2	2	2	4			4
1.000-1.500	1		4	4	5			1
1.500-	2	2		1	1	2	2	2

Enterokokker								
Afsat effekt	Flow							
[W]	[m ³ /h]							
	1	2	3	4	5	6	8	10
0-500	4	3	1	1	2			
500-1000	2	2	2	2	4			2
1.000-1.500	1		4	4	4			1
1.500-	2	2		1	1	2	2	2

Tabel 15: Antal målinger af *E.coli* og Enterokokker fra forsøg med afløb fra renseanlæg.



Figur 25: Afløb fra renseanlæg. Grafisk visning af antallet af målinger af henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B).

For overløbsvand er alene anvendt maksimal opnåelig effekt ved varierende flow.

<i>E.coli</i>					
Afsat effekt [W]	Flow [m ³ /h]				
	1	3	5	7	9
2.160	1	1	1	1	1
Enterokokker					
Afsat effekt [W]	Flow [m ³ /h]				
	1	3	5	7	9
2.160	1	1	1	1	1

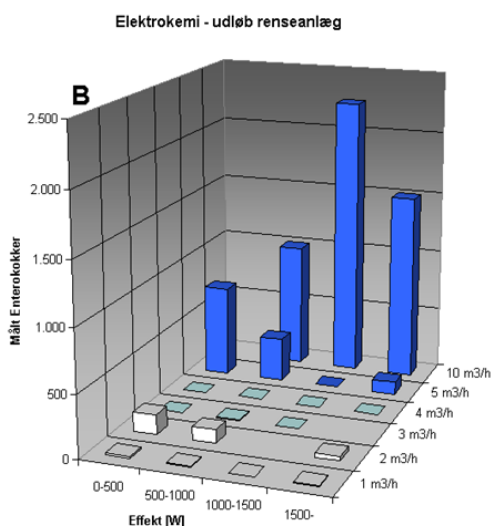
Tabel 16: Antal målinger af *E.coli* og Enterokokker fra forsøg med overløbsvand.

Datamængden for overløbsvand vises ikke, da der kun findes ét datasæt for hvert driftspunkt.

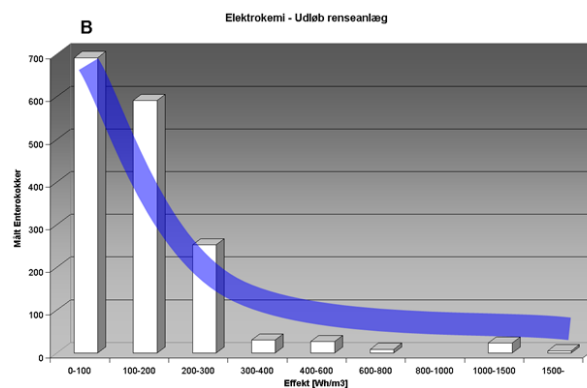
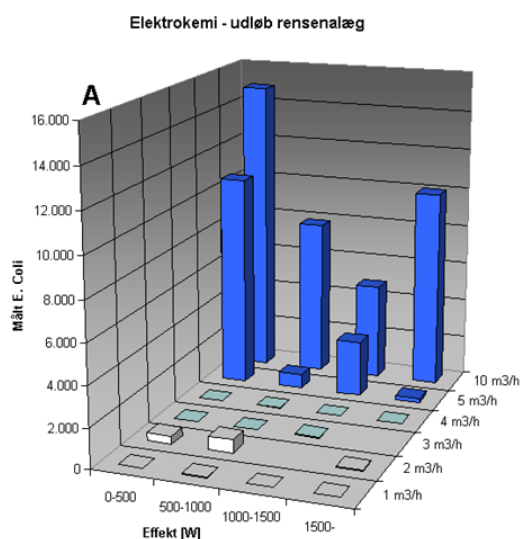
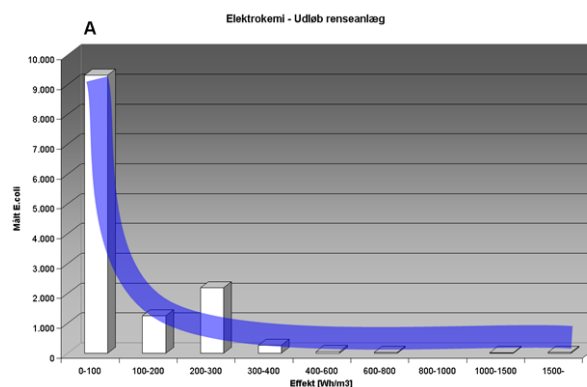
Resultater og diskussion

Afløb renseanlæg

I Figur 26 ses resultaterne af målingerne af *E.coli* og Enterokokker vist tredimensionelt i forhold til flow og effekt. I figur 27 findes de samme data i en todimensionel visning hvor x-aksen indeholder både effekt og flow (Wh/m³).



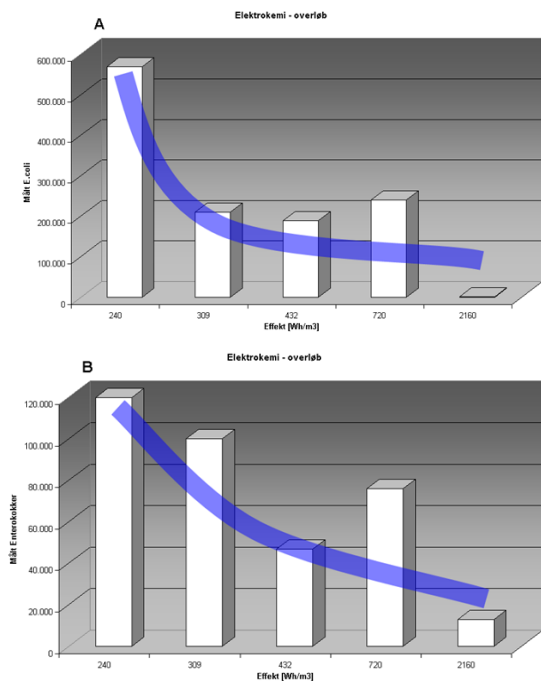
Figur 26: Midlede målinger af henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B).



Figur 27: Resultaterne af forsøg med elektrokemi som desinfektionstype til udløbsvand fra renseanlæg for henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B). De blå linjer viser den antagne tendens.

I Figur 26 ses det, at der op til og med 4 m³/h opnås en god desinfektion med elektrokemi. Ved en afbildning af resultaterne I Figur 27, ses det for både *E.coli* og Enterokokker at der opnås en ønsket desinfektion fra ca. 300 Wh/m³.

Overløbsvand



Figur 28: Resultaterne fra forsøg med elektrokemi på overløbsvand. Graferne viser resultaterne for henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B). De blå linjer viser den antagne tendens.

Ud fra resultaterne i Figur 28, ses det at der må tilføres en betydelig effekt (ca. 2.000 W/m³) for at opnå en ønsket desinfektion.

Konklusion

Elektrokemisk desinfektion kan anvendes som desinfektionsmetode, det dog har vist sig, at der må anvendes en betydelig effekt for at opnå en ønsket desinfektion.

Anbefalet dosis fremgår af nedenstående tabeller.

	Udløbskoncentration	Effekt	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Wh/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	13.000	300	500
Enterokokker	2.000	300	50

Tabel 17: Opsummering af elektrokemisk desinfektion i forventet desinfektion af anbefalet effekt for udløbsvand

	Overløbskoncentration	Effekt	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Wh/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	600.000	2.000	10.000
Enterokokker	100.000	2.000	20.000

Tabel 18: Opsummering af elektrokemisk desinfektion i forventet desinfektion af anbefalet effekt for udløbsvand fra renseanlæg

Sammen- ligning af metoder

I de udførte forsøg er anvendt følgende metode til desinfektion:

- UV-belysning
- Kemisk desinfektion med pereddikesyre
- Elektrokemisk desinfektion

Som udgangspunkt kan det konkluderes, at de tre testede metoder er anvendelige til desinfektion af afløb fra renseanlæg samt overløbsvand.

I afløb fra renseanlæg ses

bakteriekoncentrationer, som er en faktor 50 lavere end for overløbsvand, og der kan derfor opnås acceptable bakterietal, ved lavere doser end det er gældende for overløbsvand.

Målsætningen for afløb fra renseanlæg er fastsat til 500 *E.coli*/100 ml.

Da overløbsvand udledes i mindre mængder, har vi målsat desinfektionen til 1.000–10.000 *E.coli*/100 ml.

For behandling med UV-belysning, skal det erindres, at reaktivering af bakterier reelt medfører en reduceret desinfektion i forhold til den målte. En desinfektion til 50 *E.coli*/100 ml, forventes således at svare til en desinfektion til 300–500 *E.coli*/100 ml, for de øvrige metoder, da disse ikke påvirkes af reaktivering.

Afløb renseanlæg

UV – belysning			
	Udløbskoncentration	Dosis	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Ws/m ²	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	13.000	200	50
Enterokokker	2.000	200	20

Tabel 19: Anbefalet UV -dosis og forventet resultatet på afløb fra renseanlæg.

Pereddikesyre				
	Udløbskoncentration	Opholdstid	Pereddikesyre	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	minutter	ml/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	13.000	4	30	500
Enterokokker	2.000	4	30	300

Tabel 20: Anbefalet pereddikesyre-dosering og opholdstid, samt forventet resultatet på afløb fra renseanlæg. Der blev anvendt en 15 % opløsning.

Elektrokemi			
	Udløbskoncentration	Effekt	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Wh/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	13.000	300	500
Enterokokker	2.000	300	50

Tabel 21: Anbefalet afsat effekt af elektrokemisk enhed og forventet resultatet på afløb fra renseanlæg.

Overløbsvand

Den opnåede desinfektion ved de testede metoder forventes at være på samme niveau, da reaktivering ved UV-behandling reelt vil øge bakterietallet.

UV – belysning			
	Overløbskoncentration	Dosis	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Ws/m ²	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	600.000	400	1.000
Enterokokker	100.000	400	3.000

Tabel 22: Anbefalet UV-dosis og forventet resultatet på overløbsvand.

Pereddikesyre				
	Overløbskoncentration	Opholdstid	Pereddikesyre	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	minutter	ml/m ³	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	600.000	6	60	15.000
Enterokokker	100.000	6	60	15.000

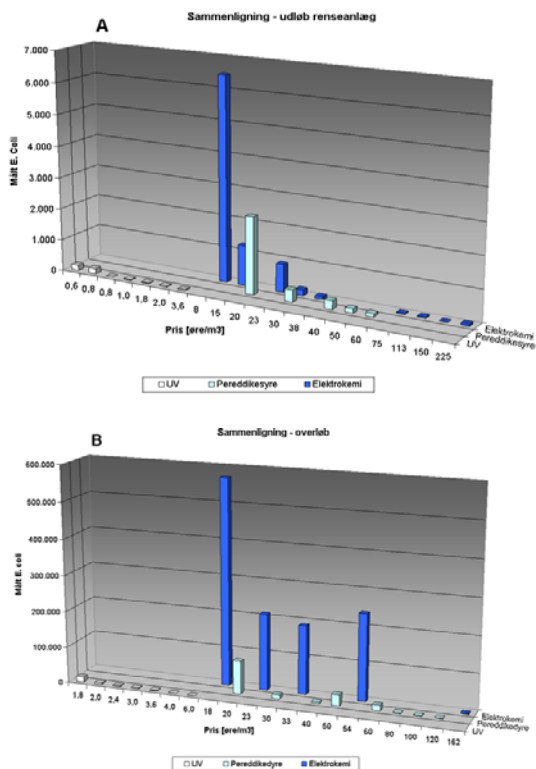
Tabel 23: Anbefalet pereddikesyre-dosering og opholdstid, samt forventet resultatet på overløbsvand. Der blev anvendt en 15 % opløsning.

Elektrokemi			
	Overløbskoncentration	Dosis	Forventet koncentration efter desinfektion
	CFU/100 ml	Ws/m ²	CFU/100 ml
<i>E.coli</i>	600.000	2.000	10.000
Enterokokker	100.000	2.000	20.000

Tabel 24: Anbefalet afsat effekt af elektrokemisk enhed og forventet resultatet på overløbsvand.

Driftsomkostninger – uden afskrivning af anlæg.

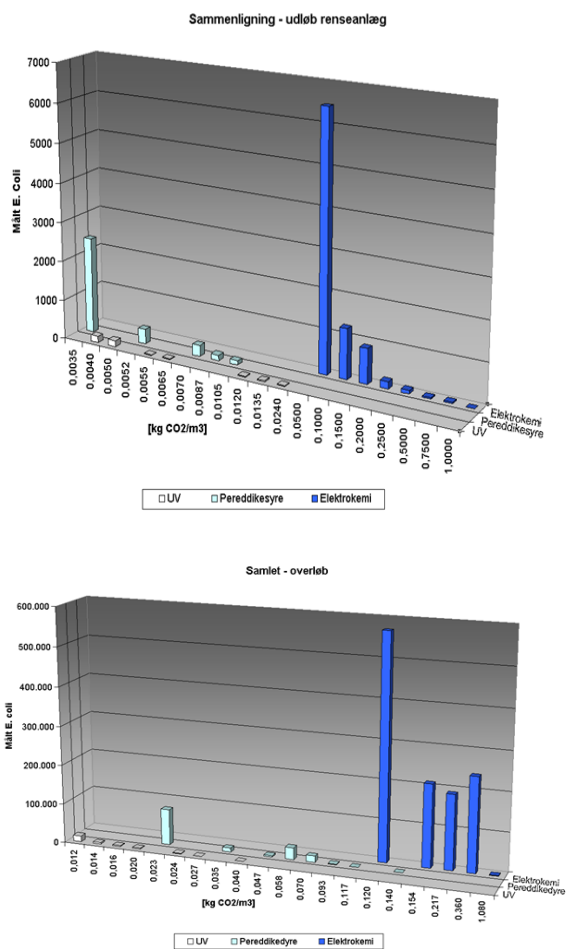
Til sammenligning af de tre metoder, er der foretaget en grafisk afbildning af driftsomkostningerne i relation til opnået desinfektion. Se Figur 29



Figur 29: Sammenligning af de tre desinfektionsmetoder i forhold til driftsomkostninger. Driftsomkostningerne dækker alene brugte kemikalier eller brugt el. Graferne viser opnået desinfektion for *E.coli* gældende for udløb fra renseanlæg(A) og overløbsvand(B).

I Figur 29 ses det umiddelbart, at UV – belysning både er meget effektiv og den umiddelbart billigste løsning i forhold til desinfektion af både udløbsvand og overløbsvand. Der er i beregningen ikke medregnet afskrivning samt vedligehold af anlæg.

Efterfølgende afbildes driftsomkostningerne i forhold til tilsvarende CO₂ – belastning baseret på forbrug af kemikalier eller el. Se Figur 30.



Figur 30: Sammenligning af de tre desinfektionsmetoder i forhold til CO₂-belastning. Graferne er for *E.coli* målingerne i udløbsvand(A) og overløbsvand(B).

I Figur 30 ses sammenligningen af de tre metoder i forhold til CO₂-belastningen, baseret på beregning af "CO₂-footprint" ud fra anvendt kemikalie og el.

Da pereddikesyre har en relativt lav CO₂-ækvivalent, bliver CO₂-belastningen, med dette produkt, næsten identisk med CO₂-belastningen ved UV-belysning. Elektrokemisk desinfektion har højeste driftsomkostning samt højeste CO₂-belastning.

Driftsomkostninger – med vedligehold og afskrivning af anlæg

Som en del af dette projekt, blev der udarbejdet idéoplæg til de tre forsyninger, på etablering af anlæg for desinfektion.

For hvert idéoplæg blev der valgt en metode (UV-belysning eller pereddikesyre) til en given lokalitet. Et resumé af de tre idéoplæg kan ses i bilag 4.

Sammenholdes driftsomkostningen med øvrige omkostninger til vedligehold samt afskrivninger, opnås resultater, som vist i Tabel 25.

Afløb renseanlæg

Prismæssigt synes desinfektion med UV-belysning at være ligeværdig med desinfektion med dosering af pereddikesyre, i en løsning, hvor der allerede findes et nødvendigt tankvolumen.

Overløbsvand

De større omkostninger til behandling af overløbsvand er især begrundet i en væsentlig større dosering af kemikalie.

Renseanlæg	Vand	Desinfektion	Omkostning [kr/m³]
Brenderup	Afløb renseanlæg	UV - belysning	0,42
Nr. Lyngby	Afløb renseanlæg	Pereddikesyre	0,37
Vejle	Overløbsvand	Pereddikesyre	1,05

Tabel 25: Samlede driftsomkostninger inkl. vedligehold og afskrivning af anlæg. Data er baseret på de tre idéoplæg udarbejdet i dette projekt.

Som det ses af Tabel 25, blev det foreslået at etablere hhv. UV-behandling og dosering med pereddikesyre på afløb fra renseanlæg, samt dosering af pereddikesyre på overløbsvand.

Etablering af anlæg med elektrokemisk desinfektion blev ikke vurderet, da det vurderes, at der ikke pt. findes et produkt, som kan anvendes i storskala.

På de to anlæg, hvor det forslås at etablere dosering med pereddikesyre, findes tilgængelige tankvolumener, som kan benyttes til at opnå en ønsket opholdstid. Dette gør metoden billigere.

I det aktuelle projekt, er der ikke foretaget en vurdering af omkostningerne ved etablering af UV-belysning på overløbsvand, men erfaringer fra storskala-anlæg på Scherfigsvej viser, at denne løsning er bekostelig pr. m³ vand behandlet. Samtidig viser det sig i praksis, at avancerede anlæg, som er ude af drift i lange perioder, ofte har problemer ved pludselig opstart pga. bl.a. støv.

Konklusion

De udførte forsøg med desinfektion af afløb fra renseanlæg samt overløbsvand fra regnvandsbassiner med metoderne:

- UV-belysning
- Kemisk desinfektion med pereddikesyre
- Elektrokemisk desinfektion

viser, at der med alle metoder kan opnås en ønsket desinfektion.

Måleusikkerhed

Ved de anvendte metoder for bakteriemålinger, må der antages en måleusikkerhed på op mod 100%. På baggrund af dette konkluderes det, at de bakteriologiske målinger, på spildevand alene, angiver et niveau for bakterietallet.

UV-belysning

UV-belysning viser sig at være en effektiv metode til desinfektion. Metoden kræver forudgående filtrering eller tilsvarende vandkvalitet.

Ved vurdering af desinfektionsgraden skal det erindres, at der kan forventes en reaktivering af bakterier, hvilket medfører, at desinfektion med denne metode, må udføres til et lavere bakterietal.

På afløb fra renseanlæg, vurderes metoden at være billigst, opgjort efter faktiske omkostninger til el, men også ud fra en vurdering, hvor der medtages omkostninger til vedligehold og afskrivning af anlæg, vurderes denne løsning som billigst.

Der er i dette projekt ikke prissat anlæg med UV-belysning på overløbsvand, men det vurderes, at metoden er for dyr i etablering, til at være attraktiv, idet de samlede omkostninger pr. m³ behandlet vand bliver store.

Kemisk desinfektion med pereddikesyre

Dosering af pereddikesyre viser sig at være en effektiv metode til desinfektion.

Metoden er relativt dyr, pga. omkostninger til kemikalie, mens etableringsomkostningerne er

beskedne, såfremt der findes et eksisterende volumen, som kan anvendes til reaktionstank.

Der kræves ikke en forudgående filtrering af det behandlede vand, hvorfor metoden er specielt egnet til overløbsvand fra regnvandsbassiner. Ved behandling af overløbsvand, må der forventes en betydelig dosering, hvorfor omkostningerne pr. m³ behandlet vand bliver relativt store.

Elektrokemisk desinfektion

Elektrokemisk desinfektion er anvendelig på både afløb fra renseanlæg og overløbsvand.

Med det anvendte forsøgsudstyr, er det nødvendigt med en forudgående filtrering, men det må forventes, at der fremtidigt kan opbygges et design, således at filtrering kan undgås. Herved kan metoden vise sig at blive attraktiv, ved især behandling af overløbsvand, da anlægget kun kræver en opholdstid på få sekunder, og derfor vil være meget lidt pladskrævende ved overfaldsbygværker.

Da der skal ske en videreudvikling af metoden, før den kan anvendes i storskala, er det ikke umiddelbart muligt at fastlægge de forventede anlægsomkostninger.

Driftsomkostningerne til el er relativt store pr. m³ behandlet vand, og metoden vil med det målte energiforbrug alene være relevant, ved behandling af overløbsvand, hvor de samlede vandmængder årligt er beskedne i forhold til det samlede afløb fra renseanlæg.

Referencer

/1/Bekendtgørelser om badevand og badeområder – retsinformation.dk/BEK nr. 1283

Af 15/12/2011

<https://WWW.retsinformation.dk/FOorms/RO710.aspx?id=139603>

/2/C.von Sonntag et al./The photochemical basis of UV-disinfection/UV-Karlsruhe

2004

/3/DNA-Wikipedia, den frie encyklopædi

<http://da.wikipedia.org/wiki/DNA>

/4/RNA-Wikipedia, den frie encyklopædi

<http://da.wikipedia.org/wiki/RNA>

/5/DNA-Wikipedia, the free encyclopedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/DNA>

/6/Martin Andersen/Chemical Oxidation Technologies

/7/Viktor Schmalz et al./Electrochemical disinfection of biologically treated wastewater from

small treatment systems by using boron-doped diamond (BDD) electrodes – Contribution for direct use of domestic wastewater/Water Research 43 (2009) 5260.5266. 2009 Elsevier ltd.

/8/ Dr. Scient. Vidar Lund og Siv. ing. Kari Ormerod, Folkehelsa/Reaktivering av

enteropatogene bakterier etter desinfeksjon

/9/A. Morão et al./Degradation of mixtures of phenols using boron-doped diamond

electrodes for wastewater treatment/Electrochimica Acta 49(2004) 1587-1595 Elsevier

/10/Katsuhito Yoshida et al./Basic Study of Electrochemical Treatment of Ammonium

Nitrogen-Containing Wastewater using Boron-Doped Diamond Anode/SEI Technical Review 65 Oct. 2007Environment & Resource. S

/11/S. Stampi et al./Paracetic acid as an alternative wastewater disinfectant to chlorine

dioxide/Journal of Applied Microbiology 2002, 93 725-731

/12/A.Dell'Erba et al. Disinfecting behaviour of peracetic acid for municipal wastewater

reuse/Desalination 168 (2004) 435-442.2004 Elsevier BV



Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Bilag 1

Konservering af prøver med natriumsulfit

Konservering af prøver med

natriumsulfit

Ved kemisk desinfektion er der behov for at kunne stoppe reaktionen af desinfektionsmidlet efter en veldefineret tid for at opnå troværdige data.

Stoppes reaktionen ikke, vil de kemiske stoffer fortsætte med at virke i prøveflaskerne og hermed give en meget lang og ikke-veldefineret reaktionstid.

Ved de udførte forsøg, blev det besluttet at anvende natriumsulfit til standsning af den kemiske oxidation (der er ikke udført kemiske målinger til verifikation af den opnåede effekt).

Natriumsulfit blev tilsat til prøveflaskerne inden påfyldning af prøve. Efter prøveudtagning, blev prøveflaskerne rystet grundigt.

Det blev valgt at tilsætte sulfit i overskud, men vi ville samtidig sikre, at doseringen af sulfit ikke i sig selv medførte en desinfektion.

Til forsøgene blev der anvendt en stamopløsning af natriumsulfit, med en koncentration på 4,2 g natriumsulfit/ltr. Doseringen på 2,4 ml indeholdt således 0,30 mmol natriumsulfit (molvægt 126 g/mol).

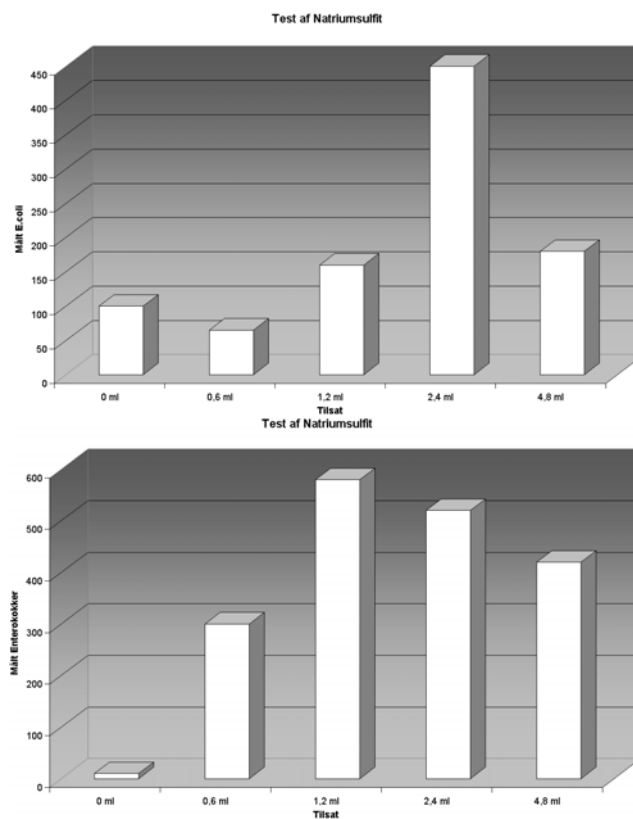
Ved forsøgene blev der anvendt dosering af en handelsvare med et pereddikesyre-indhold på 15%. Højeste anvendte dosering var 100 ml/m³, svarende til en maksimal mængde pereddikesyre på 15 g pereddikesyre pr. m³. En prøve på 250 ml indeholder således maksimalt 3,75 mg (0,05 mmol) pereddikesyre (molvægt 76 g/mol).

Handelsvaren indeholdt tilsvarende 20% hydrogenperoxid, svarende til at en prøve på 250 ml maksimalt indeholder 20 g brintperoxid pr. m³. En prøve på 250 ml vil således maksimalt indeholde 5 mg brintperoxid (0,15 mmol) brintperoxid (molvægt 34 g/mol).

Som det ses af ovenstående, vil mængden af natriumsulfit (0,30 mmol), ved tilsætning af 2,4 ml stamopløsning i 250 ml prøveflaske, altid være i overskud i forhold til summen af pereddikesyre og brintperoxid (0,05 mmol og 0,15 mmol).

Da natriumsulfit samtidig vil kunne virke desinficerende, ved for høj en dosis, blev der udført forsøg med samme dosis af pereddikesyre (40 ml/m³), en opholdstid på 6 minutter og varierende doseringer af natriumsulfit.

Ved de udvalgte doseringer af natriumsulfit, blev der herefter udtaget prøver. Den valgte optimale dosering af natriumsulfit svarer således til prøver med flest talte bakterier (pereddikesyren er opbrugt og dosis er så lav at natriumsulfiten ikke virker desinficerende).



Figur 11: Test af tilsætningen af Natriumsulfit til prøverne for henholdsvis *E.coli*(A) og Enterokokker(B).

På baggrund af de udførte forsøg, blev der valgt en fast dosering på 2,4 ml, hvilket sikrer, at der altid er et overskud af natriumsulfit i forhold til pereddikesyre og brintperoxid.



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Bilag 2

Målemetoder DTI

Endnu bedre badevand

Bilag til forbedret detektion af indikatororganismer ud fra badevandsmetoden

KORT BAGGRUND FOR PROJEKTET

Formålet med projektet ”Endnu bedre badevand” er at forbedre badevandskvaliteten ved at implementere desinfektion af udløbsvandet fra renseanlæg. Installation af tre forskellige typer udstyr til desinfektion testes på både aføbsløbsvand fra renseanlæg samt overløb fra kloakker. Specielt sidstnævnte forventes at have en stor positiv effekt i forbindelse med skybrudshændelser, hvor ubehandlet spildevand ellers vil blive udledt direkte til recipienter tætbeliggende på bade-rekreative områder. Der er stor fokus på at sikre kvaliteten af det danske badevand og dermed på opretholdelsen af Blå Flag-ordningen til gavn for miljø, turister og erhvervsliv langs de danske badestrande.

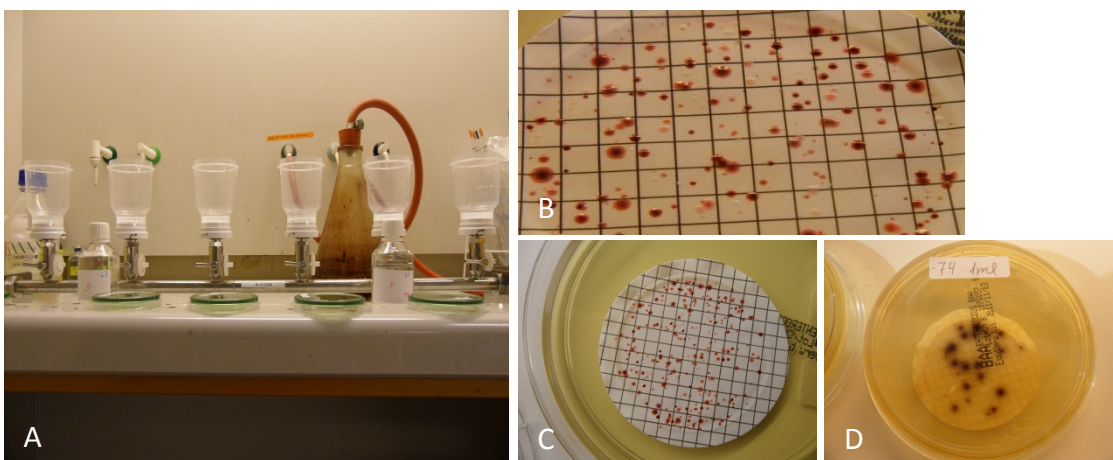
For at opnå en forbedret kvalitet af det udledte spildevand testes følgende udvalgte desinfektionsstrategier: UV-behandling, kemisk oxidation ved brug af pereddikesyre samt en elektrokemisk oxidationsmetode, der hidtil primært har været anvendt til desinfektion af vand i skibes ballasttanke (Echardt and Kronmueller, 2009; RWO brochure). Det skal i projektet undersøges, hvor effektive disse forskellige desinfektionsstrategier er med hensyn til at reducere mængden af hhv. Enterokokker og *E.coli* i udløbs- og overløbsvand fra tre forskellige renseanlæg (Vejle, Middelfart og Hjørring Renseanlæg). Ved undersøgelsen udtages prøver til kemisk analyse og mikrobiologisk dyrkning, hvor standarderne for sidstnævnte er DS/EN ISO 7899-2 og 9308-1 til analyse

for Enterokokker og *E.coli* (Arnbjerg-Nielsen et al., 2009). De mikrobiologiske metoder er godkendte standarder, der benyttes til vurdering af badevandet, jf. bekendtgørelsen for badevand og badeområder (BEK nr. 165 af 23/2-2009) og EU's Badevandsdirektiv (2006/7/EF af 15. februar 2006).

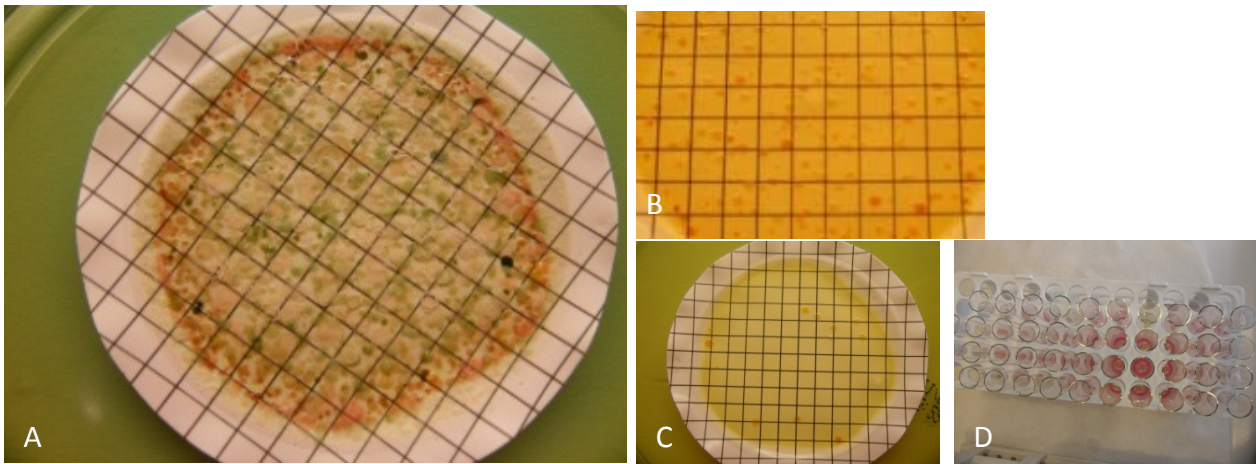
PROBLEMSTILLING VED MÅLING AF BAKTERIER

Ved brug af de nuværende dyrkningsbaserede målemetoder er der en vis usikkerhed omkring måleresultaterne, da resultaterne ofte varierer mellem prøvningerne. Årsagen til denne variation skal findes i tilstedeværelsen af mange små partikler (både bakterier og slam flokke) i spildevand. Der er stor forskel på mængden af suspenderet stof (SS) i afløbsvand og overløbsvand, da førstnævnte ligger på SS mellem 2-4 mg/l og sidstnævnte mellem 76-220 mg/l. En tilsvarende forskel observeres også for COD målingerne, som varierer fra 12-24 mg/l for afløbsvand og omkring 150 mg/l for overløbsvand. Hvis udgangspunktet for analyserne forbedres ved at finde evt. små partikler, som er til stede i spildevandsprøverne, vil risikoen for fejlfortolkning nedsættes, ligesom udgifter til yderligere analyser mindskes.

Den valgte forskrift for Enterokokker, DS/EN ISO 7899-2, er baseret på membranfiltrering og er beregnet til analyse af bl.a. badevand og spildevand (jf. protokol DS 7899-2). I figur 1 ses en forsøgsopstilling med filtreringsenhed samt filter på agarplader med selektivt medie, der favoriserer vækst af Enterokokker. Til Enterokok-analysen anvendes to agartyper: Slanetz- og Bartley-agar til vækst af Enterokokker og Bile Aesculin Acid-agar (BAA) til efterfølgende verifikation (se figur 1). Ved verifikation af Enterokokker på BAA-agar sker der en sortfarvning af agaren efter 2 timers inkubation ved 44 °C. Det omtales i standardprotokollen, at der tages forbehold for usikkerheder ved tilstedeværelse af store mængder suspenderet stof eller tilstedeværelse af et stort antal andre mikroorganismer i den analyserede prøve.



Figur 12. Opstilling til Enterokok-bestemmelse. A. Filtrering af prøve. B+C. Vækst af Enterokokker på Slanetz- og Bartley-agar. D. Verifikation af Enterokokker ved sortfarvning på BAA-agar.



Figur 13. *E.coli*-bestemmelse. A. Massiv vækst af følgeflora. B+C. Spejlæggsformede gule *E.coli* på TTC tergitol-plader. D. Verifikation af *E.coli* ved Kovacs' indolreagens.

Detektion af *E.coli* er også baseret på membranfiltrering og efterfulgt af dyrkning på TTC tergitol-agar med en lav selektivitet, der også kan understøtte væksten af andre coliforme bakterier, se figur 2 (jf. protokol DS/9308-1). Præsuntive *E.coli* verificeres efterfølgende ved at udvælge og overføre typiske kolonier ("spejlæggsformede") til flydende Tryptophan-broth, hvor der efter 21 timers inkubation ved 44 °C testes for indolproduktion ved tilsætning af Kovacs' Indolreagens (se figur 2). Der udvælges tilfældigt mellem en og 10 typiske kolonier til subkultivering afhængig af kolonitætheden på TTC tergitol-pladerne.

Alle spildevandsprøverne (både udløbsvand og overløbsvand) fortyndes inden membranfiltrering ift. forventet antal bakterier for at opnå den mest optimale kolonitæthed på pladerne (antallet af kolonier skal ligge mellem 10 og 300 kolonier pr. plade). Typisk fortyndes prøverne, så der analyseres 10 ml, 1 ml, 0,1 ml. I enkelte tilfælde har 100 ml og 0,01 ml prøvevolumen været benyttet til analyserne. Hver prøve udsås i tre fortyndinger for hhv. Enterokok og *E.coli* i tre plader inden verifikationstrinene.

Som tidligere nævnt, er disse mikrobiologiske standardmetoder til dyrkning af de to indikatororganismer valgt ud fra badevandsbekendtgørelsen, BEK nr. 165 23/2-2009, men anvendes i dette projekt til undersøgelse af behandlet udløbsvand fra renseanlæg og overløbsvand. Dvs. at her forventes et højere niveau af hhv. suspenderet stof og bakterier i udløbsvandet, end hvis det var badevand, der blev undersøgt.

FORSØGSOPSÆTNING TIL BEDRE OG MERE PÅLIDELIG DETEKTION AF BAKTERIER

- Vurdering af de valgte metoder DS/EN ISO 7899-2 og DS/EN ISO 9308-1 til analyse for hhv. Enterokokker og *E.coli*.
- Modificering af protokol til detektion af *E.coli* ved brug af den valgte standard.
- Forbedret prøvetagning og opbevaring af prøver.
- Triplikatanalyser af kontrolmålinger.
- Test af forbedret forbehandling af prøverne ved homogenisering.

Vurdering og modificering af valgte metoder til detektion af Enterokokker og E.coli

Den valgte protokol (DS/EN ISO7899-2) til detektion af Enterokokker anbefales til både badevand og spildevand. Metoden har vist sig velegnet til bestemmelse af Enterokokker i desinficeret udløbs- og overløbsvand, da der har været få problemer med følgefloa. Det har derfor ikke været nødvendigt at modificere den eksisterende protokol. Dog er antallet af kontrolmålinger blevet udvidet til triplikatbestemmelser for at sikre en større tillid til måleresultaternes reproducerbarhed.

Til detektion af *E.coli* anvendes DS/EN ISO 9308-1, der normalt anbefales til badevand, da baggrundsfloraen er relativt lav i dette miljø. Metoden har desværre vist sig mindre egnet til desinficeret udløbs- og overløbsvand på grund af den høje følgefloa i denne type vand, se figur 2. A. På baggrund heraf er metoden modificeret, således at inkubationstemperaturen er hævet fra 37 °C til 44 °C for at mindske væksten af følgefloa. Den øgede temperatur er dog ikke tilstrækkeligt til at undgå vækst af coliforme eller andre bakterier til stede, og dette gør sig især gældende for analyse af overløbsvand. Både for udløbsvand fra renseanlæg og overløbsvand efter desinfektionsstrategierne, er der en kraftig følgefloavækst. Dette ses ved, at kolonimorfologien ikke har den karakteristiske gule farve, som gør sig gældende for gruppen af coliforme bakterier (inkl. *E.coli*) ved vækst på TTC tergitol-agar, men i stedet fremstår som røde, lyserøde og grønne kolonier, se figur 2 A.

Forbedret prøvetagning og opbevaring af prøver

For at forbedre selve prøvetagningen, er der initieret følgende tiltag: Prøvemængden for indløbsprøver er blevet øget fra 200 ml til 1 L for at sikre en mere ensartet prøve. Derudover løber spildevandet i ca. 5 min. inden prøveopsamlingen for at undgå evt. løsrevne biofilmklumper fra rør. Efter prøvetagning opbevares prøverne på køl indtil analyse på Teknologisk Institut. Krüger har forinden opgivet data om forventede antal bakterier (*E.coli* og Enterokokker) i de forskellige prøver før og efter afprøvning af desinfektionsstrategier baseret på tidligere erfaringer. De bedste forudsætninger er således til stede for forbedret prøvetagning og korrekt fortynding af prøverne.

Triplikatbestemmelse

Triplikatbestemmelserne er blevet udført på en del af kontrolmålingerne for at undersøge, hvor stor variation der er på detektionen af indikatororganismer ved dyrkning på de enkelte prøver. Målingerne er primært udført på udløbsvand, da

der har været relativt få målinger med overløbsvand. I tabel 2 ses en relativt lav variation på de opnåede målinger for detektion af både *E.coli* og Enterokokkerne i udløbsvand. For *E. coli* dyrkningerne målt fra Hjørring renseanlæg, ses en variation på en faktor 2-2^{1/2} indenfor samme måledato og over hele forsøgsperioden varierer tallene fra omkring 10.500 til 27.000. Et lavere niveau af Enterokokker observeres i samme periode og tallene variere også omkring en faktor 2. Til gengæld er niveauet noget lavere for *E. coli* i Vejle samtidig med at mængden af Enterokokker er højere.

Tabel 2. Resultater af triplikatbestemmelser af Enterokok- og *E.coli*-dyrknings (CFU/ 100 ml) i Hjørring og Vejle for udløbsvand.

	Dato	Prøvenr.	Tilløb <i>E.coli</i>		Tilløb Enterokokker	
			Middel	Målt <i>E.coli</i>	Middel	Målt Enterokokker
Hjørring	22.08.2011	442226-29A	10.733	15.000	1.097	1.600
		442226-29B		6.200		790
		442226-29C		11.000		900
	15.08.2011	442226-14A	10.533	12.000	600	600
		442226-14B		10.000		600
		442226-14C		9.600		600
	08.08.2011	442226-01A	27.000	24.000	1.433	1.300
		442226-01B		28.000		1.400
		442226-01C		29.000		1.600
	20.06.2011	436555-13a	26.000	28.000	1.100	1.100
		436555-13b		27.000		Nd
		436555-13c		23.000		Nd
Vejle	07.06.2011	436555-1a	9.100	12.000	1.700	2.200
		436555-1b		6.300		1.200
		436555-1c		9.000		1.700

Målingerne for overløbsvand, som er opgivet nedenfor i tabel 3, viser et meget højt niveau for tilstedeværelse af både Enterokokker og *E.coli* helt i tråd med de høje niveauer af målte værdier for suspenderet stof og COD. Mængden af bakterier er mange gange højere, end det ses for almindeligt udløbsvand, og det understreger nødvendigheden af en forbedret rensning af overløbsvandet for at sikre en god badevandskvalitet. På baggrund af de triplikat analyser der er udført i forsøget, anbefales denne type målinger, når en desinfektions strategi skal implementeres på overfaldsbygværker. Målingerne viser at der kan være ret signifikante forskelle mellem mængden af Enterokokker og *E. coli* i overløbsvandet. Generelt varierer værdierne med maksimalt en faktor 2, som anses for acceptabelt. Der observeres en variation i de opnåede resultater mellem forskellige prøvedatoer inden for samme anlæg og mellem anlæggene, som må tilskrives variation i fortyndingen af spildevandet og ikke direkte relateret til prøvehåndtering eller analysemetoder.

Tabel 3. Resultater af triplikatbestemmelser af Enterokok- og *E.coli*-dyrknings (CFU/ 100 ml) i overløbsvand fra Hjørring rensesanlæg.

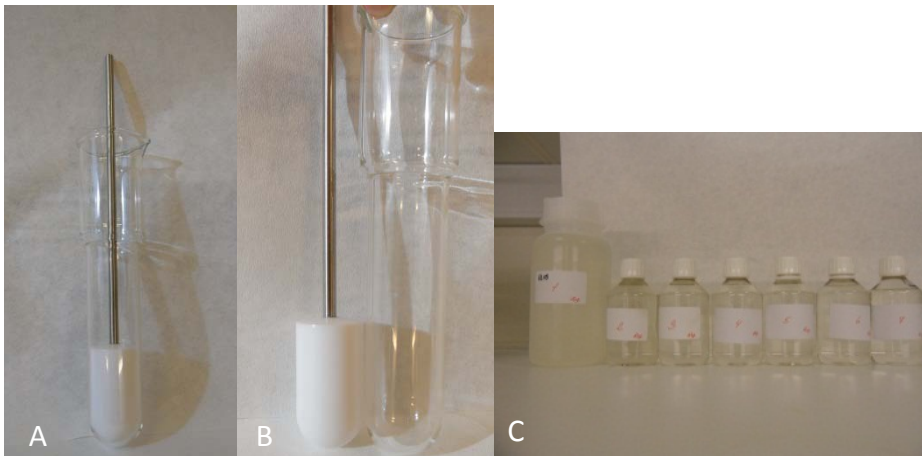
	Dato	Prøvenummer	Tilløb <i>E.coli</i>		Tilløb Enterokokker	
			Middel	Målt <i>E.coli</i>	Middel	Målt Enterokokker
Hjørring	25.08.2011	442226-44A	1.400.000	1.100.000		>100.000
		442226-44B		1.400.000		>100.000
		442226-44C		1.600.000		>100.000
	20.06.2011	436555-22a	1.100.000	1.100.000	440.000	440.000
		436555-22b		1.200.000		Nd

		436555-22c		900.000		Nd
--	--	------------	--	---------	--	----

Test af forbedret forbehandling af prøverne ved homogenisering

For at opnå en forbedret reproducerbarhed af de mikrobiologiske data baseret på DS/EN ISO 7899-2 og 9308-1 er det testet, om en mekanisk homogenisering af prøverne kan muliggøre dette. En ensartethed i prøven er forsøgt opnået ved hjælp af en glashomogenisator inden efterfølgende membranfiltrering og inkubering, se figur 3 A-C.

De initiale test af homogeniseringen med 10 gentagelser viste sig at være for hårdhændet. Dyrkningsresultaterne med og uden homogenisering viste en reduktion af antallet af *E.coli*, så derfor blev behandlingen efterfølgende reduceret til 2 gentagelser. Resultaterne for dyrkning med og uden homogenisering, er vist i Tabel 4. Der er kun testet på afløbsvand, hvor mængden af SS er betydelig mindre end for overløbsvand.



Figur 3. Homogenisering af prøver. A+B Glashomogenisator til 10 ml prøve. C. Billeder af prøveflasker

Generelt ses det, at homogeniseringen reducerer mængden af *E.coli* med en ca. faktor 2, hvis der ses bort fra prøve 442226-29B. For Enterokokkerne opnås i visse tilfælde en lille reduktion af antallet af bakterier og i andre en væsentlig forøgelse. Forøgelse kan skyldes en bedre homogenisering af prøven.

E.coli er gram negative bakterier (tilhører *Proteobacteria*) og er ikke nær så hårdføre, som gram positive bakterier (bl.a. Enterokokkerne), så det kan forventes, at *E. coli* påvirkes i større grad.

Tabel 4. Resultater af *E.coli*- og Enterokok-dyrkninger (CFU/ 100 ml) før og efter 2 gange homogenisering i prøver fra Hjørring Renseanlæg.

Dato	Prøvenr.	<i>E.coli</i>		Red i %	Enterokok		Red i %
		- homogenisering	+ homogenisering		- homogenisering	+ homogenisering	
22-8-11	442226-29A	15.000	7.600	- 49	1.600	630	-61
	442226-29B	6.200	11.000	+77	790	660	-20
	442226-29C	11.000	5.100	-54	900	790	-12
15-8-11	442226-14A	12.000	6.700	-44	600	1.400	+133
	442226-14B	10.000	9.300	-7	600	1.500	+150
	442226-14C	9.600	5.500	-43	600	700	+17
	442226-01A	24.000	8.600	-64	1.300	900	-31
	442226-01B	28.000	8.300	-70	1.400	900	-36
	442226-01C	29.000	7.100	-75	1.600	900	-44

På baggrund af opnåede data anbefales en homogenisering ikke på almindeligt udløbsvand fra renseanlæg, men kunne måske anvendes til overløbsvand, hvor mængden af partikler er højere. Årsagen er, at især mængden af *E.coli* påvirkes i

højere grad end Enterokokker, og det kan give et misvisende billede af kvaliteten af vandet hvor mængden af SS er relativ lav. (Dog i tilfældet hvor overløbsvand analyseres, og hvor mængderne af partikler er forventeligt højt, kan det være en fordel at få findelt evt. partikler inden dyrkning påbegyndes).

Sammenfatning af forsøgsopstilling til bedre og mere pålidelig detektion

- Modificering af den eksisterende protokol til detektion af *E.coli* har bevirket, at metoden kan benyttes til denne type vandprøver, omend den ikke er optimal. Det har været nødvendigt at hæve inkubationstemperaturen fra 37 °C til 44 °C for at mindske følgefloren. Dog observeres stadig mange andre kolonier (end de karakteriske gule *E.coli* kolonier) på agarpladerne grundet det for standarden foreskrevne ikke-selektive medie.
- En forbedret prøveprotokol, bl.a. omhandlende større prøvevolumener, opbevaring på køl og triplikatanalyser af kontrolmålinger, har bevirket en større reproducerbarhed af de opnåede resultater. Det anbefales at lave triplikatanalyser når en desinfektions strategi skal implementeres på et ikke kendt renseanlæg, for på denne måde at bedre kunne justere evt. dosering af kemikalie (pereddikesyre) UV-lys eller elektrisk strøm (elektrokemisk oxidation)
- Homogenisering, som testet i de aktuelle forsøg, viser ikke umiddelbart en ønsket forbedring af detektionen af indikatororganismer i almindeligt udløbsvand med lavt indhold af suspenderet stof. Derimod forventes en øget reproducerbarhed ved homogenisering af prøver med et højere indhold af partikler/suspenderet stof, som bl.a. observeres i overløbsvand. Dog skal der tages højde for en reduktion af mængden af *E. coli* ved denne procedure, da de påvirkes i større grad end Enterokokker.

- På baggrund af ovennævnte observationer anbefales det fremadrettet at benytte en anden metode til detektion af *E.coli*, (fx DS/EN ISO2255) i afløbs- eller overløbsvand - før desinfektion - grundet for stor vækst af følgeflores af andre bakterier. Denne metode er beregnet til detektion af *E.coli* i spildevand og er derfor bedre egnet til at håndtere en højere koncentration af *E.coli*, end den der er anvendt i dette studie.

Referencer:

- Arnbjerg-Nielsen, K., Olsen, D.B., Jørgensen, K.R., Hasling, A.B. (2009). Implementering af det nye badevandsdirektiv til det danske badevandsystem. Miljøministeriet, By- og Landskabsstyrelsen. ISBN nr. Elektronisk version : 978-87-7091-011-8.
- RWO brochure: (http://www.rwo.de/lib/rwo/16875,CleanBallast_12_2010.pdf)
- Echardt, J., Kornmueller, A. (2009). The advanced EctoSys electrolysis as an integral part of a ballast water treatment system. Water Science and Technology 60(9) 2227-2234.
- BEK nr. 165 af 23/2/2009. Bekendtgørelse om badevand og badeområder. Lovtidende A. By- og landskabsstyrelsen, J.nr. BLS-400-00012.



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Bilag 3

RWO- udviklingsrapport

Report

From: Jonas Echardt

15.03.2012

To: Martyn Ayris

For information: Lars Nyman, Kim Sundmark, Mikael Möller, Ole Sinkjaer

Subject: **Development work of the EctoSys related to the VWS Krüger project “Endnu bedre badevand” for disinfection of waste water and storm overflows**

Executive summary

The EctoSys® technology has been tested in pilot scale for disinfection of waste water and storm overflows. The frequency of heavy rains is expected to rise due to climate change in the future, with increasing quality problems of shore bathing water due to bacterial pollution from overflow water as a problematic consequence. In the study, the EctoSys® was directly compared towards two conventional methods of water treatment, i.e. UV treatment and biocide dosing. The pilot treatment systems were installed in a mobile unit and the comparative tests were carried out at the municipal waste water treatment plants at three different locations in Denmark. Target organisms analysed included primarily *E.coli* and Enterococci.

Results show that the electrochemical advanced oxidation process utilised by the EctoSys® is able to reach the same level of disinfection of the target organisms as the conventional methods in the study, at low to medium bacterial inlet counts. Overall economy is competitive against UV disinfection. In continuous long-term applications, a reliable CIP process for cleaning the stainless steel cathodes is necessary. The technology could e.g. be the preferred choice in situations where there is limited installation space or where very turbid water conditions could be expected.

For further work and development (additional pilot- and/or or fullscale), tests with alternative mechanical pre-treatment and additional electrode area/m³ are recommended in order to increase efficiency at extreme bacteria levels and overall improve treatment economy.

Table of content

Executive summary	49
Table of content	50
1. Background	51
2. Success factors	52
2.1 Overall aim:	52
2.2 Quality of test results.....	52
2.3 Biological performance.....	52
2.4 Technical feasibility:.....	52
2.5 Economy:	53
3. The EctoSys® system.....	54
3.1 General	54
3.2. Function of electrochemical treatment and disinfection	54
3.3 Pilot requirements for test project	55
3.4 Technical data, features and options	56
4. Method	57
4.1 The EctoSys installation in multitechnology testpilot	57
4.2 Practical test phase	58
4.3 Development work.....	59
5. Summary of results.....	61
5.1 Biological performance	61
5.2 Technical feasibility	62
5.3 Economy.....	62
6. Preliminary design of industrial units*	63
6.1 Hardware design:	63
6.2 Process optimization	63
7. Conclusions and discussion.....	64

1. Background

The frequency of heavy rains is expected to rise due to climate change in the future, with increasing quality problems of shore bathing water due to bacterial pollution from overflow water as a problematic consequence. The EctoSys® technology was chosen as candidate technology for tests in pilot scale for disinfection of waste water and storm overflows. In the study, the EctoSys® was directly compared towards two conventional methods of water treatment, i.e. UV treatment and biocide dosing.

Development and optimization of the EctoSys® technology was a major element of planning the tests since the product has not been developed or commercialized yet for this or any similar application(s). Previous tests with EctoSys® on waste/sewer water have been of screening character and using un-optimized hardware. Technology development during the project was focused on three areas to be able to design a final EctoSys product for the application using project output data:

Hardware design:

- Calculation of rectifier requirements: input current, power requirements
- Assessment of required electrode surface area*
- Suitable CIP

Process optimization

- Flowrate/current input
- CFU/current input
- Current efficiency

Evaluation

- Evaluation of data, statistical analysis
- Final design of scaled units based on pilot results

2. Success factors

2.1 Overall aim:

Improve bathing water quality, which after hard weather can be poor due to storm overflows from waste water treatment plants. Decrease numbers of target organisms in waste water below set limit values.

2.2 Quality of test results

Waste water (and thus also storm overflows) is known to be a very complex matrix for chemical and biological analysis. In order to successfully calculate, design and develop a suitable system for treatment of such water, it is of vital importance that the project output consists of reliable data. One success factor is therefore formulated as:

- Reproducible bacterial reduction counts, enabling decisive design of an EctoSys product for treatment of sewer overflow/waste water.*

*Main design parameters: Electrode area, current density, flowrate/velocity

2.3 Biological performance

Biological performance and target values of bacteria after disinfection are formulated for both sewer overflows and waste water discharge streams:

Outlet from Waste Water Treatment Plants:

(Approximate expected starting conditions:

E.coli after filter: 10.000 CFU/100 ml

Enterococci after filter: 2.000 CFU/100 ml)

Target values:

E.coli after EctoSys: 500 – 1.000 CFU/100 ml

Enterococci after EctoSys: 200 - 300 CFU/100 ml

Sewer Overflow (Sewage diluted with 9 x rainwater)

(Approximate expected starting conditions:

EColi after filter: 600.000 CFU/100 ml

Enterococci after filter: 100.000 CFU/100 ml)

Target values:

E.coli after EctoSys: 10.000 - 15.000 CFU/100 ml

Enterococci after EctoSys: 10.000 – 15.000 CFU/100 ml

2.4 Technical feasibility:

- 90-100% up-time (if applicable, i.e. at long term tests)
- Competitive robustness and dependability compared to UV
- Efficient CIP

2.5 Economy:

- Competitive CAPEX/OPEX towards UV
- Competitive OPEX towards Biocide

3. The EctoSys® system

3.1 General

The EctoSys® is a water purification system, disinfecting microorganisms and oxidising contaminants in water solutions. The water is electrochemically purified with oxidative species when passing an electrochemical cell. The electrochemical reactions in the cell are driven by current fed from a customized rectifier, which is also used for controlling the process parameters. Typically, the EctoSys® have advantages over conventional water treatment techniques in high flow, low foot-print, turbid water applications preferably with conductivities $>1500\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2. Function of electrochemical treatment and disinfection

The total effect of the EctoSys® cell can be divided into three mechanisms: direct oxidation/reduction reactions on the electrode surfaces, indirect oxidation by anodically produced highly oxidative species and a residual effect from more persistent oxidative species. The indirect oxidation involves reaction mechanisms including reactive oxidative species such as hydroxyl radicals and various other radical intermediates. In natural waters containing chloride a small by-production of more persistent species can occur (e.g. free active chlorine). The pollutants and microorganisms are oxidised during the actual process, but the disinfective effect of such residual oxidants will prevent re-growth.

Key technology features of the EctoSys® are the specific controlling of the electrochemical process, together with the design of the electrochemical cell and finally the specific type of electrodes that are used. The anodes are of non-catalytic, high potential type, which e.g. prevents formation of unwanted free active chlorine but instead favours formation of the more highly oxidative species. The construction of the cell, the placing and structure of the electrodes are optimizing the production of hydroxyl radicals and their oxidation capacity due to an effective mass-transport. However, if the current is shut off the production of oxidants stops immediately and effective water treatment can no longer be expected.

3.3 Pilot requirements for test project

Krüger specified as optimum a plug-and-play system, to be directly installed in the test container and ready to operate. Therefore, cell, rectifier and monitoring were mounted on a rack with in- and outlet flanges. Fig. 1 shows a P&ID diagram of the test equipment.

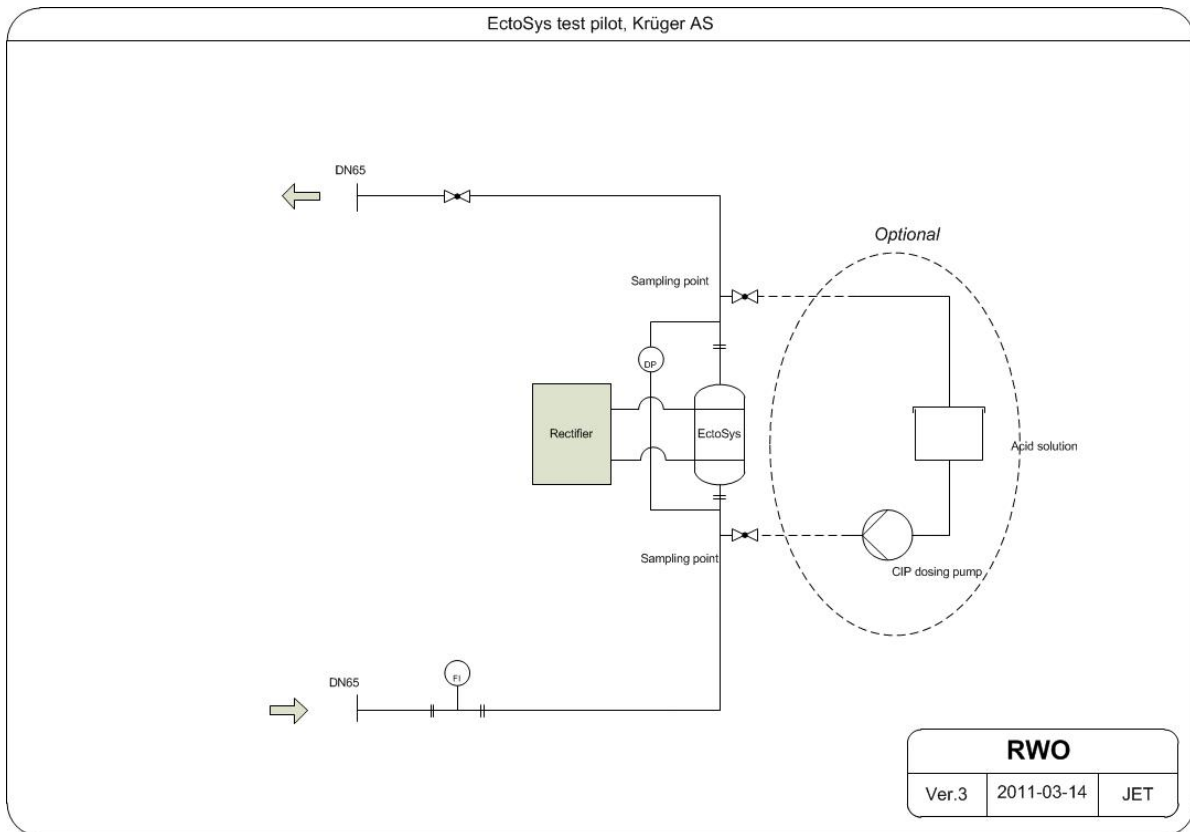


Fig. 1: P&ID, EctoSys® 10m³/h test pilot used for Krüger AS Disinfection Project

3.4 Technical data, features and options

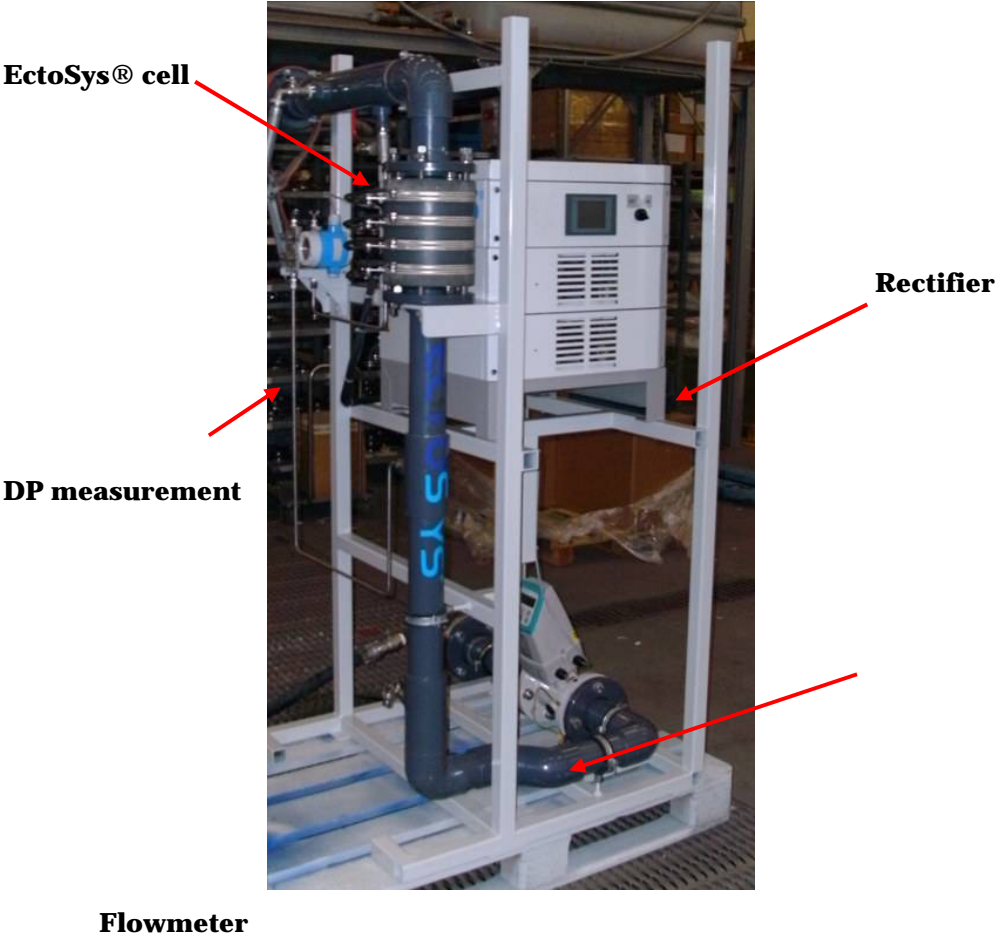


Fig.2: EctoSys® 10m³/h test pilot

Monitoring:

Flow meter	Siemens, ND 65 [2]
Differential pressure	Endress & Hausser, 0-500 mbar [3]

Rectifier:

Coulombflex lab rectifier, total 15kW: two power modules of 7,5kW with two galvanically separated channels each.

Channel info:

Output current	0-75 A DC
Output voltage	0-50 V DC
Maximum power	3,75 kW
Max ripple	2 %
Linearity	1 %

Cell:

Flow range	2-20 m ³ /h (nom. 10m ³ /h)
Anodes	4xBDD/Nb, Ø100mm
Cathodes	8xStainless steel, Ø100mm
Flanges	2xDN65

4. Method

4.1 The EctoSys installation in multitechnology testpilot

The EctoSys® 10m³/h test pilot as described in 3.3-3.4 was installed in parallel with a biocide dosing system and a UV system. Fig. 3 shows the P&ID for the complete testpilot used for the comparative tests:

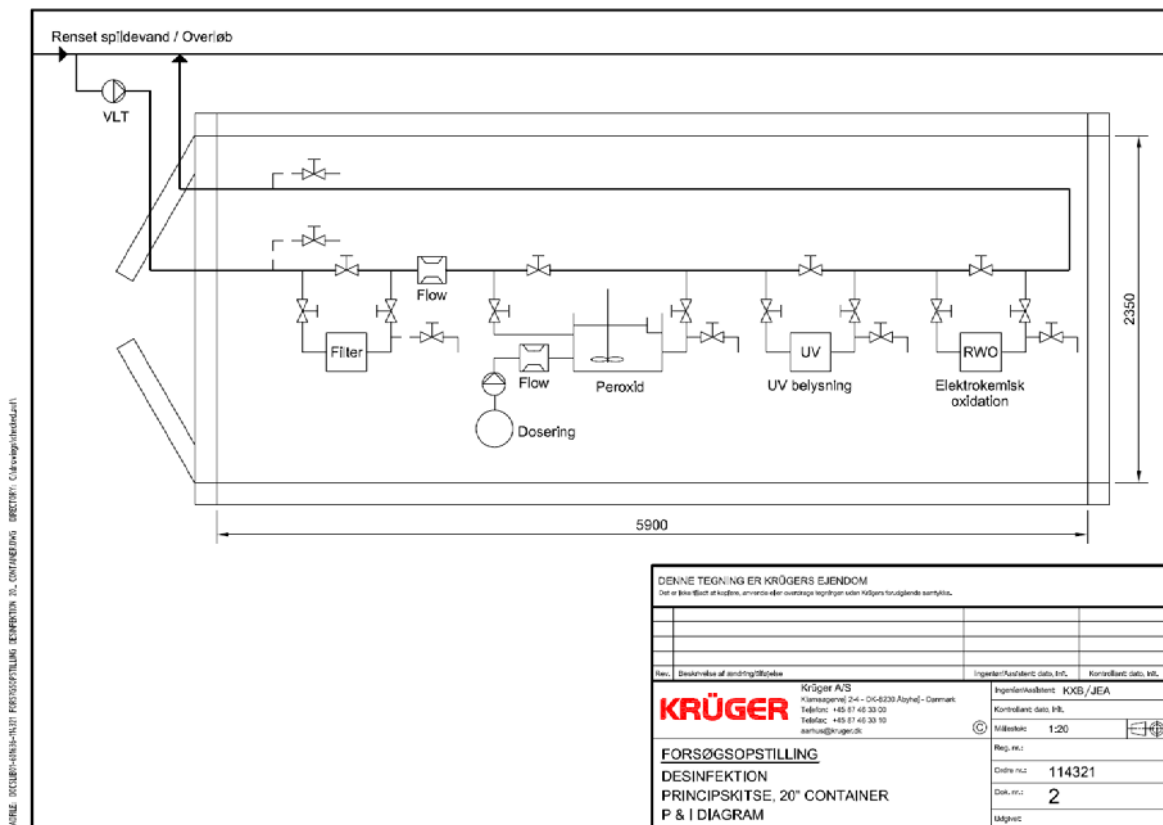


Fig. 3: P&ID, Testpilot with three disinfection technologies (Picture property of Krüger AS)

4.2 Practical test phase

The water to be treated (waste water or overflow water) was filtered with the Amiad screen filter installed in the container and fed to the EctoSys. The input variables were the flowrate (1-10m³/h) and current per electrode (1-14A).

Tests were carried out at three different locations in Denmark: Middelfart, Hjørring and Vejle waste water treatment plants. About 8 weeks of tests were designated for each location. Tests and sample taking was generally done on Mondays, for samples to be analysed during the week. Initial tests were of screening character, but gained focus more and more into the process parameter areas of interest when a rough idea of the function and performance was obtained.

The biological analysis included sampling for *E.coli* and Enterococci, and the water parameter analysis that were (partially) done included Suspended solids [mg/L], COD [mg/L], conductivity [mS/cm], UV transmission at 254nm [%/cm], pH, Fe [mg/L] and Mn [mg/L].



Fig. 4: Testpilot container, exterior (Middelfart)

Fig.5: Water intake, after clarifier

As described in 4.1, the performance of the EctoSys® testpilot was compared towards the two conventional disinfection methods of biocide dosing and UV irradiation. The biocide used was peracetic acid (dosed in the approx. range of 20-100ml/m³) and a low pressure UV system from Wedeco (UV irradiation dose in the range of 6-60W/m²). Pre-treatment of the water was performed by an Amiad screen filter (20 - 100µm) with automatic backflushing.



Wedeco 10m³/h UV system



Fig. 6:

Fig. 7: Amiad pre-filter + biocide dosing

4.3 Development work

The EctoSys® technology has not been commercially applied for applications of this kind, so all parts of the project including new build and planning of the test pilot had to undergo development phase.

Project execution reached from March 2011 until November 2011. Total time consumption from RWO arises to 188,5h, which can be specified into the following activity categories:

- Project planning: 45h
- Construction & planning of test rig: 5h
- Building of test rig: 43h
- Site visits (equipment adjust etc.): 30h
- Data evaluation: 34.5h

- Upscale & design: 15h
- Report: 16h

5. Summary of results

5.1 Biological performance

Table 1 shows the biological disinfection efficiency of EctoSys® treatment of wastewater, where the most tests and measurements were done and thus most results are available for statistical analysis. Inlet bacterial counts varied greatly between approx. 5.000-29.000 CFU/100ml *E.coli* and approx. 600 - 1.600 CFU/100ml Enterococci.

Elektrokemi - Ectosys					
Flow [m3/h]	Current [A], per electrode	Voltage [V], mean	Power [kWh/m3], total	E.coli [CFU/100mL], outlet	Enterococci [CFU/100mL], outlet
1	15	43.2	1.94	<1	<1
1	15	49	2.16	60	<10
2	15	48.3	1.09	60	70
5	15	48.3	0.43	200	<100
10	15	48.3	0.22	10000	1500
10	15	29.5	0.13	5900	2400
1	12	34.5	1.24	<10	<1
3	12	40.4	0.48	<1	<1
3	12	40.4	0.48	150	<1
4	12	40.2	0.36	<10	<1
4	12	40.2	0.36	<10	<1
5	12	40.5	0.29	<10	<1
5	12	40.5	0.29	<10	<1
6	12	48.1	0.29	11	370
8	12	48.1	0.22	190	590
10	12	46.4	0.17	3.800	2.100
3	10	33.9	0.34	<10	<1
3	10	33.9	0.34	10	<1
4	10	34.6	0.26	<1	<1
4	10	34.6	0.26	<10	<1
5	10	34.7	0.21	<10	3
5	10	34.7	0.21	<10	<10
5	10	47.5	0.29	14000	3500
10	10	21.8	0.07	4800	10000
1	9	27.9	0.75	<100	<10
1	8	31.6	0.76	<1	<1
1	8	32.6	0.78	<1	16
2	8	30.9	0.37	26	<1
2	8	32.6	0.39	1300	210
3	8	28.4	0.23	<10	<1
3	8	28.4	0.23	<10	<10
4	8	29	0.17	10	<1
4	8	29	0.17	<10	<10
5	8	29	0.14	140	15
5	8	29	0.14	<10	15
5	8	32.3	0.16	2700	270
5	8	32.6	0.16	25000	1100
10	8	33.2	0.08	12000	1200
10	8	32.6	0.08	5300	800
1	6	18.4	0.33	<10	1
2	6	18.4	0.17	<10	2
3	6	18.4	0.11	<10	1
4	6	18.4	0.08	<10	<1
1	6	25.1	0.45	<1	<1
1	6	25.8	0.46	4	57
1	6	21.1	0.38	<100	10
2	6	26.4	0.24	<1	<1
2	6	25.8	0.23	1200	470
5	6	26.2	0.09	13000	460
5	6	25.8	0.09	2000	1000
10	6	26.6	0.05	27000	1600
10	6	25.8	0.05	5000	1200
5	5	27.5	0.08	17000	3900
10	5	13	0.02	2800	17000
Target values:					
EColi after EctoSys:		500 - 1000 CFU/100 ml			
Enterococci after EctoSys:		200 - 300 CFU/100 ml			
Target met: 					
Target not met: 					

Tab. 1: Summary of the biological performance

The analysed bacteria could in most cases be reduced in numbers down to the target values. It was noted, that extremely high inlet bacteria counts (as in some of the storm overflow tests), sufficient performance could not be reached. It is known from previous studies that bacteria in such high concentrations tends to agglomerate and

thus be harder to disinfect as individual units.

For stormwaters very few data were available, and inlet concentrations were fluctuating and very high (about 600.000 *E.coli*/100 ml.) with high standard deviation. Data are not included here as a table. If waters of this quality would be adequately reduced in bacterial level (see target values p.4), power consumption is assessed to in the range of 1-2 kWh/m³.

5.2 Technical feasibility

Performance tests were carried out in short term tests, i.e. the total operation time for a test (including sampling at varying flowrate and current settings 1-4 times each) can be estimated to 2-4h. One such test sequence was carried out each week and the electrochemical cell did not show any technical malfunction during these tests. Some tests on long-term reliability was run, where the current was set low during 48-60 hours operation. Cathodic scaling occurred to an extent that showed that CIP cleaning of the stainless steel cathodes will be necessary on long-term continuous applications. The measurement of the differential pressure over the cell proved to be a good indicator of when scaling reached levels that needed to be removed. Unfortunately, the screen filter clogged at some points which caused the flow to reduce significantly and thus giving unreliable outcome of those studies. The laboratory rectifier used for the test pilot showed problems with the control, together with unreliable values on the display. One of the galvanically separated channels also broke down during the last tests. These problems would be avoided at a commercial installation using rectifiers of industrial quality.

In the comparison towards UV, it can be concluded that: provided reliable power source the technology is robust and includes no moving parts. It does not require warm-up time before full operability and efficiency is not decreased by turbid conditions or over time, i.e. the system will work with full efficiency until the BDD electrodes are worn down. The cell would require a CIP process for continuous waste-storm water applications due to cathodic scaling. Power consumption increases rapidly in low conductivity waters (<1000µS/cm).

5.3 Economy

Results shows that sufficient disinfection of Outlet from Waste Water Treatment Plants can be obtained at a power input in the range of typically 0.20-0.40kWh/m³. For Sewer Overflow power as high as 1 -2 kWh/m³ can occur, depending on the conductivity and inlet bacterial count. Further operational expenses such as maintenance, spare parts etc. are difficult to estimate since it is highly dependent on the lifetime of the BDD electrodes. However, it is reasonable to expect electrode lifetimes of >3000h which makes OPEX in total competitive against UV. The capital expense per m³ installed capacity is in the range of or slightly higher than UV, however the footprint of an equivalent EctoSys system is much smaller. Thus, there should be cases (with e.g. limited space available) where the EctoSys® could be the preferred treatment choice.

6. Preliminary design of industrial units*

6.1 Hardware design:

Results from the tests give at hand, that a treatment plant with capacity 500m³/h would have a power consumption reaching from about 70kW and up. Flowrates/velocities and power input range etc. indicates that the EctoSys® module used today as 450m³/h disinfection unit in the CleanBallast ballast water treatment system could in these applications be used in the 125-250m³/h range without modifications neither in cell design nor power source (=today max. 60kW in total per cell, installed capacity).

Scaling in the form of cathode deposits could be removed by pumping a low concentrated acid (e.g. 10% HCl or Citric acid) in an additional recirculation loop (see "Optional" in Fig. 1, page 7) during a maintenance stop. EctoSys cells in parallel and/or in series should be connected with sequential CIP process in mind (=by-pass pipings and valves included in the installation)

6.2 Process optimization

As can be seen in Table 1, there is a strong correlation between bacteria reduction and input parameters current and flowrate. It is seen also that increasing current settings cannot fully compensate too high flowrates, i.e. over approx 5-6m³/h disinfection performance is uncertain regardless of current input. On the other hand, current can be set as low as ~8A per electrode and reach target bacteria values at flowrates of 5-6m³/h, overall achieving relatively low power input and thus energy consumption per m³ treated water.

*Base calculations, current densities/efficiencies etc. as well as dimensioning of full scale cells are confidential IP and not included in this report.

7. Conclusions and discussion

The EctoSys technology has been tested thoroughly for reduction of bacterial count in domestic waste water and storm overflows. It was concluded that the technology has the capacity to do so within reasonable power consumption. However, under extremely high bacterial counts and suspended organic material, such as in some storm overflows, the level of short-lived oxidants produced by the electrochemical cell is not sufficient to reduce the bacteria below the target values. Furthermore, the level of scaling during long-term continuous operation of the cell must be dealt with.

In order to reach target values also at extremely high inlet bacteria numbers, a finer pre filtration could be applied, possibly in combination with larger installed electrode area/m³ treatment capacity and in the extreme end also a small dosing of a salt brine solution which will both introduce a low level of residual oxidants/disinfection and reduce power consumption due to increasing conductivity.

Scaling in the form of cathode deposits could be removed by pumping a low concentrated acid (e.g. 10% HCl or Citric acid) in an additional recirculation loop (see "Optional" in Fig. 1, page 7) during a maintenance stop.

For further work and development (additional pilot- and/or or fullscale), tests with alternative mechanical pre-treatment and additional electrode area/m³ are recommended in order increase efficiency at extreme bacteria levels and overall improving treatment economy. Furthermore, more environmental studies such as chemical analysis of disinfection by-products etc. should be performed.



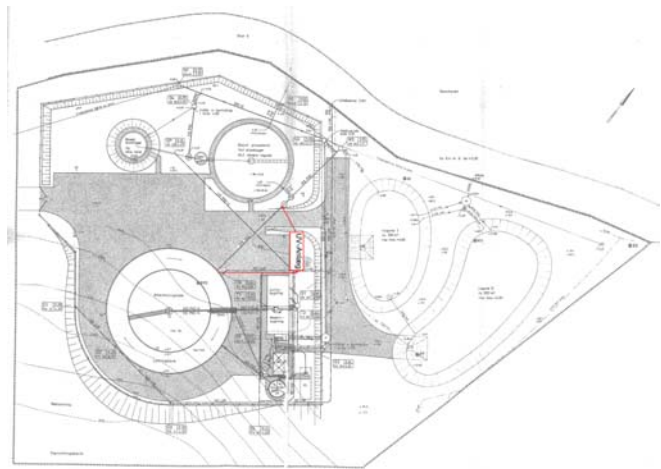
Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand

Bilag 4

Resumé af
skitseprojekter

Brenderup Renseanlæg
Desinfektion af afløb fra renseanlæg
UV-anlæg
Idéoplæg - Resumé
15. marts 2012



Hydraulisk belastning, hygiejnisering og samlede omkostninger

Det foreslåede UV-anlæg på Brenderup Renseanlæg er baseret på nedenstående data:

Brenderup Renseanlæg – Oplæg til design for UV-anlæg

Parameter	Specifikation	Værdi	Enhed	Bemærkninger
Dimensionering	Organisk	4.500	PE	Vinter: 3.500 PE, Sommer 4..500 PE
Belastning	Organisk	4.500	PE	
Dimensionering				
Vandmængde	Tørvejr - maks	110	m ³ /time	
	Regn - maks	220	m ³ /time	
	Årsmængde	584.000	m ³ /år	1.600 m ³ /døgn x 365 dage/år
E.coli	Maks.	40.000	antal/100 ml	Fra testperiode
Enterokokker	Maks.	12.000	antal/100 ml	Fra testperiode
Målsætning for desinfektion				
Periode		6	mdr/år	01.05 – 31..09
Behandlet mængde		292.000	m ³ /år	(middel 154 m ³ /time)
E.coli		1.000	antal/100 ml	Antaget
Enterokokker		400	antal/100 ml	Antaget
Omkostninger				
Anlægsudgifter	UV-anlæg	750.000	Kr.	
Løftepumpestation		200.000	Kr.	
I alt		950.000	Kr.	
Drift				
Afskrivning		65.000	Kr./år	Over 15 år
Drift og vedligehold		60.000	Kr./år	
I alt		125.000	Kr./år	
Enhedspris		0,42	Kr/m ³	292.000 m ³ /år

Vejle Centralrenseanlæg
Desinfektion af overløb
Regnvandsbassin
Kemidosering (Pereddikesyre)
Idéoplæg - Resumé
15. marts 2012



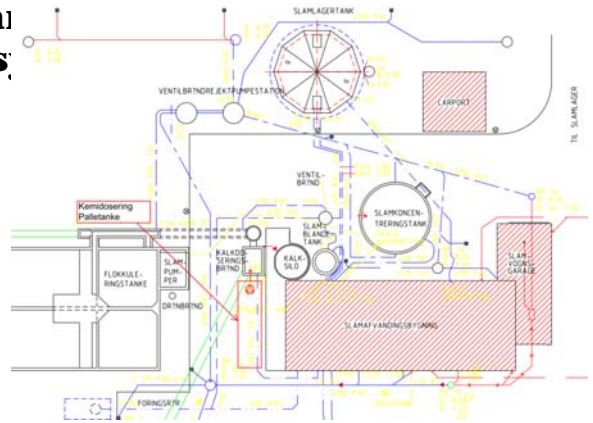
Hydraulisk belastning, hygiejnisering og samlede omkostninger

Det foreslåede doseringsanlæg på Vejle Centralrenseanlæg er baseret på nedenstående data:

Vejle Centralrenseanlæg – Oplæg til design for doseringsanlæg

Parameter	Specifikation	Værdi	Enhed	Bemærkninger
Dimensionering				
Vandmængde	Regn – maks	2.000	m ³ /time	
	Årsmængde	190.000	m ³ /år	180-200.000 m ³ /år
Udløbsværdier				
COD		100	mg O/l	Fra testperiode
SS		100	mg N/l	Fra testperiode
Ecoli		1.000.000	antal/100 ml	Fra testperiode
Enterokokker		200.000	antal/100 ml	Fra testperiode
Målsætning for desinfektion				
Ecoli		1.000	antal/100 ml	
Enterokokker		400	antal/100 ml	
Periode		6	mdr/år	
Behandlet mængde		100.000	m ³ /år	
Regnvandsbassin				
Samlet volumen		2.050	m ³	
Antal tanke		1	stk	
l x b x h		Ø 26,6 Dybde 3,7	m m	
Opholdstid	Regn – maks	62	minutter	
Omkostninger				
Anlægsudgifter	Pereddikesyre	310.000	Kr.	Palletanke
Drift				
Afskrivning		20.000	Kr./år	Over 15 år
Drift og vedligehold		85.000	Kr./år	
I alt		105.000	Kr./år	
Enhedspris		1,05	Kr/m ³	100.000 m ³ /år

Nr. Lyngby Renseanlæg
Desinfektion af afløb fra renses
med kemidosering (Pereddikes
Idéoplæg
15. marts 2012



Hydraulisk belastning, hygiejnisering og samlede omkostninger

Det foreslåede doseringsanlæg på Nr. Lyngby Renseanlæg er baseret på nedenstående data:

Nr. Lyngby Renseanlæg – Oplæg til design for doseringsanlæg

Parameter	Specifikation	Værdi	Enhed	Bemærkninger
Dimensionering	Organisk	23.000	PE	
Belastning	Organisk	20.200	PE	2011
Dimensionering				
Vandmængde	Tørvejr - maks	450	m ³ /time	
	Regn - maks	900	m ³ /time	
	Årsmængde	1.350.000	m ³ /år	Middel af 12 målinger 2011
Udløbsværdier				
BI ₅ (mod)		2,88	mg O/l	Middel egenkontrollen
Total-N		2,47	mg N/l	Middel egenkontrollen
Total-P		0,12	mg P/l	Middel egenkontrollen
E.coli	Maks.	30.000	antal/100 ml	Fra testperiode – før kalkdosering
Enterokokker	Maks.	2.200	antal/100 ml	Fra testperiode – før kalkdosering
E.coli	Middel	21	antal/100 ml	Fra testperiode – efter kalkdosering
Enterokokker	Middel	102	antal/100 ml	Fra testperiode – efter kalkdosering
Målsætning for desinfektion				
Periode		6	mdr/år	01.05 – 31.09
Behandlet mængde		675.000	M ³ /år	(middel 154 m ³ /time)
E.coli		1.000	antal/100 ml	Udledningstilladelse
Enterokokker		400	antal/100 ml	Antaget
Omkostninger				
Anlægsudgifter	Pereddikesyre	310.000	Kr.	Palletanke
Drift				
Afskrivning		20.000	Kr./år	Over 15 år
Drift og vedligehold		225.000	Kr./år	
I alt		245.000	Kr./år	
Enhedspris		0,36	Kr/m ³	675.000 m ³ /år

Der foretages på nuværende tidspunkt desinfektion af afløbsvandet på Nr. Lyngby Renseanlæg med kalkdosering – Samlede nuværende omkostning vurderes at være ca. 0,52 kr./m³.