



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# OptiSand

MUDP-rapport

Oktober 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Caroline Kragelund Rickers, Teknologisk Institut

Christian Holst Fischer, Teknologisk Institut

Henrik Rasmus Andersen, DTU

Kai Tang, DTU

Kamilla Marie Speht Hansen, DTU

Karen Klarskov Møller, Aarhus Vand

Tommas Leth, EnviDan

Søren Brønd, EnviDan

Peter Svensen, Dansand A/S

ISBN: 978-87-93710-97-9

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Sammenfatning og konklusion</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Sandfiltres funktion</b>	<b>9</b>
<b>5.</b>	<b>Opbygning af pilotskalasandfiltre</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>Drift af sandfiltre</b>	<b>13</b>
6.1	Monitorering af drift	13
6.2	Resultater	14
6.3	Overordnet kommentar på driften af pilotsandfiltrene	17
<b>7.</b>	<b>Nitrifikation og fjernelse af lægemidler</b>	<b>18</b>
7.1	Opbygning af laboratorieopstilling til eksperimenter	18
7.2	Analyser	19
7.2.1	Kvantificering af biomasse på sand	19
7.2.2	Nitrifikation	19
7.2.3	Spikingeksperimenter – fjernelse af lægemidler	19
7.3	Forsøgsperiode 2 – lav dosering af råspildevand	20
7.4	Forsøgsperiode 3 – høj dosering af råspildevand og dosering af mikronæringsstoffer	22
7.5	Omsætning af lægemidler	24
<b>8.</b>	<b>Konceptdesign og perspektivering</b>	<b>25</b>

# 1. Forord

Dette er slutrapport for projektet "Optimeret fjernelse af lægemidler i sandfiltre på renseanlæg - OptiSand" (herefter benævnt Optisand) under Miljøministeriets tilskudsordning MUDP. Projektet OptiSand er gennemført i perioden december 2016 til august 2018 i et samarbejde mellem DTU, Aarhus Vand A/S, Dansand A/S, EnviDan A/S og Teknologisk Institut.

Projektets styregruppe bestod af:

- Caroline Kragelund Rickers, Teknologisk Institut
- Henrik Rasmus Andersen, DTU
- Søren Brønd, Envidan A/S
- Karen Klarskov Møller, Aarhus Vand A/S
- Peter Svendsen, Dansand A/S.

Formålet med projektet var at udvikle og optimere funktionen af sandfiltre på renseanlæg, således at miljøfremmede stoffer (bl.a. lægemiddelrester) blev reduceret, samtidig med at evnen til at fjerne suspenderet stof blev bevaret. I projektet blev der udviklet en teknologi, der udnytter den eksisterende biofilm i sandfiltret, der samtidig ændres med hensyn til opbygning og driftsform. Den udviklede teknologi vil bidrage til en miljøvenlig og økonomisk effektiv reduktion af miljøfremmede stoffer i udløbsvandet fra renseanlæg.

## 2. Sammenfatning og konklusion

I Danmark og internationalt er der i dag stor bevågenhed omkring reduktion af uønskede stoffer fra spildevand for at undgå/minimere<sup>1,2</sup> forurening af recipienter. På nuværende tidspunkt bliver organisk stof, kvælstof og fosfor effektivt fjernet på spildevandsrensaneanlæg, men anlæggene er ikke gearret til at fjerne andre uønskede stoffer, som lægemidler og andre miljøfremmede stoffer. Medicinrester i spildevand og i vandmiljøet er et stort problem, fordi udledning af lægemidler potentielt kan skade dyrelivet og bidrage til udledning af antibiotikaresistente bakterier. Da medicin i Danmark primært indtages i eget hjem (> 95 %)<sup>3</sup>, og da de konventionelle aktivt slam-anlæg primært reducerer de letomsættelige medicinrester, havner de sværtomsættelige miljøfremmede forbindelser i dag i recipienterne.

I dette projekt var formålet at udvikle et sandfilter til spildevandsrensning og en metode til drift af sandfiltret, således at både en effektiv fjernelse af suspenderet stof blev sikret, og andelen af miljøfremmede stoffer (bl.a. lægemiddelrester) i udløbsvandet blev reduceret. I projektet blev der arbejdet med forskellige driftsmuligheder af sandfiltrene og med tilsætning af næringsstoffer for at fremme den optimale mikrobiologiske population. Det overordnede formål var, at denne driftsteknologi skulle kunne anvendes på mindre forsyninger og spildevandsanlæg, som ikke har mulighed for at anskaffe de eksisterende dyrere løsninger til rensning af lægemidler.

I projektet blev der konstrueret tre pilotskalasandfiltre, som blev opstillet ved Viby Renseanlæg og driftet over en periode på ni måneder. I perioden blev der gennemført forskellige driftsmanipulationer på sandfiltrene med henblik på at opbygge mere biofilm og mere kompetent biofilm på sandet, for at opnå højere fjernelsesrater af lægemiddelrester. Igennem hele forsøgsperioden var der en god partikel- og ammoniumreduktion. Dette indikerer, at de to sandfiltre fungerer efter hensigten på trods af, at der i perioder er gennemført manipulationer på sandfiltrene ift. driften (tilførsel af råspildevand, mikronæringsstoffer). Igennem manipulationerne var det i nogen udstrækning muligt at opbygge mere biofilm på sandet. Dog var en høj biomassekoncentration ensbetydende med en høj returskylningsfrekvens, idet gennemløbshastigheden skulle være uændret for ikke at reducere kapaciteten af sandfiltret. Ved hver returskylning blev mængden af biofilm på sandet reduceret kraftigt. Endvidere viste forsøgene, at det var muligt at opnå en biofilm, som havde en højere nitrifikationsrate.

Som det fremgår af nedenstående tabel, var fjernelsesgraden for langt hovedparten af de målte stoffer forholdsvis begrænset. Således opnås der ikke en fjernelsesgrad på mere end 10 % for fem af de anvendte modelstoffer. For begge pilotskalasandfiltre blev der opnået en betydelig bedre fjernelsesgrad i perioden fra november til januar for næsten alle de målte stoffer. Dette viser med tydelighed, at fjernelsesgraden kan påvirkes med manipulationer på sandfilteret. Den øgede fjernelse af de undersøgte stoffer vurderes i høj grad at kunne tilskrives den forøgede mængde biomasse på sandet i perioden fra november til januar. Idet det ikke var muligt at opbygge en større biomassekoncentration på sandet, uden at sandfiltrene blev tilstoppede, blev det besluttet ikke at gennemføre yderligere forsøg.

---

<sup>1</sup> EU 2000 Framework directive and directive for EQS

<sup>2</sup> Mogensen et al., 2007: Lægemidler og triclosan i punktkilder og vandmiljøet NOVANA-Screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 74 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 638. <http://www.dmu.dk/Pub/FR638.pdf>

<sup>3</sup> Mose Pedersen B, Nielsen, U., Halling-Sørensen, B. (2007). Begrænsning af humane lægemiddelrester og antibiotikaresistens i spildevand med fokus på reduktion ved kilden. Miljøprojekt 1189.

**TABEL 1.** Fjernelsesgrad efter 15 minutter

	Fjernelsesgrad efter 15 min (%)					
	Fuldskalasandfilter Viby Renseanlæg		Kontrolsandfilter	Folinsyre og kobber	Råspildevand	
	November 17	Januar 18	November 17	Januar 18	November 17 - Lav dosering	Januar 18 - Høj dosering
Clofibric acid	0,1	4,1	0,1	14	0,1	6,9
Bezafibrate	1,8	0,4	0,4	4	1,3	1,7
Gemfibrozil	6,3	2,3	1,9	10	2,3	4,7
1-H-benzotriazole	2,3	17,8	0,9	52	1,7	9,7
5-Methyl-1H- Benzotriazole	1,6		8,0	86	14,2	77,0
Ibuprofen	15,8		11,6		22,4	
Carbamazepine	0,3	0,0	0,3		0,1	0,0
Ketoprofen	3,2	0,0	1,3	13	1,9	11,2
Diklofenak	2,5	0,7	3,2	7	7,5	8,9

### 3. Introduktion

I Danmark og internationalt er der i dag stor bevågenhed omkring reduktion af uønskede stoffer fra spildevand for at undgå/minimere<sup>4,5</sup> forurening af recipienter. På nuværende tidspunkt bliver organisk stof, kvælstof og fosfor effektivt fjernet på spildevandsrensaneanlæg, men anlæggene er ikke gearret til at fjerne andre uønskede sværtomsættelige stoffer som lægemidler og andre miljøfremmede stoffer. Medicinrester i spildevand og i vandmiljøet er et stort problem, fordi udledning af lægemidler potentielt kan skade dyrelivet og bidrage til udledning af antibiotikaresistente bakterier. Da medicin i Danmark primært indtages i eget hjem (> 95 %) <sup>6</sup>, og da de konventionelle aktivt slam-anlæg primært reducerer de letomsættelige medicinrester, havner disse sværtomsættelige miljøfremmede forbindelser i dag i recipienterne. Der arbejdes i dag på at udvikle teknologier, der kan rense spildevand for lægemidler (fx på renseanlægget ved Herlev Sygehus samt i projektet MERMISS – NST-404-00217) ved kilden (hospitalet) eller på de lokale renseanlæg (MEREFF MST-141-01596).

Mange renseanlæg har sandfiltre installeret som en del af den tertiære rensning, hvor udløbsvand passerer igennem inden udledning til recipient. I dag er sandfiltrenes primære formål reduktion af partikler i udløbsvandet og fjernelse af næringsstoffer. Det er for nylig dokumenteret, at sandfiltre fra bl.a. renseanlæggene i Viby og Egå har en ringe effekt på nedbrydning af miljøfremmede stoffer, herunder medicinrester<sup>7</sup>. Desuden blev der i udløbet fra de to renseanlæg fundet seks miljøkritiske lægemiddelstoffer i koncentrationer, der ligger over PNEC-værdierne (predicted no effect concentration), hvilket viser nødvendigheden af en optimeret rensning for netop lægemidler.

I det afsluttede MUDP-projekt MERMISS<sup>8</sup> er der opnået en god rensning af lægemidler i spildevand, både fra hospital og fra almindelig husholdning (renseanlæg). Resultaterne er opnået gennem en biofilmbaseret løsning, nemlig Moving Bed Biofilm Reactor-princippet (MBBR), hvor langsomt voksende bakterier har mulighed for at etablere sig i en beskyttet biofilm. Herefter kan der gennem driften selekteres for bakterier, der er specialiseret i fjernelse af lægemidler. Denne teknologi er også anvendt som poleringsteknologi og er testet på udløbsspildevand fra Viby Renseanlæg. Her blev anvendt to MBBR-reaktorer i serie, som stimuleres til at danne en tykkere og mere aktiv biofilm ved periodisk tilsætning af lave koncentrationer af råspildevand<sup>9,10</sup>. Her er opnået en høj fjernelse af lægemidler som diklofenak (~65 %) og atenolol (>90 %), der ikke nedbrydes i aktivt slam<sup>6</sup>. Dette eksperiment viser, at det er muligt at stimulere biofilm til at opnå en langt højere evne til at nedbryde miljøfremmede stoffer som eksempelvis lægemidler. Dette kan muligvis også opnås i sandfiltre, som allerede findes på mange renseanlæg, og vil derfor være en oplagt mulighed for at opnå en reduktion af miljøfremmede stoffer i de omgivende recipienter.

<sup>4</sup> EU 2000 Framework directive and directive for EQS

<sup>5</sup> Mogensen et al., 2007: Lægemidler og triclosan i punktkilder og vandmiljøet NOVANA-Screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 74 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 638. <http://www.dmu.dk/Pub/FR638.pdf>

<sup>6</sup> Mose Pedersen B, Nielsen, U., Halling-Sørensen, B. (2007). Begrænsning af humane lægemiddelrester og antibiotikaresistens i spildevand med fokus på reduktion ved kilden. Miljøprojekt 1189.

<sup>7</sup> Måleprogram for lægemiddelstoffer, Egå og Viby renseanlæg, rapport udarbejdet af Bodil Mose Pedersen 2014

<sup>8</sup> <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2018/03/978-87-93614-81-9.pdf>

<sup>9</sup> Patentansøgning "Biological Removal of Micropollutants from Wastewater", S & G Ref P34490011

<sup>10</sup> Tang et al., 2017: Removal of pharmaceuticals in conventionally treated wastewater by a polishing moving bed biofilm reactor (MBBR) with intermittent feeding. *Bioresource Technology* 236 (2017) 77–86

I dette projekt var formålet at udvikle et sandfilter til spildevandsrensning og en metode til drift af sandfiltret, således at både en effektiv fjernelse af suspenderet stof blev sikret, og andelen af miljøfremmede stoffer (bl.a. lægemiddelrester) i udløbsvandet blev reduceret. De eksisterende sandfiltre giver, som beskrevet ovenfor, ikke nogen nævneværdig reduktion af miljøfremmede stoffer som eksempelvis lægemidler. Derfor var ønsket en yderligere udvikling af sandfiltreringskonceptet til at omfatte en optimeret biologisk fjernelse af lægemidler, samtidig med at den traditionelle partikelfiltrering blev opretholdt. Der blev arbejdet med forskellige driftsmuligheder af sandfiltrene og med tilsætning af næringsstoffer for at fremme den optimale mikrobiologiske population. Det er målet, at denne driftsteknologi også kan nå ud til de mindre forsyninger og spildevandsanlæg, som ikke har mulighed for at anskaffe de eksisterende dyrere løsninger til rensning af lægemidler. Dermed vil miljøforbedringen kunne udbredes til hele landet og således forbedre vandmiljøet betragteligt.



## 4. Sandfiltres funktion

Sandfiltrenes primære funktion er som udgangspunkt at reducere mængden af partikler i udløbsvandet og på nogle renseanlæg også at fjerne næringsstoffer. For at få en grundig indsigt i sandfiltrenes generelle funktion på renseanlæggene blev projektet initieret med et litteraturstudie af sandfiltrenes funktion med særligt fokus på reduktion af miljøfremmede stoffer.

Der blev gennemført en litteraturundersøgelse med henblik på at identificere litteratur, som beskriver nedbrydning af lægemidler i sandfiltre. Ved litteraturundersøgelsen blev identificeret et enkelt relevant studie udført på udløbsvand fra renseanlæg. Litteraturundersøgelsen havde til formål dels at indhente relevant information om reduktionseffektivitet, driftsforhold og systemopbygning til brug for designfasen, dels at imødegå eventuelle problemer med patentbeskyttelse på lignende systemer.

Litteraturundersøgelsen viste, at sandfiltre overvejende anvendes som en behandlingsteknologi til at fjerne uorganiske forbindelser og partikulært materiale efter sedimentation. I det seneste årti er der dog et mindre antal studier, som har undersøgt omsætningen af udvalgte pesticider og miljøfremmede stoffer, herunder lægemidler, i sandfiltre. De fleste af disse studier fokuserer dog på omsætning af pesticider ifm. drikkevandsbehandling i fuldskala<sup>11</sup>.

Aarhus Vand igangsatte i august 2013 et måleprogram for Egå og Viby renseanlæg med det formål at afklare eventuelle forskelle i lægemiddelbelastningen på de to renseanlæg, og hvordan forekomsten af lægemidler reduceres i løbet af vandbehandlingen<sup>12</sup>. Egå Renseanlæg modtager spildevand fra oplandet samt fra Aarhus Universitetshospital, Skejby, hvorimod Viby Renseanlæg udelukkende modtager husholdningsspildevand. Kortlægningen kunne således bidrage til at afklare, hvorledes hospitalsspildevand med en forventet stor koncentration af lægemidler kunne indvirke på recipienten gennem forhøjede udløbskoncentrationer af lægemidler. Begge renseanlæg benytter sandfiltrering efter den biologiske rensning. På Viby Renseanlæg doseres pereddikesyre inden sandfiltreringen. Formålet med projektet var derfor også at vurdere effekten af sandfiltrering og effekten af dosering med pereddikesyre over for spildevandets indhold af lægemiddelstoffer. Der kunne ikke dokumenteres nogen entydig rensningseffekt af sandfiltreringen. Således var der for de enkelte lægemiddelstoffer stor forskel i fjernelsesgraden i de to renseanlægs sandfiltre. For 10 stoffer målte negative fjernelsesgrader, mens der for seks stoffer blev registreret positive fjernelsesgrader. Sandfiltrering var imidlertid effektiv over for fjernelse af kontraststoffer. Baseret på sammenligninger mellem PNEC (Predicted No Effect Concentrations) og koncentrationer af lægemiddelstoffer i udløbene fra renseanlæggene blev følgende syv lægemiddelstoffer udpeget som de mest miljøkritiske: carbamazepin, ciprofloxacin, clarithromycin, diklofenak, erythromycindehydrat, ifosfamid og venlafaxin. Overraskende blev der identificeret flere miljøkritiske lægemidler i udløbet fra Viby Renseanlæg, som ikke tilføres spildevand fra hospitaler, sammenlignet med Egå Renseanlæg. Dette indikerer, at der er behov for også at reducere miljøfremmede stoffer, herunder lægemidler, fra de almindelige renseanlæg for at sikre recipienter mod miljøkritiske stoffer.

Zearly og Summers (2012) har undersøgt omsætningen af 34 pesticider og lægemidler i et sandfilter i laboratorieskala<sup>13</sup>. Ikke overraskende varierer omsætningen meget: fra ingen omsætning til næsten total omsætning. Således observeres der ingen omsætning af eksempelvis lægemidlet carbamazepi-

<sup>11</sup> Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking water treatment processes?, Water research 47 (2013) 5955-5976

<sup>12</sup> Måleprogram for lægemiddelstoffer, renseanlæggene i Egå og Viby, juni 2014

<sup>13</sup> Zearley TL\* and Summers RS (2012) Removal of Trace Organic Micropollutants by Drinking Water Biological Filters, Environ. Sci. Technol. 46, 9412-9419

ne og pesticiderne atrazin og diuron, hvorimod lægemidlet ibuprofen omsættes fuldstændigt. Undersøgelserne er gennemført ved to forskellige opholdstider: 7,9 minutter og 15,8 minutter (empty bed contact time) i filtret. For mange af de undersøgte stoffer stiger omsætningen ved en forlænget opholdstid i filtret. I undersøgelsen er der anvendt sand fra et eksisterende sandfilter. På trods af dette observeres der en øget omsætningsrate over tid for flere af de undersøgte pesticider og lægemidler, hvilket indikerer, at mikrobiologien tilpasses over tid. For flere af de undersøgte stoffer opnås de bedste omsætningshastigheder således efter næsten ét års tilpasning.

I et nyligt studie af Escolá Casas & Bester er omsætningen i sandfiltre af syv miljøfremmede stoffer (diklofenak, propranolol, iopromid, iohexol, iomeprol, tebuconazol og propiconazol) blevet undersøgt<sup>14</sup>. Ved en opholdstid på  $0,012 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ t}^{-1}$  (svarende til ca. 5 timer) blev der observeret en reduktionsgrad på 41 %, 94 %, 58 %, 57 % og 85 % for henholdsvis diklofenak, propranolol, iopromide, iohexol og iomeprol. For disse stoffer blev det endvidere vist, at omsætningsgraden er afhængig af opholdstiden (i studiet varierende fra 4 til 35 timer), hvorimod omsætningsgraden af tebuconazol og propiconazol ikke afhæng af opholdstiden i filtret. Opholdstiden er i dette studie betydeligt længere end i studiet fra Zearyley, hvilket der vil blive arbejdet med i nærværende projekt. De rapporterede reduktionsratekonstanter er på grund af den lange opholdstid meget lave.

I et lidt ældre studie af Zuehlke er omsætningen af fenazon-lignede stoffer i sandfiltre undersøgt<sup>15</sup>. Omsætningsgraden varierede i studiet mellem 46 % og 94 % afhængigt af typen af fenazonlignende stof. Ligesom i andre studier blev det her påvist, at omsætningsgraden øges ved forlænget opholdstid.

I et nyligt publiceret studie med MBBR som efterpoleringsteknologi på udløbsvand fra renseanlæg er omsætningsgraden af lægemidler blevet dokumenteret<sup>16</sup>. Gennem et patenteret driftsregime lykkedes det at opretholde en meget aktiv og kompetent biomasse på carriermateriale, og omsætningshastigheder blev undersøgt ved forskellige opholdstider (HRT=4 og 1 time). Omsætningshastigheder normaliseret til biomasse blev sammenlignet med andre studier og viste markant højere omsætning for bl.a. diklofenak, atenolol, metoprolol. Studiet demonstrerede, at det er muligt at opnå en kompetent biofilm gennem intermitterende drift og derved en signifikant større omsætning af lægemidler.

På trods af et stigende fokus på omsætning af miljøfremmede stoffer i sandfiltre fastslår et nyligt litteraturstudie, at hovedparten af de gennemførte studier alene forholder sig til omsætningen og ikke til de bagvedliggende processer og driftsforhold for sandfiltre<sup>17</sup>. Således efterlyses en systematisk undersøgelse af omsætning af miljøfremmede stoffer i sandfiltre med fokus på drift og på dannelse af 'persistent transformation products'. Nærværende projekt har netop til formål at undersøge, hvorledes driften af sandfiltret influerer på omsætningen af lægemidler, hvorfor projektet forventes at kunne bidrage til den aktuelle udvikling på området.

---

<sup>14</sup> Escolá Casas and Bester (2015). Can those organic micro-pollutants that are recalcitrant in activated sludge treatment be removed from wastewater by biofilm reactors (slow sand filters)?, *Science of the Total Environment* 506–507, 315–322

<sup>15</sup> Zuehlke et al., (2007). Investigation of the behavior and metabolism of pharmaceutical residues during purification of contaminated ground water used for drinking water supply. *Chemosphere*. 2007 Nov; 69(11):1673-80. Epub 2007 Jul 26.

<sup>16</sup> Tang et al., 2017: Removal of pharmaceuticals in conventionally treated wastewater by a polishing moving bed biofilm reactor (MBBR) with intermittent feeding. *Bioresource Technology* 236 (2017) 77–86

<sup>17</sup> Benner et al., (2013). Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking water treatment processes?, *Water research* 47 (2013) 5955-5976

## 5. Opbygning af pilotskalasandfiltre

For at undersøge sandfiltrenes evne til at fjerne lægemidler ved forskellige driftsstrategier blev der anvendt pilotskalasandfiltre, som tillader manipulation af driftsbetingelserne. Det blev valgt at anvende pilotskala, fordi manipulering af fuldskalasandfiltre ikke er en mulighed, da udløbsvandet ikke må kompromitteres. Således blev der konstrueret tre pilotskalasandfiltre, som blev opstillet på Viby Renseanlæg, hvorved disse kunne drives under aktuelle betingelser og hvor forskellige manipulationer kunne dokumenteres for at identificere det optimale design og drift (se FIGUR 1).

Det var meningen, at der ved forsøgets start skulle opbygges seks mindre laboratorieskalasandfiltre, som skulle stå på Viby Renseanlæg. Men ved nøjere eftertanke blev det besluttet at opbygge tre pilotskalasandfiltre for at opnå mere realistiske forhold.

Sandfiltrene blev opbygget med henblik på at efterligne de eksisterende sandfiltre på Viby Renseanlæg (se FIGUR 2):

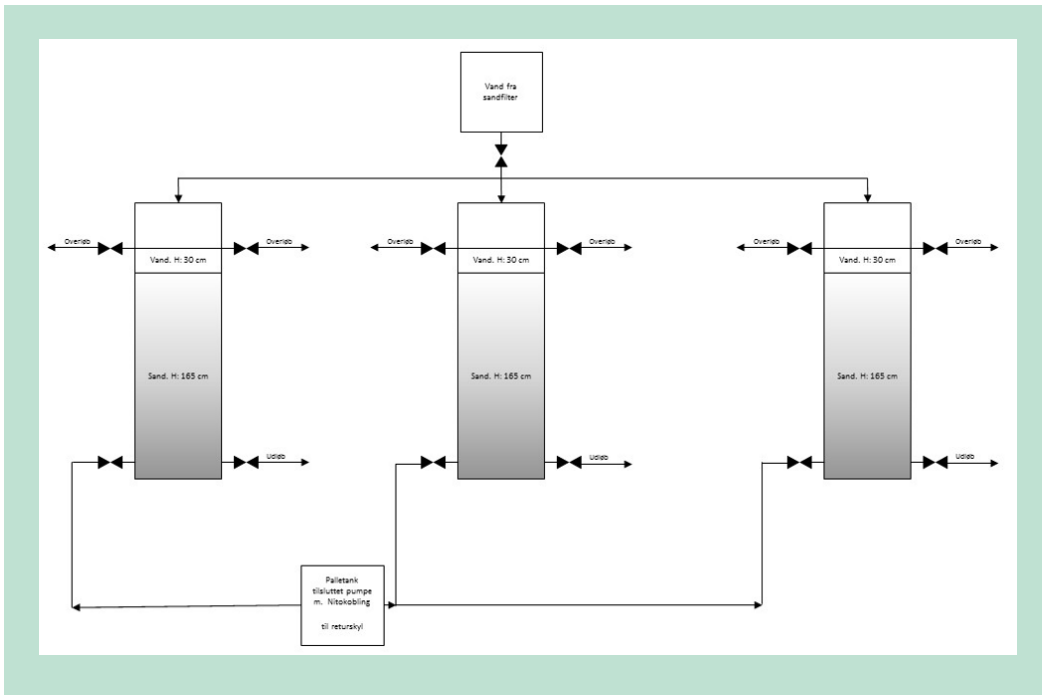
- Sandhøjde på 165 cm
- Gennemløbshastighed på 7 m/t. Svarende til en opholdstid på 15 min
- Mulighed for returskyllning.

Gennemløbshastigheden blev kontrolleret ved justering af kuglehane på udløb fra sandfiltrer. Vandet blev tilført sandfiltrene ved hjælp af en dykpumpe. Højden på vandspejlet var den samme for alle sandfiltre og blev defineret af overløbet.

Returskyl blev gennemført ved at stoppe tilførslen af vand til toppen af sandfiltrene og i stedet pumpe vand op igennem sandfiltrene. Returskyllevandet blev bortledt gennem overløbet.



FIGUR 1. Pilotskalasandfiltrene.



**FIGUR 2.** Opbygning af pilotskalasandfiltrene.

## 6. Drift af sandfiltre

For en effektiv fjernelse af lægemidler i sandfiltret kræves en aktiv mikrobiologi, der er sammensat af bakterier, som er i stand til at nedbryde lægemidler. Disse mikroorganismer er ikke til stede i tilstrækkeligt omfang i de nuværende sandfiltre pga. de nuværende driftsformer, men med ændringer i drift og/eller tilsætning af næringsstoffer kan den optimale mikrobiologi fremmes og derved fremme lægemiddelfjernelsen i sandfiltrene. Det er vist muligt i flere studier<sup>18</sup>, hvor opholdstiden dog har vist sig at være for lang til at kunne implementeres i praksis. Ved den rette teknologiudvikling og optimering af opbygning og drift af sandfiltrene, er der potentiale for en forbedret fjernelse inden for realistiske opholdstider.

I projektet er der anvendt udløbsvand fra de eksisterende sandfiltre på Viby Renseanlæg. Udløbsvandet blev valgt for at minimere antallet af returskylninger på pilotskalasandfiltrene, som skulle gennemføres manuelt.

I nærværende projekt er der anvendt tre forskellige driftsscenerier:

### *Indkøring af sandfiltrene – juli 2017 til september 2017*

Under indkøringen var der til en start tre sandfiltre, hvoraf det ene sandfilter blev beskadiget ved et uheld. Herefter er der kun anvendt to sandfiltre, da omkostningerne ved igen at sætte det sidste i drift blev vurderet at være for store.

### *Seriel drift af sandfiltrene – september 2017 til december 2017*

1. Kontrol: Der blev tilført spildevand fra udløbet af sandfiltrene på Viby Renseanlæg.
2. Tilførsel af råspildevand (6 g COD pr. uge). Der blev kontinuert tilført spildevand fra udløbet af sandfiltrene på Viby Renseanlæg. Periodevis blev der tilført råspildevand til sandfiltrene for at booste bakteriernes nedbrydning af lægemidler.

### *Seriel drift af sandfiltrene – december 2017 til marts 2018*

1. Tilførsel af mikronæringsstoffer: Der blev tilført spildevand fra udløbet af sandfiltrene på Viby renseanlæg. Periodevis blev der tilført mikronæringsstoffer i form af folat og kobber.
2. Tilførsel af råspildevand (18-36 g COD pr. uge). Der blev tilført spildevand fra udløbet af sandfiltrene på Viby Renseanlæg. Periodevis blev der tilført råspildevand i en øget mængde sammenlignet med den tidligere driftsperiode.

Det tilsigtede flow gennem sandfiltrene var 220 l/timen svarende til en opholdstid på ca. 15 min.

### **6.1 Monitorering af drift**

Sandfiltrene blev tilset 3 gange ugentligt for at kunne opfange eventuelle driftsforstyrrelser hurtigst muligt. Følgende måle- og analysemetoder blev anvendt til overvågning og styring af pilotskalasandfiltrene:

#### *Flow*

Flow gennem sandfiltrene blev målt 3 gange ugentligt ved at måle mængden af udløbsvand over en given tidsperiode. Det tilsigtede flow gennem sandfiltrene var 220 l/time. Ved et lavere flow tilstoppe sandfiltrene, og der blev returskyllet manuelt.

#### *Suspenderet stof*

---

<sup>18</sup> Escolá Casas and Bester (2015). Can those organic micro-pollutants that are recalcitrant in activated sludge treatment be removed from wastewater by biofilm reactors (slow sand filters)?, Science of the Total Environment 506–507, 315–322

Mængden af suspenderet stof blev målt 3 gange ugentligt. Målingerne blev foretaget ved at udtage en kendt mængde indløbs- og udløbsvand fra sandfiltrene, som efterfølgende blev filtreret. Det anvendte filter blev dernæst placeret i en 105 grader varm ovn i 24 timer. Herefter blev filtret afvejet, og mængden af suspenderet stof i prøven blev bestemt.

#### Kemiske analyser

Følgende parametre blev analyseret 1 gang ugentligt på en Hach Lange robot Rohasys, AP 3800 Multi under anvendelse af Hach Lange kits:

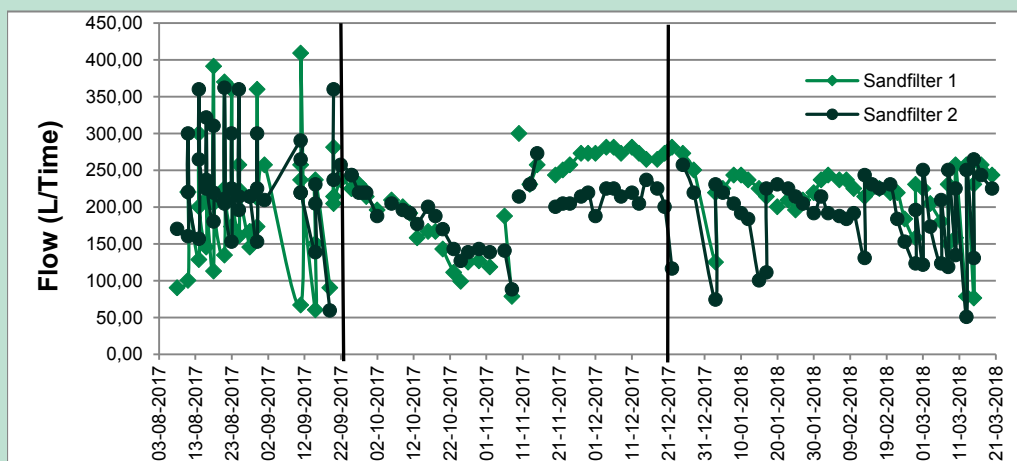
COD: LCK 414

NH<sub>4</sub>-N: LCK 303/304

## 6.2 Resultater

### Flow

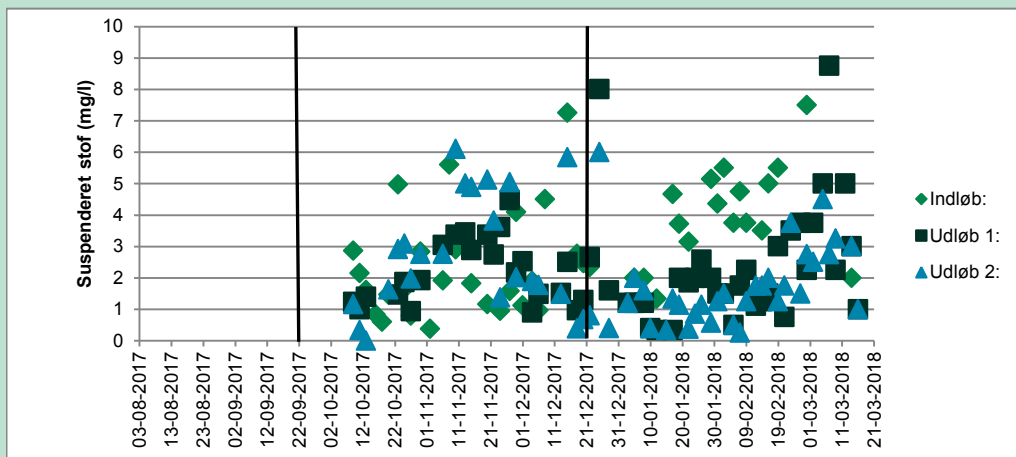
Flowet gennem sandfiltrene i de tre driftsperioder ses på FIGUR 3. I den første driftsperiode var det nødvendigt at returskylle meget hyppigt for at opretholde den ønskede gennemløbshastighed. I driftsperiode 2 blev returskyllet forbedret, hvilket bevirkede, at flowet kunne opretholdes i længere perioder, uden at filtrene i driftsperiode 2 og 3 skulle returskylles. I driftsperiode 3 blev mængden af råspildevand øget, hvilket bevirkede, at filtrene skulle returskylles hyppigere. I alle perioder observeres der meget pludselige fald i gennemløbshastigheden, hvilket skyldes, at der på anlægget har været slamflugt, hvorfor indløbsvandet må have haft højt indhold af partikulært materiale.



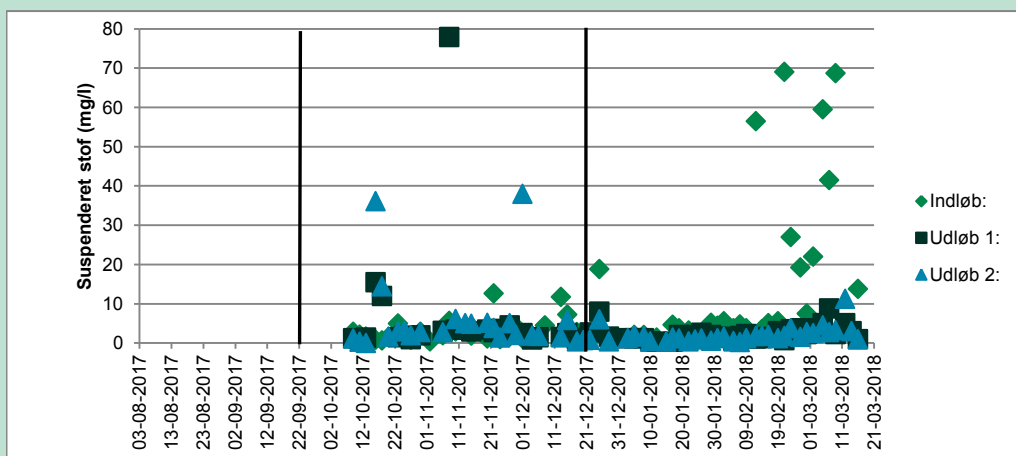
**FIGUR 3.** Flow gennem pilotskalasandfiltrene. Vertikale sorte linjer angiver de forskellige driftsperioder.

### Suspenderet stof

Koncentrationen af suspenderet stof i indløbs- og udløbsvandet er vist i FIGUR 4 og FIGUR 5. Indløbskoncentrationen til de to sandfiltre er overvejende omkring 1 til 5 mg/l. Dog observeres der i korte perioder meget høje indløbskoncentrationer (se FIGUR 5) i forbindelse med slamflugt. I alle forsøgsperioder observeres der en kraftig reduktion i suspenderet stof gennem sandfiltrene. Udløbskoncentrationen er i gennemsnit ca. 66 % lavere for både sandfilter 1 og 2 i forhold til indløbskoncentrationen, hvis der ses bort fra perioder omkring slamflugt. Altså er der en meget god partikelfjernelse i de to pilotskalasandfiltre.



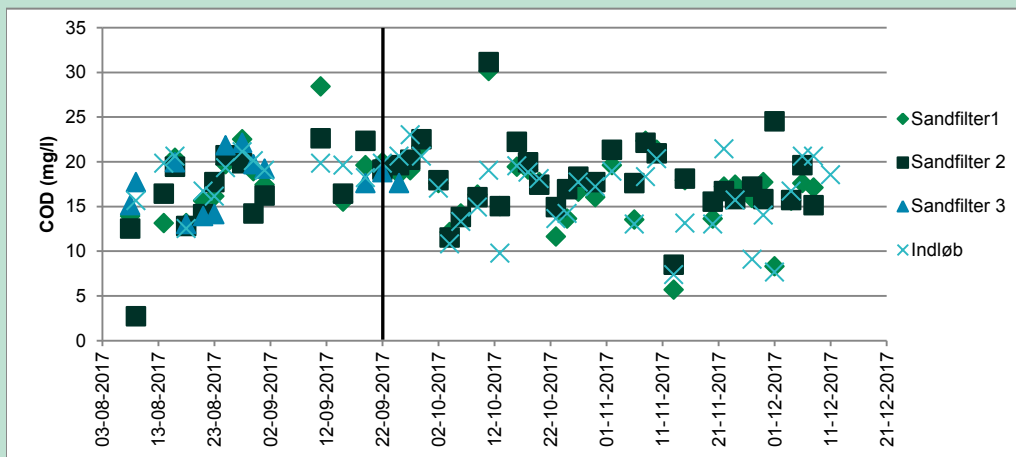
**FIGUR 4.** Suspenderet stof i indløb og udløb på begge sandfiltre. Vertikale sorte linjer angiver de forskellige driftsperioder.



**FIGUR 5.** Suspenderet stof i indløb og udløb på begge sandfiltre. Vertikale sorte linjer angiver de forskellige driftsperioder. De meget høje koncentrationer af suspenderet stof i ind- og udløb var i forbindelse med slamflugt på renseanlægget.

### COD

COD-koncentrationen i indløbs- og udløbsvandet er vist i FIGUR 6. Som det fremgår af figuren, observeres der ikke nogen stor ændring i koncentrationen, hvilket skyldes, at COD, som tilføres sandfiltret, er meget inert (sværtomsætteligt). Dette indikerer, at mikroorganismene overvejende er i kontakt med sværtomsætteligt, organisk materiale, som er vanskeligt at vækste af. På denne baggrund blev det besluttet at stoppe COD-målingerne i slutningen af driftsperiode 2.

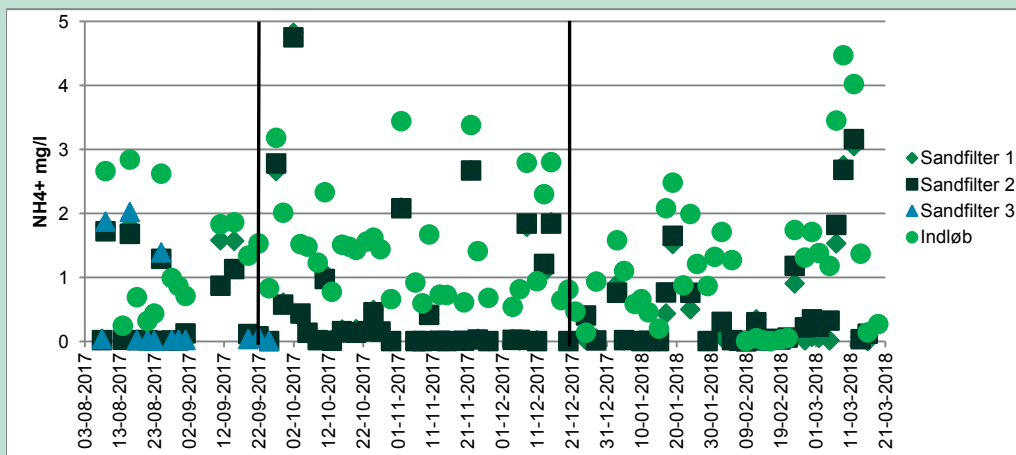


**FIGUR 6.** COD i indløb og udløb på begge sandfiltre. Vertikale sorte linje angiver de forskellige driftsperioder.

#### Ammonium

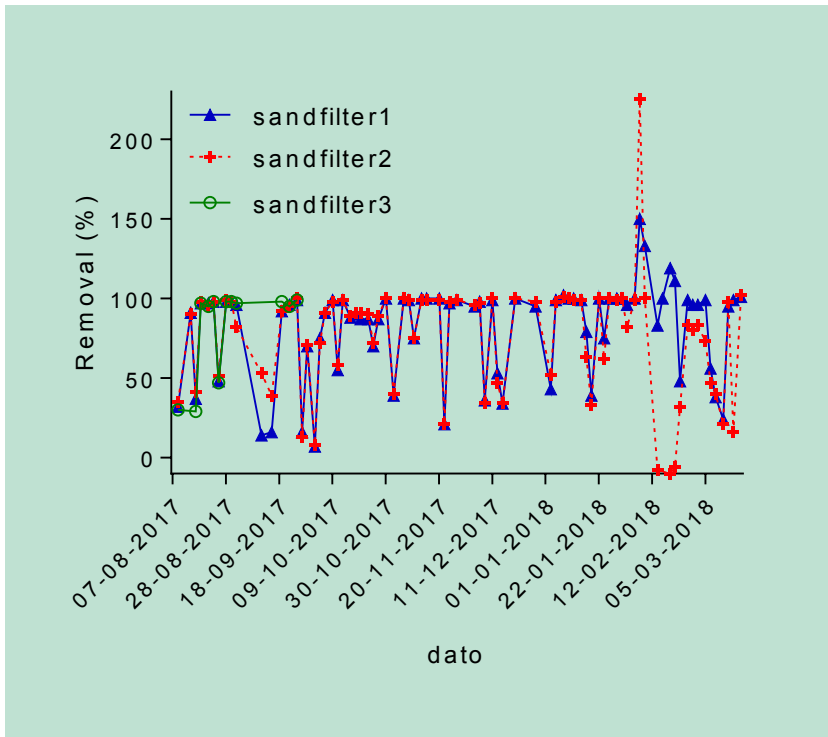
Koncentrationen af ammonium i indløbs- og udløbsvandet er vist i FIGUR 7. Indløbskoncentrationen til de to sandfiltre er overvejende omkring 0,3 til 3 mg/l. Dog observeres der i korte perioder meget høje indløbskoncentrationer (se FIGUR 5) i forbindelse med slamflugt. I alle forsøgsperioder observeres der en kraftig reduktion i ammonium (se FIGUR 8).

Udløbskoncentrationen er således i gennemsnit ca. 62 % lavere for udløbskoncentrationen i forhold til indløbskoncentrationen. Altså er der en meget god omsætning af ammonium i de to pilotskalasandfiltre.



**FIGUR 7.** Ammonium i indløb og udløb på begge sandfiltre. Vertikale sorte linjer angiver de forskellige driftsperioder.





**FIGUR 8.** Ammoniumfjernelsesrate.

### 6.3 Overordnet kommentar på driften af pilotsandfiltrene

For alle tre forsøgsperioder har der været en god partikel- og ammoniumreduktion. Dette indikerer, at de to sandfiltre fungerer efter hensigten på trods af, at der i perioder er gennemført manipulationer på sandfiltrene ift. driften (tilførsel af råspildevand, mikronæringsstoffer). Der har været perioder, hvor flowene i sandfiltrene faldt, og årsagen blev identificeret som værende slamflugt.

# 7. Nitrifikation og fjernelse af lægemidler

I dette projekt var ønsket at udvikle et sandfiltreringskoncept, der omfattede en biologisk fjernelse af miljøfremmede stoffer, herunder lægemidler. Tidligere projekt, MERMIS<sup>19</sup>, har vist, at for at opnå en høj fjernelsesgrad for miljøfremmede stoffer i et MBBR-anlæg (moving bed bioreactor), skal der være en effektiv nitrificerende bakteriepopulation til stede. Derfor var første skridt at undersøge, hvorvidt der foregik en effektiv nitrifikation i sandfiltrene. Desuden blev der i løbet af projektet arbejdet med forskellige tilsætninger af mikronæringsstoffer og råspildevand (som beskrevet i afsnit **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**), der potentielt kunne stimulere bakterierne til en bedre fjernelse af de uønskede stoffer. For at estimere sandfiltrenes evne til at nedbryde lægemidler blev der udført spikingeksperimenter med tilsætning af ni forskellige miljøfremmede stoffer (bl.a. lægemidler og korrosionshæmmere), hvor fjernelsen blev målt over en periode på ca. 24 timer.

## 7.1 Opbygning af laboratorieopstilling til eksperimenter

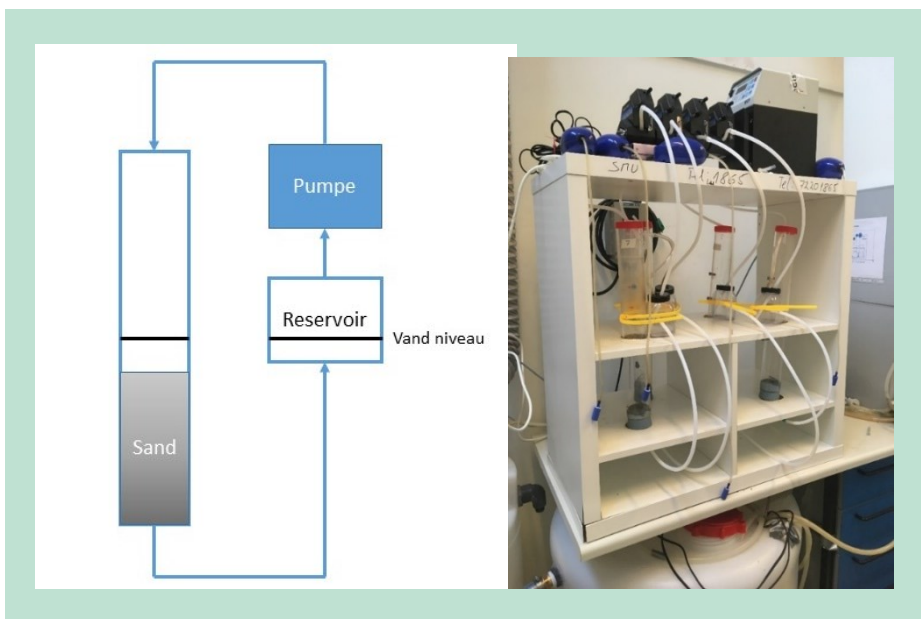
For at kunne måle sandfiltrenes evne til nedbrydning af miljøfremmede stoffer blev der opbygget en opstilling i laboratoriet, idet tilsætning af lægemidler ikke var muligt i pilotskalafiltrene på grund af deres store volumen.

Sandfiltrene blev opbygget som et lukket system (FIGUR 9), hvor ændringer i koncentrationer umiddelbart kan følges over tid. Sandfiltrene blev opbygget af 45 cm lange rør med en diameter på ca. 5 cm. Vandet pumpes med en peristaltisk pumpe fra et reservoir til toppen af sandfiltrene. Ved hjælp af tyngdekraften flyder vandet gennem sandfiltrene og tilbage til reservoiret. Sandfiltrene er konstrueret, så mængden af 'frit' vand er så lille så muligt, hvorved kontakttiden mellem sand og vand maksimeres. Opstillingen bestod af fire forskellige sandfiltre:

- Viby: Sand taget direkte fra fuldskalandsfilter på Viby Renseanlæg
- Eksperimentkontrol: Sand fra pilotsandfilter 1
- Eksperimentmanipulation: Sand fra pilotsandfilter 2
- Abiotisk: Sand fra Viby Renseanlæg, der har været brændt af i ovnen (105 °C) i fem dage.

---

<sup>19</sup> <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2018/03/978-87-93614-81-9.pdf>



**FIGUR 9.** Til venstre: skematisk opbygning af sandfilteropstillingen i laboratoriet. Til højre: billede af opstillingen med fire laboratorieskalasandfiltre.

## 7.2 Analyser

I de to sidste forsøgsperioder er der af flere omgange udtaget sand fra pilotskalasandfiltrene. Mængden af biomasse på sandet, evnen til at nitrificere og omsætningen af lægemidler er efterfølgende blevet bestemt. Fremgangsmåde er beskrevet i de følgende afsnit.

### 7.2.1 Kvantificering af biomasse på sand

En given sandmængde er først blevet tørret ved 105 °C i 48 timer. Herefter er alt organisk materiale blevet brændt af ved 550 °C i 24 timer. Forskellen i vægt mellem det tørre sand og det afbrændte sand er anvendt som mål for mængden af organisk materiale på sandet.

### 7.2.2 Nitrifikation

Da det tidligere er vist, at nitrifikationseffektiviteten korrelerer med evnen til lægemiddelfjernelse, er dette forsøg en nem og billig måde at få en indikation om reduktionshastigheden af miljøfremmede stoffer. Således er sandets nitrifikationseffektivitet blevet bestemt ved hvert spikingeksperiment.

Til nitrifikationseksperimentet er opstillingen i afsnit 7.1 blevet anvendt. Til forsøgene er der anvendt udløbsvand blandet med en nitrifikationsbuffer uden nogen ekstern kulstofkilde. Koncentrationen af nitrat er derfor som udgangspunkt meget lille. Med jævne mellemrum er der over en periode på tre timer udtaget prøver, og koncentrationen af nitrat blev målt ved alle prøvetagninger.

### 7.2.3 Spikingeksperimenter – fjernelse af lægemidler

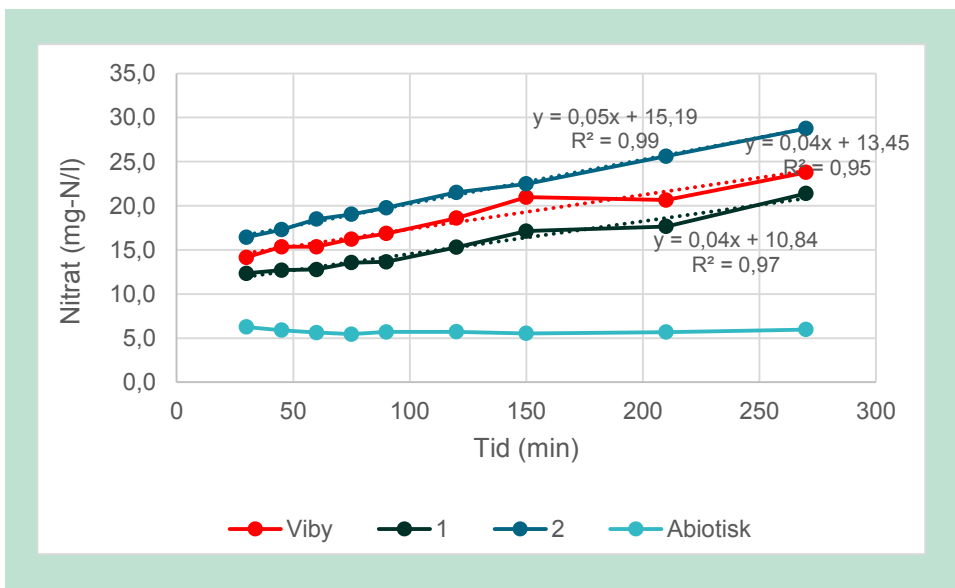
Til eksperimenterne er opstillingen i afsnit 7.1 blevet anvendt. Til forsøgene er der anvendt ca. 400 ml af både vand og sand. Til vandreservoiret er der doseret stamopløsning indeholdende ni forskellige miljøfremmede stoffer (bl.a. lægemidler og korrosionshæmmere: clofibrinsyre, ibuprofen, gemfibrozil, carbamazepin, ketoprofen, diklofenak 5-m-1-Hbezafibrat og 1-H-benzotriazol). I en periode på ca. 24 timer er udtaget prøver fra vandreservoiret. Efter udtag er eventuel biologisk aktivitet stoppet ved dosering 30 % v/v acetonitril. Herefter er indholdet af lægemidler bestemt ved direkte analyse med HPLC-MS-MS (HP series 1100 HPLC system med Waters Micromass Quattro Ultima triplequad mass spectrometer) kørt med 0,1 % myresyre i acetonitril. Metodens kvantifikationsgrænse var generelt 0,28-0,43 µg/L, men blev forhøjet til 1,4 µg/L for ketoprofen og 10 µg/L for ibuprofen.

### 7.3 Forsøgsperiode 2 – lav dosering af råspildevand

I forsøgsperioden blev der doseret en lav mængde råspildevand til pilotskalasandfilter 2, hvorimod pilotskalasandfilter 1 kun modtog udløbsvand fra de eksisterende sandfiltre ved Viby Renseanlæg. Sandet blev udtaget i slutningen af forsøgsperioden, dvs. at manipulationerne havde været undervejs i mere end to måneder, hvilket sikrer, at sandfiltrene er i ligevægt.

Som det fremgår af FIGUR 10, observeres der for pilotskalasandfilter 2 (eksperimentmanipulation) en højere nitratproduktionsrate, og dermed nitrifikationsrate, end for fuldskalafiltret fra Viby og sandfilter 1 (eksperimentkontrol). Dette indikerer altså, at det manipulerede sandfilter har en højere biologisk aktivitet, hvorimod kontrollen (pilotskalasandfilter 1) er på niveau med fuldskalasandfiltreret på Viby Renseanlæg.

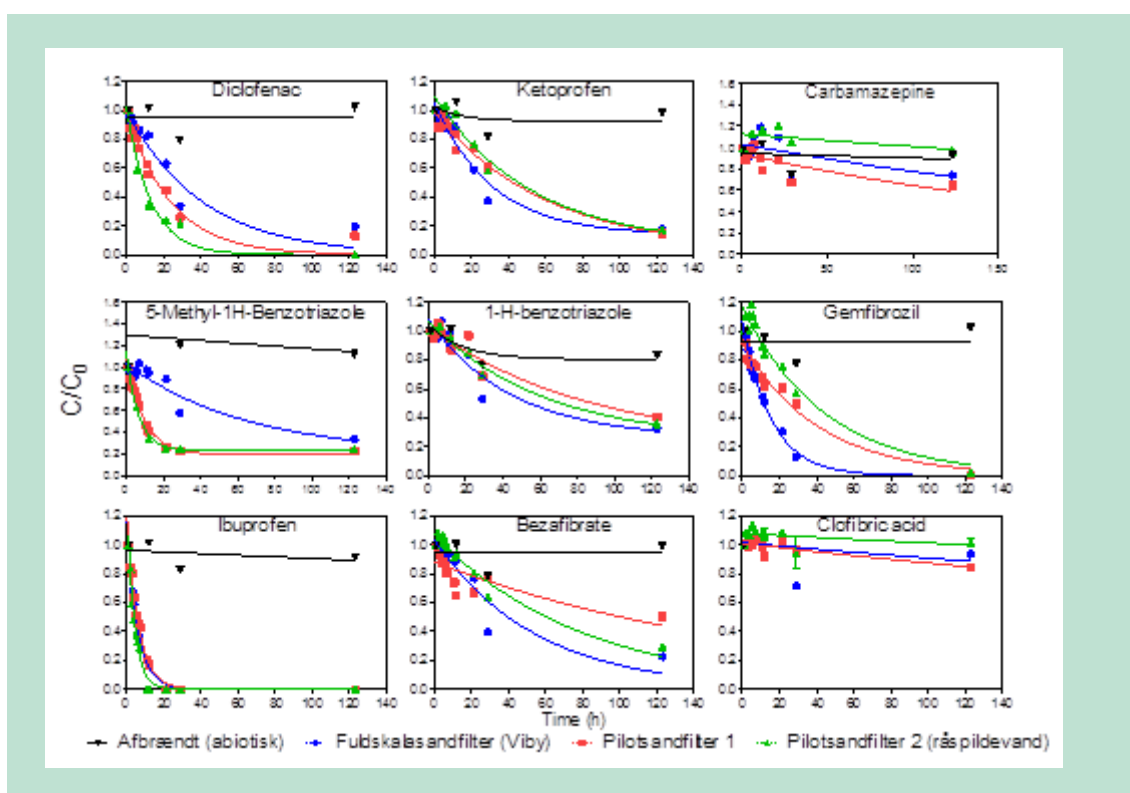
Mængden af biomasse på det anvendte sand er langt højere for pilotskalasandfilter 2 ift. pilotskalasandfilter 1 (se TABEL 1/TABEL 2), hvilket tilskrives doseringen af råspildevand. Derimod er der langt mere biomasse på fuldskalasandfiltret ved Viby Renseanlæg, hvilket formodentlig er forårsaget af et højere indhold af partikulært materiale. Relateres nitrifikationsraten til biomassen på sandet, observeres det, at aktiviteten for sandfilter 1 er højere end for sandfilter 2. Den højeste nitratproduktionsrate i forhold til biomasse blev observeret i de to pilotskalasandfiltre, hvor raten var højere end nitratproduktionsraten observeret i fuldskalafiltret fra Viby Renseanlæg. Det ser derfor ud til, at der er opnået en højere nitrifikationsaktivitet med en mindre biomasse, hvilket indikerer en kompetent biofilm i forhold til nedbrydning af lægemidler.



FIGUR 10. Nitrifikationsrate.

**TABEL 2.** Nitrifikationsaktivitet og biomasse på sand.

	NO <sub>3</sub> -produktion - mg NO <sub>3</sub> -N/l/min	Biomasse g biomasse pr. 400 ml sand	NO <sub>3</sub> -produktion - mg NO <sub>3</sub> -N/l/min/g biomasse
Fuldskalasandfilter Viby Renseanlæg	0,009	5,2	0,002
Pilotsandfilter 1	0,016	0,9	0,007
Pilotsandfilter 2	0,013	2,1	0,014
Afbrændt (abiotisk)	-	0	-



**FIGUR 11.** Koncentration af ni udvalgte lægemidler/sprøjtemidler.

Som det fremgår af **FIGUR 12**, fjernes de miljøfremmede stoffer fra sandfiltrene over tid. Her er vist fjernelsesraterne fra de fire eksperimentelle sandfiltre (afbrændt (abiotisk), fuldskalasandfilter Viby Renseanlæg samt de to pilotskalafiltre). De to pilotskalasandfiltre, der er opstillet, er generelt gode til at fjerne miljøfremmede stoffer, og i visse tilfælde bedre end det eksisterende fuldskalasandfilter. Omsætningshastigheden for lægemidlerne er ikke normaliseret i forhold til mængden af biomasse på sandfiltrene. Normaliseres ratekonstanterne med biomasse-mængden, ses et andet billede.

**TABEL 3.** Ratekonstanter normaliseret til biomasse

	Afbrændt (abiotisk)	Fuldskalasandfilter Viby Renseanlæg	Pilotsandfilter 1	Pilotsandfilter 2 - råspildevand
Clofibrinsyre	NA	0,0016	0,0016	0,0009
Bezafibrat	NA	0,0271	0,0064	0,0187
Gemfibrozil	0,0000	0,0946	0,0276	0,0331
1-H-benzotriazol	0,0394	0,0335	0,0134	0,0244
5-Methyl-1H-Benzotriazol	0,0000	0,0227	0,1207	0,2225
Ibuprofen	0,0005	0,2499	0,1791	0,3677
Carbamazepin	0,0003	0,0042	0,0043	0,0016
Ketoprofen	No fit	0,0477	0,0190	0,0282
Diklofenak	No fit	0,0364	0,0477	0,1131

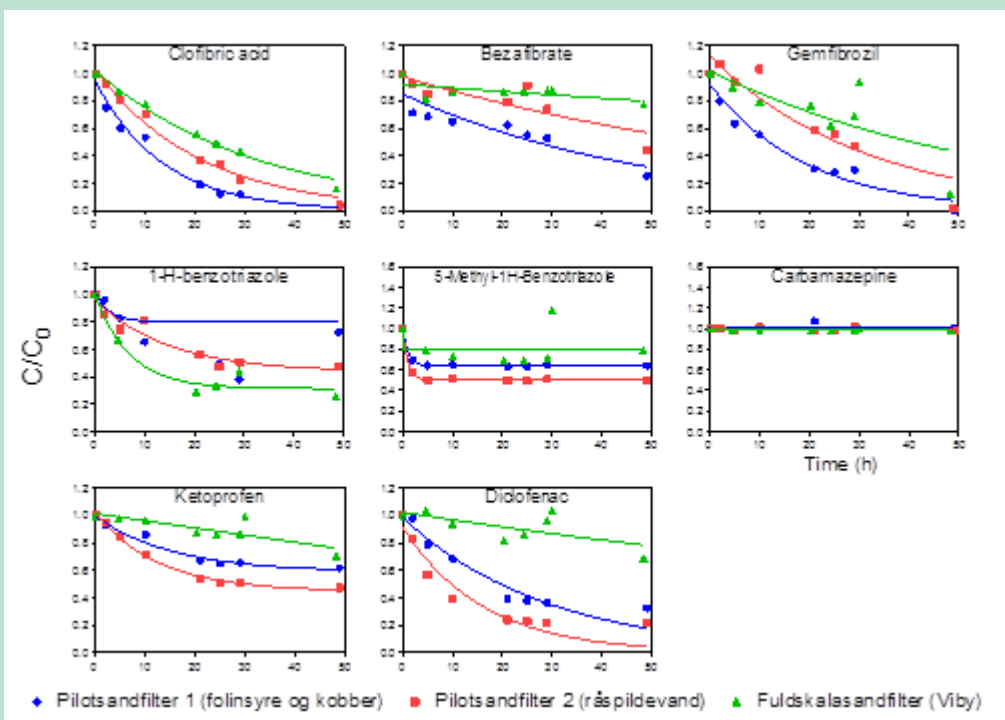
#### 7.4 Forsøgsperiode 3 – høj dosering af råspildevand og dosering af mikronæringsstoffer

I forsøgsperioden blev der doseret en høj mængde råspildevand til pilotskalasandfilter 2, hvorimod der til pilotskalasandfilter 1 blev doseret en opløsning af folinsyre og kobber. Sandet til forsøgene blev udtaget syv uger efter, at forsøgsperioden startede, dvs. at de nye manipulationer havde været undervejs i næsten to måneder, hvilket sikrer, at sandfiltrene er i ligevægt.

**TABEL 4.** Nitrifikationsaktivitet og biomasse på sand.

	NO <sub>3</sub> -produktion - mg NO <sub>3</sub> -N/l/min	Biomasse g biomasse pr. 400 ml sand	NO <sub>3</sub> -produktion - mg NO <sub>3</sub> -N/l/min/g biomasse
Fuldskalasandfilter Viby Renseanlæg	0,066	5,5	0,039
Pilotsandfilter 1	0,055	4,6	0,039
Pilotsandfilter 2	0,038	5,6	0,025
Afbrændt (abiotisk)	-	0	-

Som det fremgår af TABEL 4, er nitrifikationsraten højest for det eksisterende sandfilter på Viby Renseanlæg. Tages der højde for biomassen på sandet, er aktiviteten af eksisterende sandfilter på Viby Renseanlæg og pilotskalasandfilter 1 på samme niveau, hvorimod aktiviteten af sandfilter 2 er lidt lavere. Nitrifikationsraten er for alle sandfiltre langt højere end nitrifikationsraterne fra forsøgsperiode 2. Det er værd at bemærke, at biomasse mængde for de eksperimentelle sandfiltre er kraftigt forøget i forhold til forsøgsperiode 2. To uger efter nitrifikationsaktiviteten blev bestemt, blev der udtaget sand igen. I den mellemliggende periode blev mængden af råspildevandet øget. Dette bevirkede, at returskylningsfrekvensen blev øget, men havde umiddelbart ikke nogen indvirkning på mængden af biomasse på sandet (ca. 5 mg biomasse/g sand for alle tre typer).



**FIGUR 12.** Fjernelsesgrad af udvalgte lægemidler/sprøjtemidler. Gennemført i januar 2018.

Som det fremgår af **FIGUR 12** er fjernelsesraterne højere for de to pilotskalasandfiltre i forhold til fuldskalasandfiltret ved Viby Renseanlæg (med undtagelse af 1-H-benzotriazol). Det er især værd at bemærke, at diklofenak nedbrydes langt hurtigere i de to pilotskalasandfilter, hvilket er meget interessant, idet tidligere undersøgelser af fuldskalasandfiltre ikke har kunne påvise nogen fjernelse. Der blev på tilsvarende vis også observeret en højere fjernelsesgrad af diklofenak i de to pilotskalasandfilter ved spikingeksperimentet i november 2017.

Hvis der normaliseres ift. biomassen ses følgende:

**TABEL 5.** Ratekonstanter normaliseret til biomasse - forsøg 2.

	Afbrændt (abiotisk)	Fuldskalasandfilter Viby Renseanlæg	Pilotsandfilter 2 - råspildevand	Pilotsandfilter 1 – folinsyre og kobber
Clofibrinsyre	No fit	0,0612	0,1044	0,2261
Bezafibrat	No fit	0,0057	0,0242	0,0610
Gemfibrozil	0,0000	0,0345	0,0696	0,1573
1-H-benzotriazol	0,0394	0,2854	0,1486	1,0567
5-Methyl-1H-Benzotriazol	0,0000		2,1336	2,8555
Ibuprofen	0,0005			
Carbamazepin	0,0003	0,0003	0,0005	
Ketoprofen	No fit	0,0000	0,1731	0,1977
Diklofenak	No fit	0,0109	0,1356	0,1065

## 7.5 Omsætning af lægemidler

På baggrund af de målte reduktioner i lægemiddelskoncentrationer er der opstillet ratekonstanter (1. orden) for omsætningen for hver af de undersøgte lægemidler. Med udgangspunkt i disse ratekonstanter er fjernelsesgraden beregnet i TABEL 6 ved en opholdstid på ca. 15 min, som er den forventede opholdstid i et normalt sandfilter.

**TABEL 6.** Beregnede fjernelsesgrader (%) ved en opholdstid i sandfiltret på 15 min.

	Fjernelsesgrad efter 15 min (%)					
	Fuldskalandsfilter Viby Renseanlæg		Kontrolsandfilter	Folinsyre og kobber	Råspildevand	
	November 17	Januar 18	November 17	Januar 18	November 17 - Lav dosering	Januar 18 - Høj dosering
Clofibric acid	0,1	4,1	0,1	14	0,1	6,9
Bezafibrate	1,8	0,4	0,4	4	1,3	1,7
Gemfibrozil	6,3	2,3	1,9	10	2,3	4,7
1-H- benzotriazole	2,3	17,8	0,9	52	1,7	9,7
5-Methyl-1H- Benzotriazole	1,6		8,0	86	14,2	77,0
Ibuprofen	15,8		11,6		22,4	
Carbamazepine	0,3	0,0	0,3		0,1	0,0
Ketoprofen	3,2	0,0	1,3	13	1,9	11,2
Diklofenak	2,5	0,7	3,2	7	7,5	8,9

Som det fremgår af TABEL 6, er fjernelsesgraden for langt hovedparten af de målte stoffer forholdsvis begrænset. Således opnås der ikke en fjernelsesgrad på mere end 10 % for fem af de anvendte modelstoffer. For begge pilotskalandsfilterer er der opnået en betydelig bedre fjernelsesgrad i perioden fra november til januar for næsten alle de målte stoffer. Dette viser med tydelighed, at fjernelsesgraden kan påvirkes med manipulationer på sandfiltreret. Den øgede fjernelse af de undersøgte stoffer vurderes i høj grad at kunne tilskrives den forøgede mængde biomasse på sandet i perioden fra november til januar. Idet det ikke var muligt at opbygge en større biomassekoncentration på sandet, uden at sandfiltrene blev tilstoppet, blev det besluttet ikke at gennemføre yderligere spikingeksperimenter.



## 8. Konceptdesign og perspektivering

I indeværende projekt var det afslutningsvis intentionen, at der skulle gennemføres et skitseprojekt, der med udgangspunkt i resultaterne fra projektet skulle beskrive driften, konstruktionen og udgifterne af det nye sandfilterkoncept.

Resultaterne fra projektet viste med alt tydelighed, at omsætningsraterne af lægemidler kan forbedres ved at manipulere med den almindelig drift af sandfiltrene. Dette til trods, viser resultaterne også, at opholdstiden skal være meget lang, hvis fjernelsesgraden skal være signifikant. En signifikant fjernelsesgrad af lægemidler vil derfor betyde, at antallet og/eller størrelsen af sandfiltrene skal forøges betragteligt, hvilket vil være svært realiserbart og ikke rentabelt. På dette grundlag blev det derfor besluttet ikke at gennemføre skitseprojektet, men derimod fokusere på muligheden for at opbygge yderligere biofilm på sandet, uden at dette kompromitterer gennemløbstiden for meget. Dette arbejde er i projektet kun påbegyndt, og projektkonsortiet forventer i fremtiden at arbejde videre hermed.

## Optisand

I rapporten beskrives resultaterne af forskellige forsøg med at opbygge mere biofilm på sandfiltre for derigennem at reducere udledningen af miljøfremmede stoffer. Forsøgene viste, at det er muligt at reducere udledningen af miljøfremmede stoffer, men at fjernelsesgraden var forholdsvis begrænset for de fleste undersøgte stoffer.



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)