Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

HEPWAT

Higher Environmental Performance in Waste wATer systems

Smart spildevand

MUDP rapport

November 2019

Redaktion: Miljøstyrelsen

Tekst:
Ole Hejn Pjengaard, Grundfos A/S
Anders Bang, Assens Forsyning A/S
Theis Gadegaard, Krüger A/S
Malene Mark Jensen, Danmark Tekniske Universitet
m.fl.

Fotos:
Assens Forsyning A/S

ISBN: 978-87-7038-126-0

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

1.	**Intro og resumé**	**5**
1.1	Intro	5
1.2	Resumé	6
1.2.1	Arbejdspakke 1 – Pumpeteknologi	7
1.2.2	Arbejdspakke 2 – Procesteknologi	7
1.2.3	Arbejdspakke 3 – IT-løsning	8
1.2.4	Arbejdspakke 4 – Projektledelse, rapportering og formidling	8
1.3	Summary	10
1.3.1	Work Package 1 – Pump technology	10
1.3.2	Work Package 2 – Process technology	10
1.3.3	Work Package 3 – IT-solution	11
1.3.4	Work Package 4 – Project management, reporting and dissemination	11
1.4	Projektbeskrivelse	12
1.4.1	Design og set-up i projektet	12
1.5	Problemstilling	12
1.6	Baggrund og formål	13
1.7	Mål og succeskriterier	15
2.	**Arbejdspakke 1**	**16**
2.1	Indledning	16
2.2	Projektmål	17
2.3	Resultater	17
2.3.1	Miljømæssig forbedring i recipienter	17
2.3.2	Forbedret levetid på rør, brønde og installationer samt minimering af lugtgener	18
2.3.3	CO_2-footprint sænkes markant	20
2.3.4	Sænkning af mængden af uvedkommende vand	21
2.3.5	Reducerede omkostninger til anlæg	22
2.4	Diskussion, perspektiv og læring	22
3.	**Arbejdspakke 2**	**25**
3.1	Indledning	25
3.2	Mål med Arbejdspakke 2	26
3.3	Resultater	26
3.3.1	Miljømæssig forbedring i recipienter	26
3.3.2	Miljømæssig forbedring vedr. lattergas	28
3.3.3	Reduktion i udledningen af miljøfremmede stoffer (MFS) og patogener	29
3.3.4	CO_2-footprint sænkes markant	30
3.3.5	Bedre anvendelse af industrispildevand	31
3.3.6	Reducerede omkostninger til anlæg	31
3.3.7	Driftsmæssige forbedringer	32
3.3.8	Øget sundhed hos medarbejderne	32
3.4	Diskussion og perspektivering	32
4.	**Arbejdspakke 3**	**35**
4.1	Indledning	35

4.2	Mål med arbejdspakke	35
4.3	Resultater	35
4.4	Diskussion og perspektivering	36
5.	**Arbejdspakke 4**	**38**
5.1	Indledning	38
5.2	Mål med arbejdspakke	38
5.3	Resultater af kommunikationsstrategi	38
5.3.1	Hjemmeside	39
5.3.2	Foredrag og fremvisninger	40
5.4	Diskussion og perspektivering	41
6.	**Konklusion og perspektivering**	**42**
6.1	Udfordringer med spildevand	42
6.2	Muligheder med spildevand i HEPWAT-perspektiv	42
6.2.1	HEPWAT-perspektiver for Assens Forsyning A/S	43
6.3	Konklusioner i HEPWAT	43
6.3.1	Prædiktiv kontrol og optimeret drift	43
6.3.2	Bekæmpelse af svovlbrinte	43
6.3.3	Identifikation af uvedkommende vand	44
6.3.4	Alternativ til traditionelle anlæg	44
6.3.5	Det energiproducerende renseanlæg	44
6.3.6	Behandling og reduktion af medicinrester	45
6.3.7	Datarobotter og sensorer	45
6.3.8	Muligheder for salg og eksport	45
6.3.9	Kommunikation og formidling	46
6.3.10	Samarbejde	46
6.3.11	HEPWAT-projekt erfaringer	46
6.4	Videre anvendelse af HEPWAT-anlægget	48
6.4.1	Arbejdspakke 1 – Pumpeteknologi	48
6.4.2	Arbejdspakke 2 – Procesteknologi	48
6.4.3	Arbejdspakke 3 – IT-løsning	48
7.	**Bilagsliste**	**49**
8.	**Figur-/tabeloversigt**	**238**

1. Intro og resumé

Med bevilling fra Miljø- og Fødevareministeriets Miljøteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) har Assens Forsyning A/S i samarbejde med Grundfos A/S, Krüger A/S, ARTOGIS A/S og DTU MILJØ gennemført projektet HEPWAT – Higher Environmental Performance in Waste wATer systems.

1.1 Intro

Assens Forsyning A/S har som del af en langsigtet drifts- og udviklingsstrategi modtaget accept og godkendelse til at opføre en ny og samlet Forsyningspark med nyt vandværk, biogasanlæg, renseanlæg samt administration, værksted og lager. Forsyningsparken, som geografisk placeres i den østlige udkant af Assens by, forventes færdigopført i 2022.

Renseanlægget indgår i Assens Kommunes Spildevandsplan 2018-2027[1], hvor spildevandsrensningen centraliseres og otte mindre renseanlæg nedlægges samt erstattes af Ny Assens Renseanlæg.

Med bevilling fra Miljø- og Fødevareministeriets Miljøteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) har Assens Forsyning A/S i et partnerskab med Grundfos A/S, Krüger A/S, ARTOGIS A/S og DTU MILJØ gennemført projektet Higher Environmental Performance in Waste wATer systems, som står for "Højere miljømæssig ydeevne i spildevandssystemer" (efterfølgende benævnt HEPWAT).

Intentionen med HEPWAT har været at udvikle, afprøve og definere et helt nyt spildevandssystem, som både kan inspirere lokalt, nationalt og internationalt.

Ved at bruge det eksisterende renseanlæg i Gummerup som et levende laboratorium (LiveLab), hvor der er udviklet og afprøvet kendte, men også nye løsninger til spildevandshåndtering i et intelligent og innovativt system, er der blandt andet testet løsninger til håndtering af lattergas, svovlbrinte, medicinrester og mikroplast – og det med henblik på at definere – dels den fremtidige teknologi i Ny Assens Renseanlæg – men også på at fremme miljøet og på at bringe ny viden og nye løsninger til verden, som kan skabe markante miljømæssige forandringer samt fremme salget og eksporten af dansk vandteknologi.

Projektet har herudover søgt at imødekomme de udfordringer, forsyningsbranchen generelt har med voksende krav til miljørigtig samt energi- og omkostningseffektiv spildevandshåndtering. Hensigten har været at introducere nye processer og proceskombinationer, som både forøger renseanlæggets evne til at omdanne organisk stof til bioenergi, og som samtidigt bruger mindre energi. Der er herudover arbejdet med at skabe bedre integration mellem oplandet og renseanlægget samt med at adskille spildevand og uvedkommende vand.

[1] https://spildevand.assens.dk/

Projektet har endvidere haft til formål at udvikle løsninger til fjernelse af miljøfremmede stoffer fra spildevandet, ligesom det har været hensigten at samle de forskellige processer i en integreret styring og overvågning, hvor data fra sensorer i rør og pumper bliver indsamlet og analyseret, og hvor de forskellige processer til opsamling og behandling af spildevand, interagerer og retter sig ind efter hinanden.

Formålet med HEPWAT har været at udvikle nye løsninger til styring og rensning af spildevand. Der skal styres og renses bedre – og det skal ske med mere fokus på miljø og økonomi. Projektet er gennemført på Gummerup Renseanlæg, 15 kilometer øst for Assens på Fyn.

1.2 Resumé

HEPWAT-projektet er gennemført etapevis i form af fire (parallelle) arbejdspakker og fokusområder:

- Arbejdspakke 1: Pumpeteknologi
- Arbejdspakke 2: Procesteknologi
- Arbejdspakke 3: IT-løsning
- Arbejdspakke 4: Projektledelse, rapportering og formidling

Arbejdspakkerne har taget udgangspunkt i Gummerup Renseanlæg og oplandet hertil, hvor der kommer meget varieret spildevand ind – både fra industri og husholdning.

Projektet igennem har Gummerup Renseanlæg været belastet med 5.000-10.000 PE (afhængigt af mængden af industrispildevand). Industrispildevandet indeholder meget COD (kulstof).

1.2.1 Arbejdspakke 1 – Pumpeteknologi

- har omhandlet flow og styring af afløbssystemet med en række innovative tiltag, som har fokuseret på effekterne ved svovlbrinte, uvedkommende vand, driftsoptimering samt optimering af belastninger fra afløbssystemet og ind på renseanlægget.

Krüger A/S og Grundfos A/S har i Arbejdspakke 1 gennemført forsøg med intelligent styring, online-data og forecasts.

Ved at koble en pumpestyring (Dedicated Controls fra Grundfos A/S[2]), som er konstrueret til avanceret styring og overvågning af pumpestationer, sammen med SewerView fra Krüger A/S[3], der er konstrueret til både forecast, online-overvågning og styring/dokumentation af bassinfyldning, overløb, spjældstilling og flow, er der skabt et unikt styresystem, som effektivt kan optimere den daglige drift af et afløbssystem, og som kan styre og udligne flowet til renseanlægget.

Yderligere har Arbejdspakke 1 arbejdet med identifikation af uvedkommende vand ved brug af IoT-sensorer og algoritmer. Formålet har været at identificere hvilke strækninger i afløbssystemet, der har mest uvedkommende vand samt at kunne kæde uvedkommende vand til langsom eller hurtig indtrængende vand – det vil sige om vandet er relateret til grundvand eller regnvejrsbetinget vand. Gevinsten herved er viden om, hvor meget vand, der transporteres til og renses på renseanlægget sammenlignet med spildevandsnormen for opland af Gummerups størrelse.

Grundfos A/S har installeret flere end 20 svovlbrinte-målere i oplandet, som har identificeret områderne med de største koncentrationer. Løsningerne fra Grundfos A/S har tillige bekæmpet forekomster af svovlbrinte i afløbssystemet i de mest belastede områder.

På dette datagrundlag er der udviklet nye løsninger til at opgøre skadeeffekt og begrænse svovlbrinte-problematikken i dele af oplandet.

1.2.2 Arbejdspakke 2 – Procesteknologi

- har omhandlet rensning af spildevandet. Der er i tilknytning til det eksisterende Gummerup Renseanlæg opsat et fleksibelt og modulært forsøgsanlæg til spildevandsrensning (et mobilt renseanlæg), som består af henholdsvis et biosorptions-anlæg, et membrananlæg og et biologisk efterpoleringsanlæg (eXeno™), der samlet fjerner organisk stof, næringssalte og medicinrester ved hovedsageligt biologiske processer.

Indløbet til forsøgsanlægget pumpes ind på modulanlægget fra eksisterende sandfang på Gummerup Renseanlæg. Udløbet og overskudsslammet føres tilbage til Gummerup Renseanlæg.

Systemet er kompakt, ressourceeffektivt og indeholder de nyeste teknologier inden for spildevandsrensning. Samtidig giver det et renere udløb, end de nuværende processer på Gummerup Renseanlæg (C, N, P, miljøfremmede stoffer, patogener og mikroplast).

[2] https://dk.grundfos.com/products/find-product/dedicated-controls.html

[3] http://www.kruger.dk/krugeras/ressources/files/1/40584,Kruger_STAR_Utility-solutions_WWM_.pdf

På grund af forsinkede leverancer og en korrigeret tidsplan, har forsøgsanlægget først haft samtlige rensetrin i drift fra august 2018 til juni 2019. I perioden har anlægget behandlet en delstrøm på op til 5.000 PE.

1.2.3 Arbejdspakke 3 – IT-løsning

- omhandler udvikling og afprøvning af en integreret IT-løsning, der har haft til hensigt at samordne og skabe synergi på tværs af eksisterende planlægnings- og driftssystemer blandt forsyningsselskaber og leverandører.

Løsningen, der er udarbejdet af ARTOGIS A/S[4], giver ét samlet overblik over alle relevante data, idet datarobotter sørger for at sammenstille og koordinere data fra de datakilder, det giver mening at inkludere og vurdere.

Formålet har været at gøre det hurtigere, lettere og billige at monitorere, styre, optimere samt dokumentere de driftsmæssige aktiviteter.

Med Arbejdspakke 3 er det lykkedes at påvise, hvordan IT-løsninger kan nytænkes.

Både hos Assens Forsyning A/S, andre danske vandselskaber samt globalt (eksportperspektiv) er det epokegørende, at IT-løsningen foreslår en mulig nedbrydning af de klassiske "IT-siloer", som påfører vandsektoren (og dens leverandører) store "døde" omkostninger og en lav innovations- og omstillingsevne.

I projektet har det dog været vanskeligt at sikre den planlagte koordinering og implementering af dataindsamling, anvendelse og offentliggørelse på tværs af de fire partnere og deres tilknyttede IT-leverandører. Projektet er derfor primært gennemført med udgangspunkt i den eksisterende SRO-database hos Assens Forsyning A/S.

Det skal i forhold til Arbejdspakke 3 bemærkes, at ARTOGIS A/S ikke aktivt har medvirket til udarbejdelse af denne rapport, men har bidraget med synspunkter og kommentarer samt al indhold i bilag AP3-1. ARTOGIS A/S deler endvidere ikke de øvrige partneres opfattelse af projektets forløb og resultater, ligesom ARTOGIS A/S anser rapporten som subjektiv.

1.2.4 Arbejdspakke 4 – Projektledelse, rapportering og formidling

- har udover projektledelse omhandlet formidling og kommunikation af projektets formål, mål og opnåede resultater. Som udgangspunkt og omdrejningspunkt herfor, har projektet haft sin egen hjemmeside[5].

Ved projektets start blev der etableret en kommunikationsgruppe og udarbejdet en kommunikationsstrategi, der skulle sikre, at kommunikationen og formidlingen blev målrettet og planlagt så hensigtsmæssigt som muligt.

Kommunikationsstrategien har projektet igennem givet partnerne et godt udgangspunkt for at planlægge fælles og egne formidlings- og salgsaktiviteter. Den har samtidig sikret, at projektet er blevet fulgt af og omtalt i medierne.

[4] http://www.artogis.dk/produkter/sago-fonto-platformen/

[5] http://www.hepwat.dk

På kort sigt er det fortsat planen at bruge forsøgsanlægget ved Gummerup Renseanlæg til demonstration og udstillingsvindue – både for lokale, nationale og internationale fagfolk/medier, men også for studerende og den brede offentlighed.

På længere sigt bliver HEPWAT og formidlingen af projektets resultater, en del af Ny Assens Renseanlæg og den formidling, som planlægges der med rundvisninger, undervisningsforløb, skoletjenester, fremvisninger for fagfolk og offentligheden m.v.

1.3 Summary

The HEPWAT project has been executed in stages in the form of four (parallel) work packages (WPs)

- WP 1: Pump technology
- WP 2: Process technology
- WP 3: IT-solution
- WP 4: Project management, reporting and dissemination

The packages are based on Gummerup Wastewater Treatment Plant (WWTP) and its catchment area. The wastewater received is of a very varied nature – from industry as well as households.

Through this project, Gummerup WWTP has operated under a load of 5,000-10,000 PE (depending on the amount of industrial wastewater). The industrial wastewater has a high content of COD (carbon).

1.3.1 Work Package 1 – Pump technology

Work Package 1 has covered flow and control of sewer systems including a number of innovative measures with focus on the effects of hydrogen sulphide, Infiltration water, operations optimisation, as well as optimisation of load from the sewer system and into the plant.

Krüger A/S and Grundfos A/S have tested intelligent control, online data and forecasts during Work Package 1.

In the catchment area of Gummerup, Grundfos iSolutions Cloud for wastewater Network have been installed to identify Infiltration water by converting pumping data into sewage flow in the network with differentiation of dry weather flow, Infiltration and rain weather flow.

The combination of a pump control (Dedicated Controls from Grundfos A/S), which is designed for advanced control of monitoring of pumping stations, together with SewerView from Krüger A/S, designed for forecast, online monitoring and control/documentation of tank filling, overflow, gate positions and flow, a unique control system has been created to efficiently optimize the daily operation of a sewer system.

Grundfos A/S has installed more than 20 hydrogen sulphide meters in the catchment area which have identified the areas with the highest concentrations. The solution from Grundfos A/S has also controlled the occurrence of hydrogen sulphide in the sewer system in the most critical areas.

On the basis of these data, new solutions have been developed to assess damage levels and limit the challenge of the hydrogen sulphide in parts of the catchment area.

1.3.2 Work Package 2 – Process technology

Work Package 2 has covered treatment of the wastewater. A flexible, modular pilot plant for wastewater treatment (a mobile wastewater treatment unit) has been installed next to the existing wastewater treatment plant. The unit is comprised of a biosorption plant (MBBR), MBR plant and an eXeno™ (tertiary treatment).

The inlet to the pilot plant is pumped from the existing grit chamber at Gummerup WWTP. The outlet and the excess sludge are returned to Gummerup WWTP in order to comply with the environmental requirements during the tests.

The system is compact, resource efficient and is comprised of the latest technologies within wastewater treatment. At the same time, it provides a more clean outlet than

the existing processes at Gummerup WWTP (C, N, P, environmentally hazardous substances, pathogens and micro plastic).

Owing to delay in supplies and a revised time schedule, the pilot plant has only had all treatment steps in operation as of August 2018 to July 2019. In this period, the plant has treated a sub stream of up to 5,000 PE.

1.3.3 Work Package 3 – IT-solution

Work Package 3 covers development and testing of an integrated IT solution intended for coordination and creation of synergy across the existing planning and operations systems among the utility companies and suppliers.

The solution prepared by ARTOGIS A/S provides one overall view of all relevant data as data robots group and coordinate data from the data sources that are found relevant to include and evaluate. The purpose has been to make it faster, easier and less expensive to monitor, control, optimise and document the operational activities.

Work Package 3 has managed to demonstrate how to innovate IT solutions.

For Assens Forsyning A/S, other Danish water companies as well as globally (export perspective) it is epochal that the IT solution suggests to potentially break down the conventional “IT silos” that impose large “dead” costs on the water sector (and its suppliers) as well as a low ability to innovate and adapt to changes.

However, it has been difficult to secure the planned coordination and implementation of data collection, utilisation and publication across the four partners and their associated IT suppliers. Therefore, the project has been executed primarily on the basis of data from existing SCADA database of Assens Forsyning A/S.

In relation to Works Package 3, it should be noted that ARTOGIS A/S has not actively contributed to the preparation of this report but has contributed views and comments as well as all content in Appendix AP3-1. Thus, ARTOGIS A/S does not share the other partners’ perceptions of the project’s progress and results, and ARTOGIS A/S regards the report as subjective.

1.3.4 Work Package 4 – Project management, reporting and dissemination

Apart from project management, Work Package 4 has covered dissemination and communication of the project’s purpose, goal and the results achieved. Therefore, the project’s own homepage, http://www.hepwat.dk/ has been pivotal in the communication of the results.

At the project start, a communication group and a communication strategy were set up to secure that communication and dissemination was targeted and planned as expedient as possible.

Throughout the project, the communication strategy has provided the parties with a good basis to plan joint and own presentation and sales activities. At the same time, it has ensured that the project has been followed and mentioned in the media.

In the short term, it is still the plan to use the pilot plant at Gummerup WWTP for demonstration and show case window - for Danish as well as international specialists and media, but also for students and the general public.

In the longer term, HEPWAT and the dissemination of the project’s results will become part of Ny Assens Wastewater Treatment Plant and dissemination that will take place at the plant, nationally as well as internationally.

1.4 Projektbeskrivelse

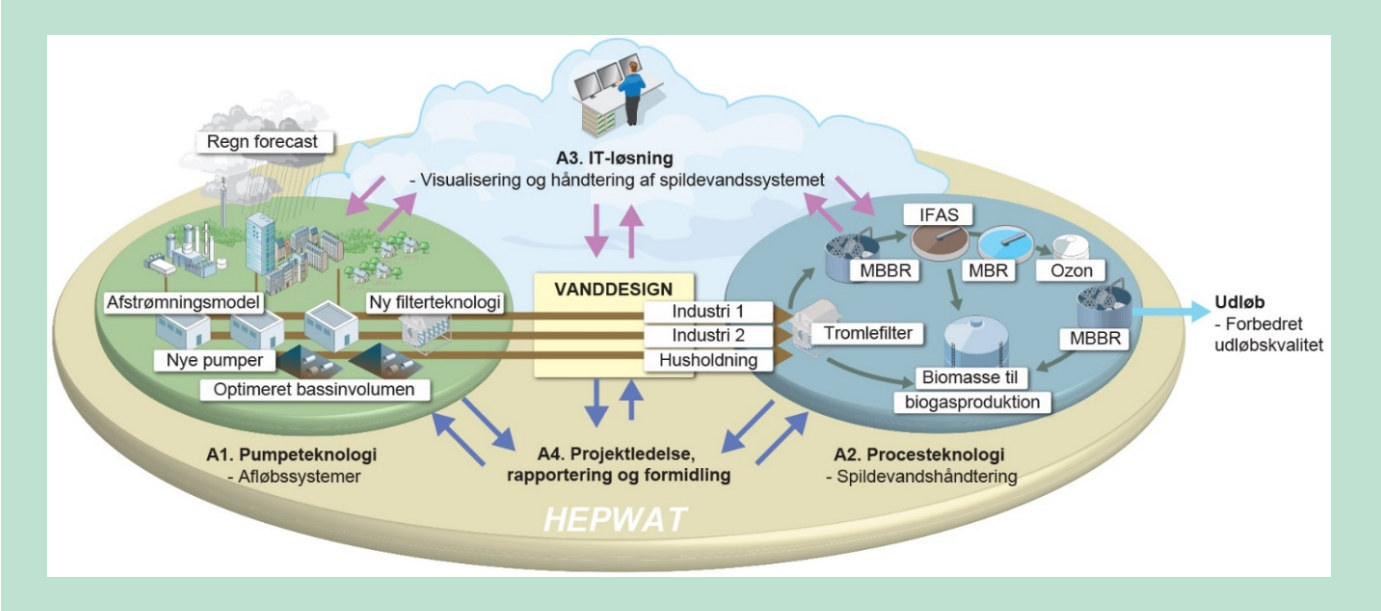
Med udgangspunkt i de nævnte arbejdspakker har partnerne bag HEPWAT-projektet ønsket at demonstrere potentialet i at optimere de muligheder, der findes inden for miljø, energi og økonomi.

Herudover er der lanceret nye løsninger for spildevandshåndtering og for at binde afstrømning, rensning og forretningsintelligens sammen. Det er sket med fokus på:

- Optimal produktion af energi
- Minimal gennemløbstid
- Optimal rensning og forbedret ydre miljø
- Minimal tilsætning af kemikalier
- Minimalt energiforbrug i processerne
- Mest mulig anvendelse af vedvarende energi
- Optimeret levetid
- Minimering af gener og nedbrud
- Forbedret økonomi hos spildevandsproducerende industri (ingen for-rensning)
- Mulighed for bedre samspil med øvrige miljøtiltag i Assens, på Fyn og i Danmark

1.4.1 Design og set-up i projektet

Herunder ses designet og hovedelementerne i HEPWAT-projektet:



FIGUR 1. Principper og design i HEPWAT-projektet.

1.5 Problemstilling

Den grundlæggende forståelse af, at spildevand er affald, er under opbrydning, og mange steder udnyttes og genvindes energi og værdifulde stoffer allerede i dag. På vejen hertil er det vigtigt for virksomheder og forsyningsselskaber at sikre den optimale sammensætning af spildevandet, således at processerne kan optimeres og omkostningerne begrænses.

Mange spildevandssystemer har i dag online-målinger, som i nogen grad gør det muligt at reagere på de data, der løbende bliver rapporteret. Historiske samt online- og

forecast-data er dermed vigtige, da de kan give driftsoperatøren indflydelse på, hvordan spildevandet sammensættes, sådan at det procesmæssigt og økonomisk kan blive behandlet så hensigtsmæssigt som muligt.

Det er blandt andet muligt at planlægge rensningen af spildevandet, så det altid er den type spildevand, der økonomisk og miljømæssigt, giver mest værdi, som bliver påkaldt og behandlet.

I behandlingen af spildevand mangler der i dag effektive løsninger til håndtering af:

- Minimering af lattergasudledning (drivhusgas-effekt 300 gange så høj som CO_2)
- Svovlbrintedannelsen (der gør levetiden på spildevandssystemer, inklusive rensningsanlæg op til otte gange kortere, og dermed øger anlægsinvesteringen, forurener luften og udgør et arbejdsmiljøproblem)
- Miljøfremmede stoffer som mikroplastik, medicinrester og patogener, der alle i stigende grad findes i så store og voksende mængder, at de kan true vandmiljøet og folkesundheden

Hertil kommer, at

- der er behov for en fleksibel og agil anlægsopbygning for at nedbringe anlægsinvesteringer, lette afskrivningsbyrden samt reducere driftsomkostningerne og dermed sikre større fleksibilitet i forhold til fornyelse i takt med fremtidens rensekrav og systemopbygning,
- overvågning og styring af behandlingen af spildevandet i dag er ikke optimal i forhold til de teknologiske muligheder, der foreligger,
- der er Big Data fra sensorer i rør og pumper samt fra styringssystemer og eksterne datakilder, som p.t. ikke indsamles og analyseres, og derfor foregår meget af håndteringen reaktivt og ikke proaktivt,
- de forskellige processer til opsamling og behandling af spildevandet styres hver for sig, i stedet for at interagere,
- der skal opnås langt højere ressourceeffektivitet i behandlingen af spildevandets indhold af molekyler (N, P, C osv.) gennem bedre biologiske processer, minimering af energi-induktion og forøgelse af energiproduktion.

Erfaringer fra mange danske forsyninger viser samtidig, at der stadig gennemføres on-site-tilsyn med faste frekvenser, uanset om der er behov for det eller ej.

Overvågningssystemerne kan med markante forretningsmæssige fordele sættes i stand til at detektere driftsafvigelser, *inden* de optræder som deciderede fejl, sådan at driftsorganisationen er i stand til at reagere på og afhjælpe driftsafvigelsen.

1.6 Baggrund og formål

I Danmark arbejder forsyningsselskaberne med stadig stigende krav til effektivisering og bedre performance. Projektet har derfor haft til formål at forberede danske vandselskaber på denne nye virkelighed i den mest effektive version – og dermed nå markant længere end state-of-the-art med hensyn til håndtering af spildevand.

Dette er søgt gennem konkrete svar på nuværende og kommende miljø- og effektivitetsudfordringer med anvendelse af moden teknologi, nye processer, ny viden, IT og en markant mere fleksibel anlægsopbygning.

Projektet har haft til formål at dokumentere markante forbedringer i løsningen af de kendte problemer med lattergas, svovlbrinte, miljøfremmede stoffer og uvedkommende vand.

HEPWAT-konceptet gør dermed fremtidens afløbssystemer og renseanlæg langt mere miljøvenlige, fleksibelt opbygget i forhold til fremtidige krav og samtidig fysisk betydelig mindre i kraft af eksempelvis langt mindre betonforbrug. Dermed bliver det også økonomisk attraktivt at renovere spildevandsanlæg overalt i verden, hvilket kan starte en moderniseringsbølge.

Projektets resultater vil ikke kun kunne bruges som en totalløsning i *nye* spildevandssystemer, men delelementerne af projektets løsninger vil også kunne bruges i *eksisterende, ikke-moderne* anlæg.

Endvidere forløses et hidtil uudnyttet potentiale i driftsoptimeringen af et spildevandssystem, idet projektet forbinder adskilte proces- og informationsteknologier og disse teknologiers data i en holistisk-integreret, åben og proaktivt virkende løsning, der skaber og udnytter Big Data.

1.7 Mål og succeskriterier

TABEL 1: Følgende mål er formuleret som de vigtigste i HEPWAT:

Projektets mål	Succeskriterier
Miljømæssig forbedring i recipienter	Mere spildevand gennem renseanlæg (overløb sænkes med mindst 20 %) og flere potentielle problemstoffer fjernes (se bl.a. mål vedrørende miljøfremmede stoffer) Den samlede årlige belastning med N, P og COD sænkes med 50 %.
Miljømæssig forbedring vedr. lattergas. Udslippet er 300 gange mere skadeligt for miljø og klima end CO_2	Projektet minimerer lattergas emission fra renseanlæg. Forbedret styring af anammox-processen sænker N_2O-emission med mindst 25 %.
Forbedret levetid på rør, brønde og installationer, samt minimering af lugtgener	Svovlbrinte minimeres og øger levetid for maskininstallationer øvrige anlægsdele med mindst 50 %.
Reduktion i udledningen af miljøfremmede stoffer (MFS)	Der påvises en markant effekt på almindeligt forekommende miljøfremmede stoffer (medicinrester, eks. ibuprofen og dichlofenak). Udledningen af medicinrester reduceres med minimum 50 %
CO_2-Footprint sænkes markant	I forhold til traditionelt anlægsdesign og drift, sænkes det samlede CO_2 aftryk med mindst 20 % (både anlæg og drift – eksempelvis via vedvarende energi etc.). Dette mål opregnes eksklusiv lattergasemission
Sænkning af mængden af uvedkommende vand.	Databearbejdningen vil assistere i målretning af indsats mod uvedkommende vand. Der skal fjernes mindst 50 % i oplandet til Gummerup Renseanlæg
Bedre anvendelse af industrispildevand	Industrispildevand modtages, når det kommunale renseanlæg har brug for det – uden forrensning hos industrien. Renseanlægget får bedre betingelser som bioraffinaderi og industrierne får bedre konkurrencekraft, idet de sparer forbehandling.
Reducerede omkostninger til anlæg	Styring og forudsigelse af afstrømning hjælper med udjævning og optimering af anvendelsen af anlægsvolumen. Det ventes at give anlægsbesparelser på mindst 15-20 %
Dokumenteret bidrag til Smart-Grid og lavere energiudgifter for Assens Forsyning	Projektet udjævner spidslast og gør Assens Forsyning A/S netto-energiproducerende (EnergiPLUS). De forskelligartede processer har konsekvenser for energiforbruget. Nogle nye processer kræver mere energi, end der bruges i dag, og andre processer er energibesparende. Stærkt energikrævende processer udføres, når energien er billigst og overskudsenergiproduktion udføres, når energien er dyr og i underskud
Driftsmæssige forbedringer og øget sundhed hos medarbejderne.	Arbejdet med spildevandshåndtering vil med HEPWAT-konceptet kræve færre ansatte, fordi det bliver mere overskueligt, mere automatiseret og enklere at drive. Lønomkostninger til drift falder med mindst 20 % i projektets første tre år i fuld drift. Sundhed: Efter tre år i fuld produktion med nyt renseanlæg udviser ethvert tilsyn svovlbrinteniveau på under 10 PPM (det lovlige niveau).
Open Source demonstreres i Spildevandsbranchen.	Forsyningsselskab og kunder konstaterer, at det er blevet billigere at bruge IT, at IT anvendes langt mere aktivt til systemintegration, og desuden lettere og mere kvalificeret muliggør monitering, styring og optimering samt dokumentation i forhold til det samlede spildevandssystem.

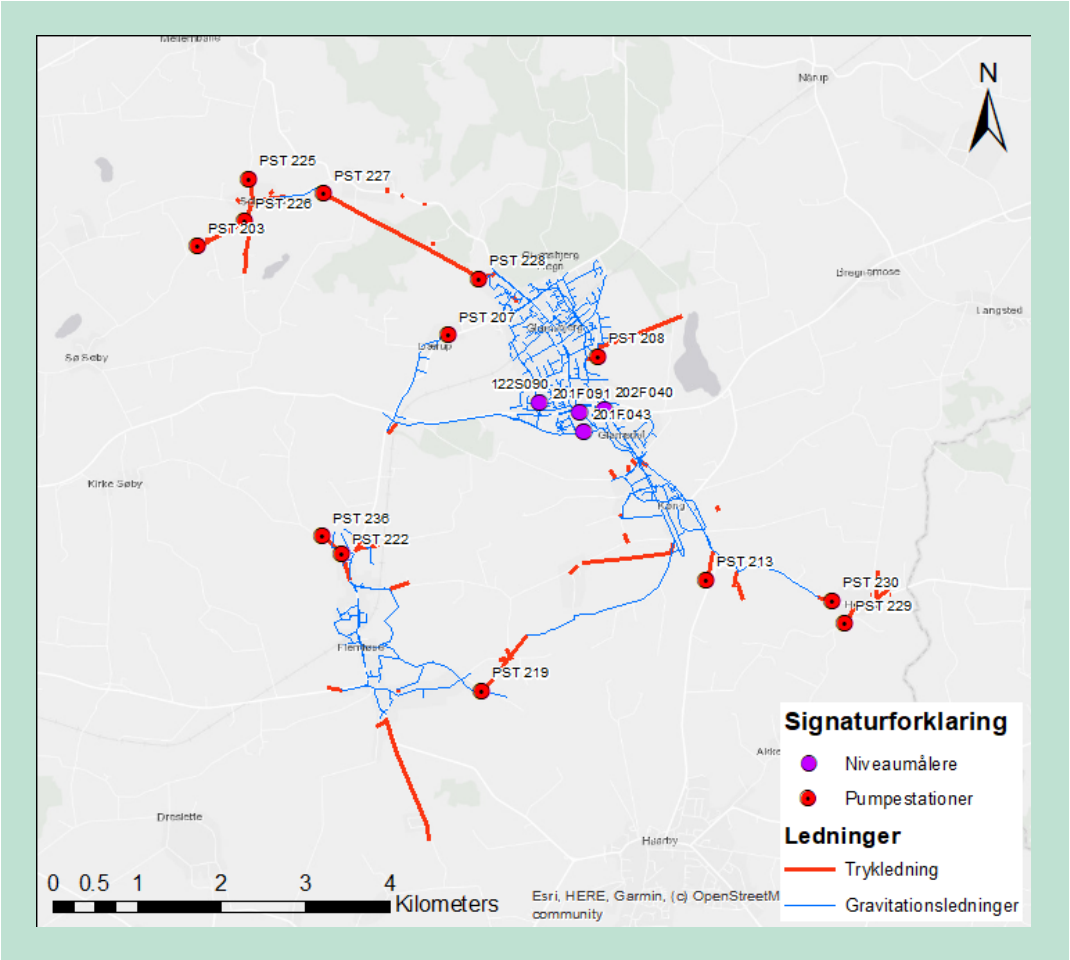
2. Arbejdspakke 1

Pakken indeholder en række aktiviteter vedrørende innovation inden for afløbssystemet med fokus på effekterne ved svovlbrinte, uvedkommende vand, driftsoptimeringer samt optimering af belastninger fra afløbssystemet ind på renseanlægget.

2.1 Indledning

I Arbejdspakke 1 er der fokuseret på at identificerer niveauet af svovlbrinte i afløbssystemet samt påvise svovlbrinteeffekten på rør, brønde og installationers levetid samt reducere genereringen af svovlbrinte i afløbssystemet for at minimerer lugtgener og begrænse konsekvenserne af korrosion.

Figur 2 viser en oversigt over afløbssystemet med markering af de vigtigste punkter i forhold til Ar-bejdspakke 1:



FIGUR 2. Oversigtskort over oplandet til Gummerup Renseanlæg med markering af nøglepunkter i forhold til arbejdspakke 1.

Der er i Arbejdspakke 1 opbygget en styring, som kan udligne den hydrauliske belastning på renseanlægget.

Yderligere har Arbejdspakke 1 haft fokus på uvedkommende vand i afløbssystemet for på en lettere måde at identificere, hvor og hvor meget uvedkommende vand, der er i Gummerup-systemet, da uvedkommende vand er en ekstra omkostning i forbindelse med pumpning og rensning af vand, der ikke nødvendigvis er relateret til spildevand.

Arbejdspakke 1 har blandt andet arbejdet med besparelser ved energirigtig pumpning samt med smart-styring af belastningen fra afløbssystemet og ind på renseanlægget.

2.2 Projektmål

En række af projektmålene er behandlet i Arbejdspakke 1. Disse kan ses i TABEL 2.

TABEL 2: Oversigt over projektmål, der er behandlet i Arbejdspakke 1:

Projektets mål	Succeskriterier
Miljømæssige forbedringer i recipienter	Mere spildevand gennem renseanlæg (overløb sænkes med mindst 20 %) og flere potentielle problemstoffer fjernes (se blandt andet mål vedrørende miljøfremmede stoffer). Den samlede årlige belastning med N, P og COD sænkes med 50 %
Forbedret levetid på rør, brønde og installationer samt minimering af lugtgener	Svovlbrinte minimeres og øger levetid for maskininstallationer øvrige anlægsdele med mindst 50 %
CO_2-footprint sænkes markant	I forhold til traditionelt anlægsdesign og drift, sænkes det samlede CO_2-aftryk med mindst 20 % (eksklusiv lattergasemission)
Sænkning af mængden af uvedkommende vand	Databearbejdningen vil assistere i målretning af indsats mod uvedkommende vand. Der skal fjernes mindst 50 % i oplandet til Gummerup Renseanlæg
Reducerede omkostninger til anlæg	Styring og forudsigelse af afstrømning hjælper med udjævning og optimering af anvendelsen af anlægsvolumen. Det ventes at give anlægs-besparelser på mindst 15-20 %

2.3 Resultater

2.3.1 Miljømæssig forbedring i recipienter

Der er på én lokalitet opstillet en styring, som udjævner tilløbet til Gummerup Renseanlæg. Styringen anvender beregnet tilløb til pumpestationen samt forudsigelser af fremtidigt tilløb ud fra nedbørs-forecast. Ved hjælp af disse informationer beregnes sætpunkter for et spjæld, som styrer tilløbet til en pumpestation. Tilløbet udjævnes ved hjælp af et eksisterende udligningsbassin. Resultaterne er baseret på en driftsperiode på 16 uger.

Der er udført kortlægning af uvedkommende vand, som på sigt kan medføre en reduktion af vand i systemet (se afsnit 2.3.4).

I teorien kan den opstillede styring samt reduktionen af uvedkommende vand føre til færre overløb ved indløbet til Gummerup Renseanlæg. Dette har dog ikke kunnet påvises på grund af manglende datagrundlag.

Ved udarbejdelsen af ansøgningen var det planlagt at opstille et filter i oplandet, der kunne anvendes til at filtrere og udlede spildevand i perioder, hvor høj indsivning og lille spildevandsmængde i kloakken resulterede i koncentrationer, der var acceptable til direkte udledning i oplandet og i nogle tilfælde mindre, end udløbet fra renseanlægget. Denne del blev dog nedprioriteret af tekniske og økonomiske grunde.

Bilag:

AP1-1: Udligning af tilløb til mobilt renseanlæg – forsøg med aktiv slam drift
AP1-2: Uvedkommende vand i gravitationssystem
AP1-3: Uvedkommende vand via pumpedata

2.3.2 Forbedret levetid på rør, brønde og installationer samt minimering af lugtgener

På baggrund af 22 traditionelle gasfaseloggere og én IoT-svovlbrintemåler er der generelt identificeret forekomster af svovlbrinte i afløbssystemet – og på flere steder med problematiske koncentrationer. Det er desuden på én lokalitet opstillet prøveudstyr, der over en periode har testet en indikatormetode til påvisning af korrosion af beton på grund af svovlbrinte.

I forhold til forsøgsopstillingen med indikatorvæske til påvisning af skader fra svovlbrinte blev forsøgene gennemført på den planlagte måde. Desværre var det på grund af forsinkelser med etableringen af den opdaterede dosering kun muligt at teste skadespåvirkningen fra svovlbrinten i tiden før den nye doseringsløsning. Her viste resultaterne, at der potentielt var kraftig korrosion af beton nedstrøms for oppumpningsbrønden.

En sammenligning med erfaringstal viser således, at hvis den fundne pH-værdi på visse områder i oppumpningsbrønden er den samme i systemet nedstrøms, så reduceres levetiden af for eksempel et betonrør med dimensionen Ø500 til under 10 år.

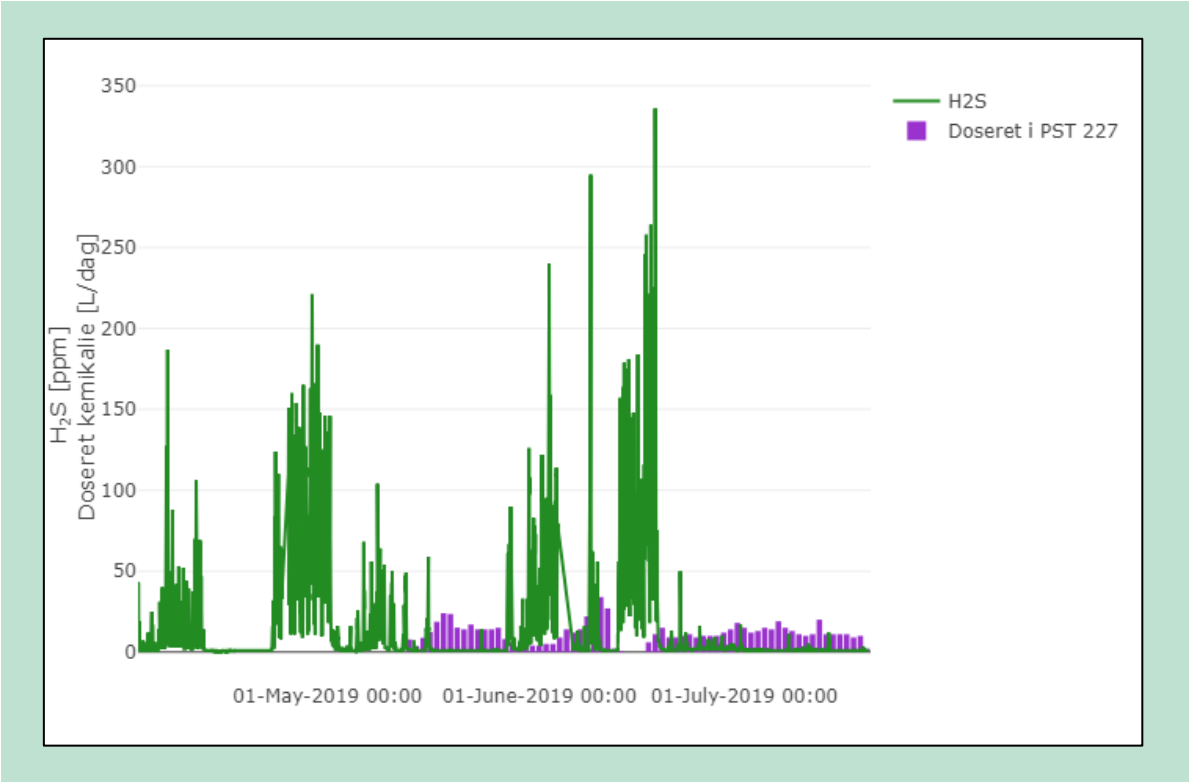
Figur 3 viser en del af forsøgsopstillingen med en betonklods, hvor der er sprøjtet indikatorvæske på, så man kan se hvilken pH-værdi, der er på overfladen.

FIGUR 3. Klodsen, der var ophængt for at teste indikatorvæske. Den røde farve angiver, at pH-værdien er meget lav, og at betonen derved er under meget kraftigt angreb af svovlbrinte.

Der er i HEPWAT-projektet udført forsøg med optimering af bekæmpelse af svovlbrinte på to strækninger, hvor Assens Forsyning A/S i forvejen bekæmpede svovlbrinte.

I et simpelt system med pumpning af spildevand fra én pumpebrønd til én oppumpningsbrønd uden sidetilledninger, er der påvist effektiv bekæmpelse af svovlbrinte ved hjælp af styring af dosering.

Figur 4 viser, hvordan doseringen har nedsat mængden af svovlbrinte i en pumpestation.



FIGUR 4. Svovlbrinte målinger og doseringsmængder for PST 227.

I det mere komplekse system, hvor der pumpes fra to pumpestationer til én oppumpningsbrønd, et det ikke lykkedes at udføre en styring, der entydigt bekæmper svovlbrinteproduktionen.

Forsøget med det prisbillige alternativ (UV-bekæmpelse af svovlbrinte) har ikke kunnet påvises at have effekt på forekomster af svovlbrinte.

Det var et projektmål at fremstille en model for svovlbrinteproduktion i afløbssystemet, da der var ønske om at minimere svovlbrinteproduktionen ved kontrol af opholdstider af spildevand i systemet. Dette er ikke lykkes, da projektet ikke har kunnet dokumentere aktuelle opholdstider.

Bilag:

AP1-4: H2S data-logning, modellering og kemibekæmpelses
AP1-5: Svovlbrinte – påvisning af doseringseffekt
AP1-6: H2S bekæmpelsesforsøg med UV-lampe

2.3.3 CO_2-footprint sænkes markant

På en udvalgt strækning har projektet arbejdet med energioptimeret pumpestyring.

På den pågældende strækning er det ikke lykkedes at påvise en energioptimeret pumpedrift på grund af pumpevalg og afløbssystemets fysiske dimensioner.

Der kunne være opnået en reduktion af CO_2, hvis der i projektet var brugt pumper med forskellige driftspunkter, som passede til variationen i tilløb. Samtidig viser analyser i projektet, at de fysiske dimensioner på afløbssystemet ikke er optimale i forhold til de vandmængder, der skal transporteres.

I projektet er der yderligere udskiftet flere pumpestyringer for at kunne forbedrede afløbssystemet energioptimalt og til intelligent pumpestyring på basis af data. Disse resultater er ikke realiseret i skrivende stund – blandt andet på grund af forsinkelser i installation og integration til Assens Forsynings SCADA.

Bilag:

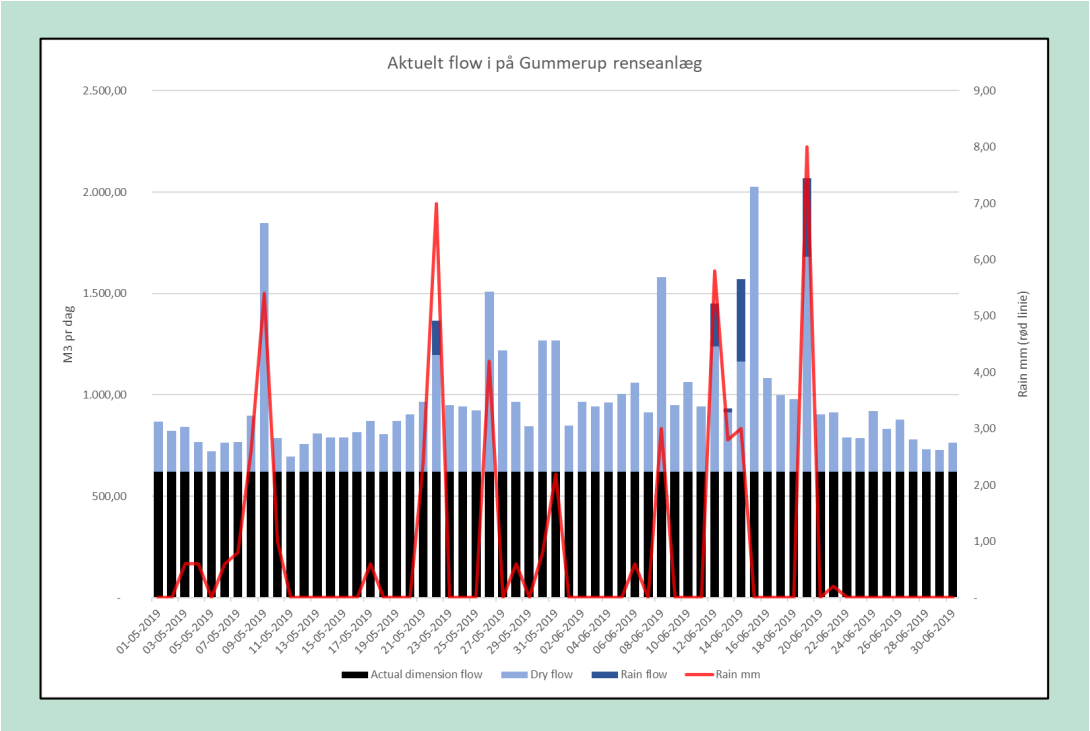
AP1-7: Effektiv styring af pumpestationer

2.3.4 Sænkning af mængden af uvedkommende vand

Der er i projektet opstillet en hydraulisk model af afløbssystemet, som er anvendt til at estimere spildevands- og regnvandspåvirkningen i udvalgte punkter. Derudover er der i afløbssystemet opsat 26 IoT-målere, som dokumenterer vandføringen i udvalgte punkter. Denne vandføring opdeles i to fraktioner, dels spildevandsmængde fra plangrundlaget, dels i uvedkommende vand via algoritmer. Resultatet vises i to brugerflader.

Der er udført analyser af data fra indløbspumpestationen til Gummerup Renseanlæg, hvilket fremgår af **figur 5.** som viser, at tilløbet har vari-ationer på 143 % mere flow i forhold til spildvandsnormen i oplandet.

Flowvariationer spænder fra +100 % til 233 % ekstra-flow i tilløbet. Tidligere analyser bekræfter disse størrelsesordener – iht. **figur 5**:



FIGUR 5. Flow-analyse af tilløbet til Gummerup Renseanlæg.

Projektet har ikke medført en reduktion af uvedkommende vand, men har identificeret mulige geografiske områder for Assens Forsynings fremtidige arbejde med at minimere uvedkommende vand.

Bilag:

AP1-2: Uvedkommende vand i gravitationssystemet
AP1-3: Uvedkommende vand via pumpe data
AP1-8: MIKE URBAN-model af opland til Gummerup Renseanlæg

2.3.5 Reducerede omkostninger til anlæg

Der er ikke i projektet entydigt dokumenteret at det er muligt at reducere omkostninger til anlæg i opførelse af Ny Assens Renseanlæg. Det forventes, at den opstillede type styring kan udligne tilløbet til det nye anlæg i Assens og dermed medvirke til reduktion i anlægsomkostninger, når hele oplandet til Ny Assens Renseanlæg er tilsluttet og styringen fuldt implementeret på flere styringspunkter.

Omkostninger til anlægsrenoveringer i afløbssystemet bliver reduceret ved effektiv identifikation af områder med mest uvedkommende vand.

Bilag:

AP1-1: Udligning af tilløb til Gummerup Renseanlæg

2.4 Diskussion, perspektiv og læring

I projektet er det lykkedes at implementere en styring, der muliggør udjævning af hydraulisk indløb til Gummerup Renseanlæg ved at styre afløbet fra en opstrøms pumpestation. Præmisserne for styringen er, at man kender flow til pumpestationerne i realtid. Hvert andet minut opdateres beregningen af det aktuelle tilløb, og der beregnes et nyt estimat af tilløbet i løbet af de næste to timer ud fra radar-forecast.

Disse oplysninger udnyttes til at beregne den optimale videreførende vandføring fra pumpestationen. En begrænsning i denne model er den periodiske karakter i enkeltstående pumpecykler på grund af pumpestationernes indretning med start/stop-drift. Styringen kunne muligvis optimeres ved at oprette flowstyring af det samlede system.

Set i et større perspektiv kunne man forestille sig, at der ved etableringen af Ny Assens Renseanlæg kunne opstilles en styring, som udjævner det hydrauliske tilløb over døgnet ved at styre afløbet fra alle omegnsbyerne. Det forventes, at et udjævnet tilløb vil medføre en generel forbedret rensning og bedre udløbskvalitet. En styring af tilløbet fra oplandet vil gøre renseanlægget mere robust i perioder med for eksempel høj belastning fra industrier eller perioder med lokal nedbør, hvor styringen vil kunne tilbageholde vand fra omegnsbyer med ledig opmagasinering, hvor vandet kan opbevares og ledes videre når anlægget atter har ledig kapacitet.

Styringen vil medføre, at man reducerer risikoen for overløb til sårbare recipienter under regn. En intelligent styring af tilledningen vil også forberede systemet til ændrede nedbørsmønstre som konsekvens af klimaforandringer. For Assens Forsyning A/S vil styring øge fleksibiliteten i forhold til fremtidige tilslutninger af nye industrier eller boligområder i forsyningsoplandet.

I det nuværende system arbejder Assens Forsyning A/S med dublering af pumper i alle pumpestationer for at sikre sig mod eventuelle nedbrud. Erfaringer fra projektet har vist, at en optimering af dette setup kunne være at arbejde med to pumper med forskellige ydelser, sådan at pumpestationerne kan optimeres til regnvejrssituationer og perioder med tørvejrsafstrømning. Dette kan betyde, at man i perioder med nedbrud vil være tvunget til at benytte en pumpe med en "forkert" ydelse. Det vurderes dog, at den samlede gevinst er større end risikoen for nedbrud på et ubelejligt tidspunkt og deraf følgende overløb.

Voldtoftebassinet med tilhørende pumpestation.

Delopgaven med opstilling af et filter udgik idet Assens Forsyning A/S ikke anså opgaven for relevant i forhold det aktuelle scenarie, hvor Assens Kommune forventer, at alt spildevand opsamles og ledes til Ny Assens Renseanlæg, uden væsentlige overløb. Dermed en prioritering af ressourcerne. Det vurderes, at denne løsning i andre systemer vil kunne medvirke til decentrale udledninger af vand, som er mindst ligeså rent som det, der udledes fra renseanlægget og derved reducere omkostningerne til transport og rensning af spildevand. Det anbefales derfor at undersøge denne mulighed i andre projekter med fokus på udledningskvalitet gennem filteret og styring af tilledningen til det.

Styringen til udligning af tilløb til renseanlægget kan få den uheldige konsekvens, at man får længere perioder med stillestående vand, som kan forværre de allerede konstaterede svovlbrinteproblemer. Der er allerede konstateret væsentlige udfordringer med forekomsten af svovlbrinte i oplandet til Gummerup Renseanlæg, og det må forventes at lignende problemer kan findes i de andre omegnsbyer i Assens. Det er muligt at afhjælpe disse problemer. Det kan ske ved at indtænke svovlbrinteproblematikken i den fremtidige planlægning af afløbssystemet i Assens.

I dette projekt er der testet to løsninger til afhjælpning af svovlbrinteproblematikker, og det er påvist, at det er muligt fuldstændig at fjerne svovlbrinteforekomster. Projektet har dog også vist, at der er behov for flere forskellige løsninger til håndtering af problemet, og Assens Forsyning A/S anbefales derfor at arbejde med modellering af svovlbrinte i det fremtidige planlægningsarbejde.

Erfaringerne fra projektet peger i retning af, at de positive gevinster ved udligning af tilløbet til renseanlægget, separering af oplandene og fjernelse af uvedkommende

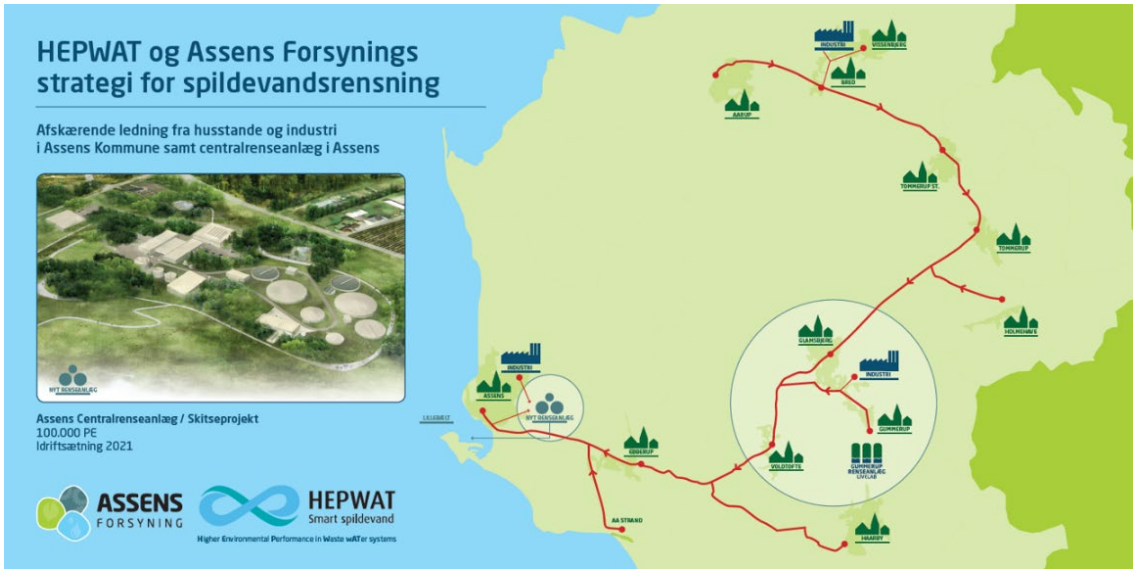
vand står i skarp til kontrast til den produktion af svovlbrinte, der allerede er konstateret i projektet og som må forventes forværret ved en fremtidig reduktion af vandføring i systemet og heraf forøgede opholdstider.

Assens Forsyning A/S arbejder med en strategi om at lede mindst muligt vand til Ny Assens Renseanlæg ved at arbejde med separering og reduktion af indsivning i alle omegnsbyer baseret på erfaringerne fra HEPWAT. Assens Forsyning A/S er bevidste om, at der er potentielle svovlbrinteudfordringer med denne strategi, men arbejder med at indtænke svovlbrinteløsninger i planlægningsfasen af systemændringer. Denne tilgang følger fint erfaringerne og anbefalingerne fra HEPWAT.

I arbejdet med detektering af uvedkommende vand er der i projektet udnyttet standarddata fra afløbssystemet, som er nemt tilgængelige – enten ved at udnytte allerede tilgængelige pumpedata eller ved at opsætte let installerbare sensorer i gravitationssystemet. Disse data konverteres til informationer, som kan bruges til at træffe beslutninger i systemerne. I beregningerne af mængden af uvedkommende vand er der høstet værdifulde erfaringer i forhold til validering og kommunikation af data, som i projektet har medvirket til at styrke produkterne til detektering af uvedkommende vand og derved bragt dem tættere på en løsning, som kan anvendes i andre forsyninger.

Med styring af tilløb og tilbageholdelse af vand i specifikke situationer var det hensigten at omkostningerne til anlæg skulle reduceres. Assens Forsyning A/S står midt i store investeringer i planlægningen og etableringen af Ny Assens Renseanlæg og et transportsystem, der skal bringe vandet fra omegnsbyerne til det nye renseanlæg.

Erfaringerne med de afprøvede løsninger i HEPWAT-projektet dokumenterer ikke besparelser, men har ført til klare *indikationer* på, at kunne nedbringe anlægsomkostninger – eksempelvis til pumpestationer, som skal etableres på den nye transportledning til renseanlægget. Desuden vil de buffervolumener, der skal etableres i systemet af sikkerhedshensyn kunne anvendes til at udligne spidsbelastninger, sådan at systemet ikke skal dimensioneres til disse i samme grad.



HEPWAT og Assens Forsynings strategi for spildevandsrensning

3. Arbejdspakke 2

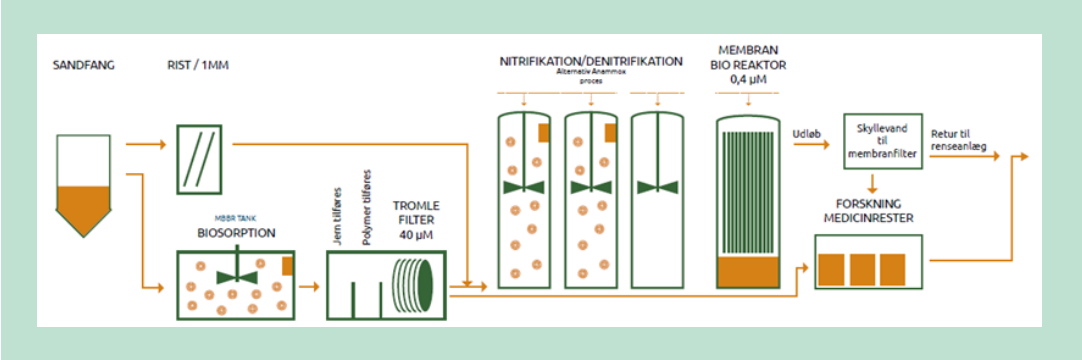
Pakken indeholder en række aktiviteter vedrørende innovation inden for spildevandsrensning – både for traditionelle parametre som N, P, COD/BOD og for miljøfremmede stoffer (medicin m.v.).

3.1 Indledning

Der er demonstreret et samlet koncept for integration af et nyt, fleksibelt og modulært system til spildevandsrensning. Systemet var kompakt og ressourceeffektivt, med et renere udløb end fra nuværende processer på traditionelle renseanlæg (C, N, P, miljøfremmede stoffer, patogener og mikroplast).

Gummerup Renseanlæg var den ideelle placering af det mobile forsøgsanlæg, da der hertil ledes en større mængde industrispildevand sammen med husspildevandet til indløbet på anlægget, hvilket kunne udnyttes til at optimere driften af anlægget og sænke driftsomkostningerne. Derudover var det et mål at sænke etableringsomkostningerne samt at efterlade et mindre miljøaftryk.

Mobilrenseanlægget er illustreret i figur 6.



FIGUR 6. Illustration af mobilrenseanlægget på LiveLab.

Det mobile forsøgsanlæg bestod af følgende anlægsdele:

- Biosorptionsanlæg (primær rensning og kulstofhøst)
  Biosorptionstank og tromlefilter
- MBR-anlæg (sekundær rensning og slamseparation)
  Nitrifikation- og denitrifikationstanke (IFAS-tanke), samt MBR-tank
- eXeno™ (tertiær rensning)
  Biologisk fjernelse af MFS

Indløbet blev pumpet fra eksisterende sandfang på Gummerup Renseanlæg. Udløbet og overskudsslammet blev ført tilbage til Gummerup Renseanlæg.

Bilag:

AP2-1: Mobilt renseanlæg – Forsøg med aktiv slam-drift.

3.2 Mål med Arbejdspakke 2

TABEL 3: Mål med arbejdspakke 2.

Projektets mål	Succeskriterier
Miljømæssige forbedringer i recipienter	Overløb sænkes med mindst 20 % Den samlede årlige belastning med N, P og COD sænkes med 50 %
Miljømæssige forbedringer ift. lattergas	Sænker N_2O-emission med mindst 25 %
Reduktion i udledningen af miljøfremmede stoffer (MFS)	Udledningen af lægemidler reduceres med minimum 50 %
CO_2-footprint sænkes markant	I forhold til traditionelt anlægsdesign og drift, sænkes det samlede CO_2 aftryk med mindst 20 % (eksklusiv lattergasemission)
Bedre anvendelse af industrispildevand	Industrispildevand modtages, når det kommunale renseanlæg har brug for det – uden forrensning hos industrien.
Reducerede omkostninger til anlæg	Udjævning af afløbsmængder sænker anlægs-omkostninger med 15-20 %
Driftsmæssige forbedringer	Lønomkostninger til drift sænkes med 20 %
Øget sundhed hos medarbejderne.	Svovlbrinteniveau (H_2S) under 10 ppm

3.3 Resultater

3.3.1 Miljømæssig forbedring i recipienter

Den miljømæssige forbedring af recipienten vurderes baseret på færre overløb og samlet lavere udledning af N, P og COD/BOD.

På forsøgsanlægget er der udført en samlet indsats i Arbejdspakke 1 og Arbejdspakke 2 for at mindske overløb. I Arbejdspakke 1 blev Voldtoftebassinet brugt til at udligne den hydrauliske spidsbelastning på Gummerup Renseanlæg (se afsnit 2.3.1).
I Arbejdspakke 2 blev mobilrenseanlægget etableret parallelt med det eksisterende Gummerup Renseanlæg og det kunne behandle halvdelen af tørvejrsflowet.

Belastning af mobilrenseanlæg

TABEL 4: Gennemsnitlig belastning af mobilrenseanlægget i perioden 2018-04-01 til 2019-07-04 ift. designgrundlag.

Parameter	Total	Opløst
COD	80 %	39 %
BOD	48 %	42 %
SS	150 %	-
P (opløst = orto-fosfat)	210 %	99 %
N (opløst = ammonium)	210 %	160 %

Under projektet har belastningen af mobilrenseanlægget været markant anderledes, end de data, som er designgrundlaget – se TABEL 4. Det var især forholdet mellem kulstof, kvælstof og fosfor, som var ændret, hvor både C/N- og C/P-forholdet var mere end halveret, se TABEL 5. En sådan variation i belastningen i forhold til designgrundlaget, har selvfølgelig haft en stor betydning for driften af mobilrenseanlægget. Derfor har fokus været på optimering af kvælstoffjernelsen.

TABEL 5: Forholdstal for kulstof, kvælstof og fosfor i designgrundlaget for mobilrenseanlægget og gennemsnit af døgnprøveanalyser fra perioden 2018-04-01 til 2019-07-04.

Parameter	Designgrundlag	Testperiode
COD_{total} / N_{total}	37	14
COD_{total} / P_{total}	200	77

Spildevandsrensning på mobilrenseanlægget

Mobilrenseanlægget har været testet med to driftsformer for MBR-anlægget, traditionel aktiv slam-drift og IFAS (Integrated Fixed-film Activated Sludge) via MBBR-medie med anammox-proces.

TABELI 6: Gennemsnitlig udløbskoncentration fra Gummerup renseanlæg (2014-2017) og mobilrenseanlægget under testperioder. Henholdsvis ved drift af MBR-anlæg med aktiv slam drift og med IFAS-drift med anammox-proces.

Parameter	Gummerup RA	Aktiv slam		IFAS m. anammox	
	Udløb	Udløb	Forbedring	Udløb	Forbedring
COD total	27 mg/L	18 - 19 mg/L	30 - 35 %	17 mg/L	37 %
BOD total	3,7 mg/L	< 2,8** mg/L	> 24** %	NA***	NA***
SS	14 mg/L	< 0,91** mg/L	> 94** %	NA***	NA***
P total	0,38 mg/L	0,35* - 0,83 mg/L	> 35* %	0,40 mg/L	- 4,6 %
N total	3,6 mg/L	7,7 - 9,2 mg/L	-160 - -120 %	10 mg/L	- 180 %

** Få udløbsprøver er ikke-målbare og detektionsgrænsen bruges derfor i udregningen*

*** De fleste udløbsprøver er ikke-målbare og detektionsgrænsen bruges derfor i udregningen*

**** Alle udløbsprøver er ikke-målbare (Not Available) og detektionsgrænsen er ikke oplyst*

Traditionel aktiv slam-drift

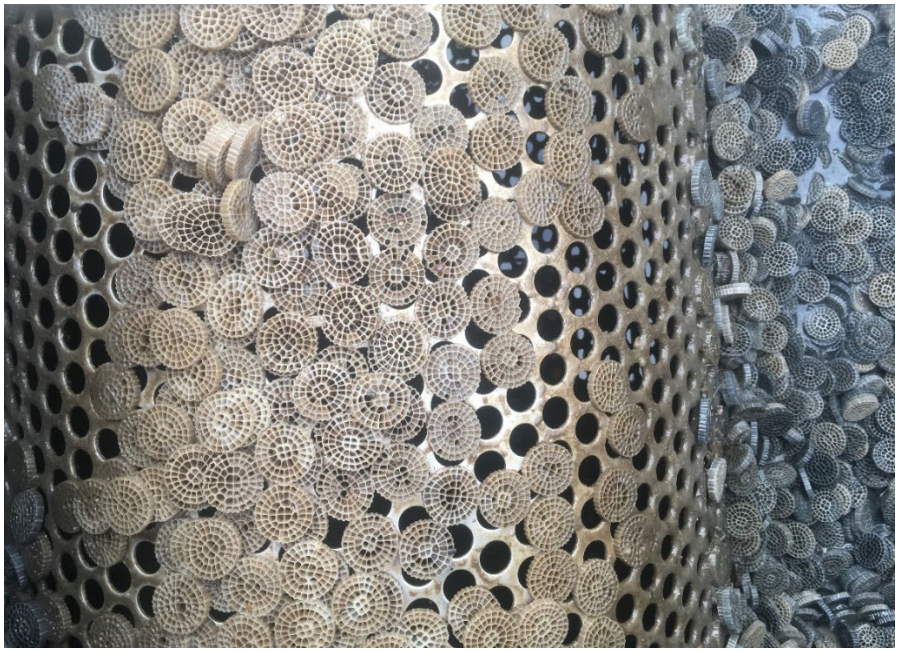
Der blev opnået 30 til 35 % bedre fjernelse af COD i mobilrenseanlægget, end på Gummerup Renseanlæg. Den resterende mængde COD på 16-24 mg/L var opløst inert COD, som ikke kan fjernes ved konventionelle metoder.

Udledningen af fosfor afhang direkte af, hvor effektiv en styring, der var på den kemiske fældning. For mobilrenseanlægget kunne det ses, at der blev opnået en 35 % forbedring ved fast dosering og minimum 45 % forbedring med STAR online-styring.

Kvælstofbelastningen af anlægget var over dobbelt så stor som beskrevet i designgrundlaget, se TABEL 4. Det betød, at procesvolumen for den biologiske kvælstoffjernelse var halv så stor i forhold til den belastning, der blev ført til MBR-anlægget. Det var derfor ikke muligt at opnå en 50 % forbedring af udledning, men med STAR online-styring var den gennemsnitlige udledning (7,7 mg/L) under udledningskravet for Gummerup Renseanlæg (8,0 mg/L). Det var også muligt med online-styringen at opnå en 63 % forbedring af udledning af ammonium, ved at benytte biosorptionsanlægget som en del af nitrifikationsprocessen.

Bilag:

AP2-1: Mobilt renseanlæg - Forsøg med aktiv slam drift.



Carriers i biosorptionstanken.

IFAS-drift med anammox-bæremedie
Det var ikke muligt at opnå komplet fjernelse af kvælstof i MBR-anlægget med IFAS-drift og anammox-bæremedie. Baseret på laboratorieforsøg udført af DTU MILJØ kunne anammox-bæremediet alene på det mobile renseanlæg fjerne 12 % af kvælstoffet fra dets indløb. Det ville have været muligt at opnå en større kvælstoffjernelse, hvis der var blevet tilført et højere antal anammox-bæremedie (carriers). De største udfordringer med implementeringen af anammox-teknologien var:

1) Laboratorieforsøg viste, at effektiviteten af anammox-processen faldt ved 50 % per temperaturfald på 10º C
2) Membranfiltreringen krævede konstant og høj beluftning for at holde membranen fri for slam. Den øgede tilbageførelse af ilt fra MBR-tanken vanskeliggjorde undertrykkelsen af NOB'er i IFAS-tankene og reducerede herved tilgængeligheden af nitrit for anammox-bakterierne

Bilag:

AP2-2: Autotrof kvælstoffjernelse i hovedstrømmen.

3.3.2 Miljømæssig forbedring vedr. lattergas

Lattergas (N_2O) er en drivhusgas med et drivhusgaspotentiale 300 gange højere end CO_2. Udledning af selv relativt små mængder lattergas har derfor stor betydning for den samlede udledning af klimagasser målt i CO_2-ækvivalenter. Yderligere er lattergas nu en af de største trusler mod ozonlaget. Lattergas dannes som et biprodukt af biologisk kvælstoffjernelse (nitrifikation og denitrifikation).

Den gennemsnitlige N_2O-emissionsfaktor for mobilrenseanlægget var mindre end 0,1 % (N_2O frigivet/kvælstof fjernet), når anlægget var fuldt belastet og mere end 30 % af

indløbet blev bypasset udenom biosorptionsanlægget. Under normal drift på Gummerup Renseanlæg var emissionsfaktoren 0,4 %. Dermed var den gennemsnitlige emissionsfaktor lavere på mobilrenseanlægget, end Gummerup Renseanlæg. I begge anlæg var N_2O-frigivelsen mest følsom overfor pludselige ændringer i tilførslen af kvælstof. En stigning i kvælstoftilførsel kan således føre til markant højere N_2O-frigivelser, hvilket giver en dramatisk stigning i den gennemsnitlige N_2O-emissionsfaktor.

For at reducere N_2O-frigivelse i mobilrenseanlægget skal der sikres en tilstrækkelig kulstoftilledning til kvælstoffjernelsen i MBR-anlægget via bypass af biosorptionsanlægget. Dette øger forbruget af den N_2O, der er produceret af AOB'er ved at stimulere denitrifikationsprocessen. Bypass kan dermed fungere som en buffer for N_2O-frigivelser, og nedsætter følsomheden af lattergasfrigivelser overfor dynamiske kvælstoftilførsler (N total) i det indkommende spildevand.

Bilag:

AP2-3: Dynamik og emission af lattergas.

3.3.3 Reduktion i udledningen af miljøfremmede stoffer (MFS) og patogener

På LiveLab er der arbejdet både med forbedret fjernelse af medicinrester og patogene-bakterier på Gummerup Renseanlæg og mobilrenseanlægget.

Patogene bakterier

Der mangler i dag stadig konkrete og effektive tekniske løsninger til at håndtere potentielle patogene-bakterier i spildevandet. Indholdet af patogene-bakterier og parasitter blev målt på forskellige steder på Gummerup Renseanlæg og mobilrenseanlægget.

Målinger viste at membranfiltreringen i MBR-anlægget effektivt fjernede patogene bakterier i forhold til den traditionelle efterklaring på Gummerup Renseanlæg. Der blev ikke detekteret patogene bakterier i udløbet fra MBR-anlægget, med undtagelse af et mindre antal *Legionella spp.*, som ser ud til at trives i MBR-anlæggets rentvandstank (skyllevandstank).

Forekomsten af andre patogene bakterier end *Legionella spp.* i udløbet fra eXeno™ skyldes tilførsel af ubehandlet spildevand under "feast" perioder i eXeno™-anlægget.

Bilag:

AP2-4: Patogene bakterier.

Miljøfremmede stoffer

eXeno™-anlægget har været placeret sidst i procestoget på mobilrenseanlægget med en ny proceskombination, biosorption og MBR, som primær og sekundær rensning.

Den positive effekt af eXeno™ som poleringsproces var tydelig for fire miljøfremmede stoffer ved sammenligning med Gummerup Renseanlæg (et antibiotikum, en smertestillende og en beta-blokker mod hjerte- og kredsløbslidelser samt et almindelig brugt korrosionsbeskyttende middel). For øvrige forbindelser var effekten mindre

udtrykt, men dette kunne også skyldes de særlige driftsbetingelser, som pilotanlægget har haft.

Procestanke i eXeno™, der fjerner medicinrester.

Tilløbet til eXeno™-anlægget har haft et markant lavere C/N-forhold end forventet. Det skyldtes det lave C/N-forhold i indløbet til Gummerup Renseanlæg, som har betydet, at MBR-anlægget ikke har kunnet fjerne al kvælstof, inden det blev tilført eXeno™-anlægget. Kombinationen af det relative høje nitratindhold og meget sparsomme indhold af kulstof betød at enhver forekomst af let omsætteligt kulstof i eXeno™ blev benyttet af de tilstedeværende denitrificerende bakterier. Den begrænsede adgang til kulstof for eXeno™ gjorde det dog muligt at identificere de driftsbetingelser, hvor bakterierne ikke tilføres tilstrækkelig med kulstof for at opretholde en stabil bakteriekultur. Denne viden har meget stor betydning for den fortsatte udvikling af processen.

Det var muligt at opnå forskellige biofilmtykkelser ved at styre mængden af tilført kulstof og valg af bæremedie. Resultaterne viste, at en mellemtyk (< 500 µm) biofilm generelt er at foretrække, da den samlet set gav den største omsætning af miljøfremmede stoffer per fyldelegeme (carrier). I tilfældet af, at der er et eller få specifikke forbindelser, som skal reduceres, kan en tynd biofilm dog være betydeligt mere effektiv.

Bilag:

AP2-6: HEPWAT- eXeno™ - Biologisk fjernelse af MFS

3.3.4 CO_2-footprint sænkes markant

Det har ikke været muligt at udføre en direkte sammenligning af CO_2-aftryk for mobilrenseanlægget i forhold til et traditionelt 2-trins renseanlæg. Der var for høj usikkerhed om beregningen grundet kort driftsperiode af anlægget og skaleringsudfordringerne fra det meget kompakte mindre mobilrenseanlæg til et større fuldskalaanlæg. Specielt de store driftsomkostninger til elforbrug ved beluftning er svær at sammenligne på grund af de forskellige skalaforhold.

Mobilrenseanlægget blev bygget med henblik på at mindske CO_2-aftrykket især på følgende punkter:

- Biosorptionsanlægget (MBBR + tromlefilter) omdannede opløst kulstof til biofilm, med minimal nedbrydning af det suspenderede stof, hvilket øgede biogas-potentialet i slammet og effektivt fjernede det fra spildevandet
- Mainstream anammox-processen i MBR-anlægget brugte ikke kulstof til at fjerne kvælstof og det øgede dermed muligheden for kulstofhøst i biosorptionsanlægget. Processen brugte også mindre beluftning end traditionel biologisk kvælstoffjernelse og havde derfor et mindre elforbrug
- Anlægget var kompakt og der var derfor brugt mindre materiale til at bygge anlægget sammenlignet med et traditionelt anlæg i beton

3.3.5 Bedre anvendelse af industrispildevand

Spildevandet fra Kerry (lokal industrivirksomhed, der fremstiller ostepulver) udgjorde 30-39 % af kvælstof og kulstof-tilførslen (N, COD og BOD mængde) og kun 10 % af vandtilførslen (mængde) til Gummerup Renseanlæg. Statistisk dataanalyse (ét år) samt prøvekampagne (én måned) viste både store variationer i den daglige og døgnmæssige stofbelastning fra Kerry.

Biosorptionsanlægget var designet til at kunne maksimere kulstofhøsten ved kun at omsætte det opløste kulstof efterfulgt af fjernelse af suspenderet stof i et tromlefilter. I Krügers forsøg med optimering af biosorptionsanlægget blev der i gennemsnit opnået 95 % reduktion af total COD, 98 % af opløst BOD og 99 % af suspenderet stof.

Et kulstofstyringsmodul til STAR online-styring blev installeret for at balancere kulstofhøsten i biosorptionsanlægget i forhold til behovet for kulstof til den efterfølgende biologiske kvælstoffjernelse i MBR-anlægget. Der blev opnået en gennemsnitlig forbedring på udledningen af kvælstof fra mobilrenseanlægget på 16 % under forsøg med aktiv slam-drift i MBR-anlægget ved aktivering af kulstofstyringen.

Det viser, at en automatisk kulstofstyring er vigtig for optimering af kulstofhøst, uden at risikere udløbskvaliteten. Dette ses især i forhold til de store udsving i stofbelastningen fra Kerry.

Bilag:

AP2-1: Mobilt renseanlæg – Forsøg med aktiv slam-drift.
AP2-5: Industrispildevand fra Kerry.

3.3.6 Reducerede omkostninger til anlæg

I Arbejdspakke 1 er Voldtoftebassinet brugt til at udligne spidsbelastningen på Live-Lab (se afsnit 2.3.5). Ved at reducere den hydrauliske spidsbelastning kan alle anlægsdele i et nyt renseanlæg dimensioneres for en mindre hydraulisk belastning. Det har specielt betydning for anlægsdele som riste, sand- og fedtfang, rørledninger, samt klaringstanke. Ved at reducere den stofmæssige spidsbelastning har det hovedsageligt betydning for dimensionering af bundbeluftningssystemer i biologiske tanke.

Samlet set vil reduktion af spidsbelastning i et dimensioneringsgrundlag for et renseanlæg kunne give betydelige besparelser på anlægsomkostninger.

3.3.7 Driftsmæssige forbedringer

Mobilrenseanlægget er bygget med fokus på en høj grad af automatik for at mindske driftsomkostningerne på anlægget. Tromlefilteret i biosorptionsanlægget og membranmodulet i MBR-anlægget kræver dog ugentlig rensning, hvor anlægget må stoppes. På et fuldskalaanlæg kan dette med fordel blive automatiseret med parallelle proceslinjer, så driftsomkostningerne kan sænkes og anlægget kan fortsætte i drift under rensning.

3.3.8 Øget sundhed hos medarbejderne

Det forventes, at arbejdet udført i oplandet til Gummerup Renseanlæg i Arbejdspakke 1 omkring svovlbrinte, vil forbedre arbejdsmiljøet og reducere behovet for vedligeholdelse på anlægget ved at mindske mængden af svovlbrinte i indløbet til anlægget. Mindre svovlbrinte i indløbet vil per definition også medføre mindre risiko for driftsmedarbejderne og dermed fremme deres arbejdsmiljø.

Billede af hvilket arbejdsmiljø, der skal prøves udgået.

3.4 Diskussion og perspektivering

Med mobilrenseanlægget er det lykkedes at etablere et kompakt modulrenseanlæg, hvor det har været muligt at teste en lang række forskellige driftsformer og -situationer.

Behovet for at kontrollere kulstofbalancen i anlægget har været en nøglefaktor på tværs af forsøgene udført på mobilrenseanlægget, som har givet nogle interessante perspektiver.

For hvilke driftsparametre skal vægtes højest? Øget biogaspotentiale og reduceret udgift til beluftning? Eller reduceret udledning af kvælstof til recipient og mindre lattergasemission?

Forsøgene på mobilrenseanlægget har vist, at biosorptionsanlægget effektivt kan fjerne kulstof fra spildevandet og dermed reducere mængden af kulstof, som bliver

omsat i beluftningstankene. Samtidig viser andre forsøg, at kvælstofindholdet i udløbet til recipienten kan sænkes ved ikke at maksimere mængden af kulstof til biosorptionsanlægget. Derudover er det også erfaret, at en hæmmet denitrifikationsproces på grund af reduceret kulstoftilførsel, er mere sårbar overfor lattergasemission ved store udsving i kvælstofbelastning. CO_2-aftrykket kan derfor ikke udelukkende evalueres på øget biogasproduktion og mindre udgift til el. Der skal også tages hensyn til lattergasemission.

På eXeno™-anlægget blev det også konkluderet, at styring af kulstofindholdet i indløbet til anlægget er vigtigt for at opnå den højeste effektivitet for fjernelse af MFS. Her blev det erfaret, at både for stor og for lille tilførsel af kulstof til de biologiske tanke, resulterede i mindre omsætning af MFS. Kulstof i spildevand er ikke længere bare en forurening, som skal fjernes, men derimod et værktøj til at optimere fjernelsen af andre forureninger og en mulighed for at mindske CO_2-aftrykket på renseanlægget. Udfordringen er at finde den rette fordeling.

Avanceret styring af renseanlæg er et uundværligt værktøj til at balancere driftsudgifter og udløbskvalitet. På mobilrenseanlægget betød implementeringen af STAR online-styring blandt andet, at kulstofbalancen mellem biosorptionsanlægget og MBR-anlægget blev optimeret, hvilket resulterede i en bedre udløbskvalitet. En overstyring med lattergaskontrol kan også med fordel implementeres for at sikre, at den dynamiske optimering af anlægsdriften ikke øger risikoen for øget lattergasemission.

Mobilrenseanlægget er opdelt i kompakte moduler, som individuelt kan flyttes og implementeres i andre systemer. Trods den meget kompakte anlægsopbygning har anlægget været meget robust overfor store udsving i stofbelastning i indløbet. Dette skyldes til dels online-styringen, som sikrer løbende optimering af driftsparametre.

Der har dog været visse udfordringer med at bygge et så kompakt anlæg med så alsidige muligheder og funktioner. Anlægskravene til mobilrenseanlægget betyder at mange renseteknologier er udelukket, hvilket efterlader få alternativer. MBR-anlægget er designet ud fra brugen af membraner til effektiv og kompakt separering af slam fra vand. Det sikrer en meget høj udløbskvalitet ved retention af partikler, mikroplast og patogene bakterier. Teknologien har dog også et stort CO_2-aftryk og driftsudgift, da den kræver konstant beluftning. Det harmonerer ikke med ønsket om lavere driftsomkostninger og mindre CO_2-aftryk på mobilrenseanlægget, men det er eneste mulighed for at holde anlægget mobilt. Derudover har MBR-anlægget vist sig at have dårlig synergi med anammox-processen, hvor sparsom brug af beluftning er altafgørende for kultivering af anammox-bakterien.

Det er vigtigt i design af fremtidige modulære renseanlæg at lægge vægt på synergien mellem optimalt design af alle processer.

Ift. design af fuldskala og traditionelle renseanlæg har erfaringerne fra mobilrenseanlægget vist, at det er vigtigt at medtænke avanceret styring af anlægget. Den avancerede styring øger robustheden af anlægget og gør det mere alsidigt ift. hvilke driftsparametre, der vægtes højest. Den avancerede styring kan også med fordel strække ud over renseanlægget og ind i oplandet, hvor bedre styring af ledningsnettet kan sikre bedre drift af anlægget og mindske anlægsomkostninger. Derudover kan det også reducere mængden af svovlbrinte i indløbet, hvilket øger sundheden hos driftspersonalet og reducere behovet for vedligeholdelse af anlæg.

HEPWAT-anlægget set fra oven, med dets modulopbygning.

4. Arbejdspakke 3

Pakken indeholder en række innovative forslag på IT-området. Forslagene, der primært er baseret på Open Source-teknologi, skal betragtes som et supplement til allerede eksisterende teknologier med standardopsætning inden for vandbranchen.

4.1 Indledning

I Arbejdspakke 3 har fokus været på etablering af en IT-løsning, som kan nytænke de nuværende IT-systemer og deres interaktion. Ved at udnytte globalt udbredte open source-informationsteknologi i nyeste version skal projektets IT-løsning fjerne den traditionelle økonomiske barriere for udnyttelse af IT i vandbranchens applikationer.

Målgruppen for IT-systemet er på mellemkort sigt alle spildevandsselskaber i Danmark.

4.2 Mål med arbejdspakke

Projektmålene, som er behandlet i Arbejdspakke 3 ses i TABEL 7.

TABEL 7: Oversigt over projektmål, der er behandlet i Arbejdspakke 3.

Projektets mål	Succeskriterier
Open Source demonstreres i Spildevandsbranchen	Forsyningsselskab og kunder konstaterer, at det er blevet billigere at bruge IT, at IT anvendes langt mere aktivt til systemintegration samt desuden lettere og mere kvalificeret muliggør monitering, styring og optimering samt dokumentation i forhold til det samlede spildevandssystem

4.3 Resultater

ARTOGIS A/S har udarbejdet en udførlig rapport (se bilag AP3-1) der beskriver opbygning af HEPWAT-projektets IT og de udfordringer, der har været i gennemførelse af denne projektdel – Arbejdspakke 3.

IT-løsningen er en generisk data- og digitaliseringsplatform, der til fulde vil kunne konfigureres til at understøtte alle de i MUDP-ansøgningen oprindeligt definerede krav og dertil hørende målsætninger.

IT-løsningen blev frigivet som Open Source på GitHub i april 2019. Frigivelsen skete som en GNU AGPLv3-licens, hvilket sikrer, at alle ”afledte værker” også skal frigives som Open Source. Alle interessenter – både IT-virksomheder, rådgivere og forsyninger m.fl. – kan således vederlagsfrit downloade kildekoden til IT-løsningen, inklusiv den dertil hørende dokumentation.

Løsningen kan interagere med forsyningsselskabernes eksisterende systemer til dataopsamling, lagring, konsolidering, kvalitetssikring, anvendelse i avancerede beregninger og udstilling. For eksempel kan IT-løsningens datasamling udstilles som

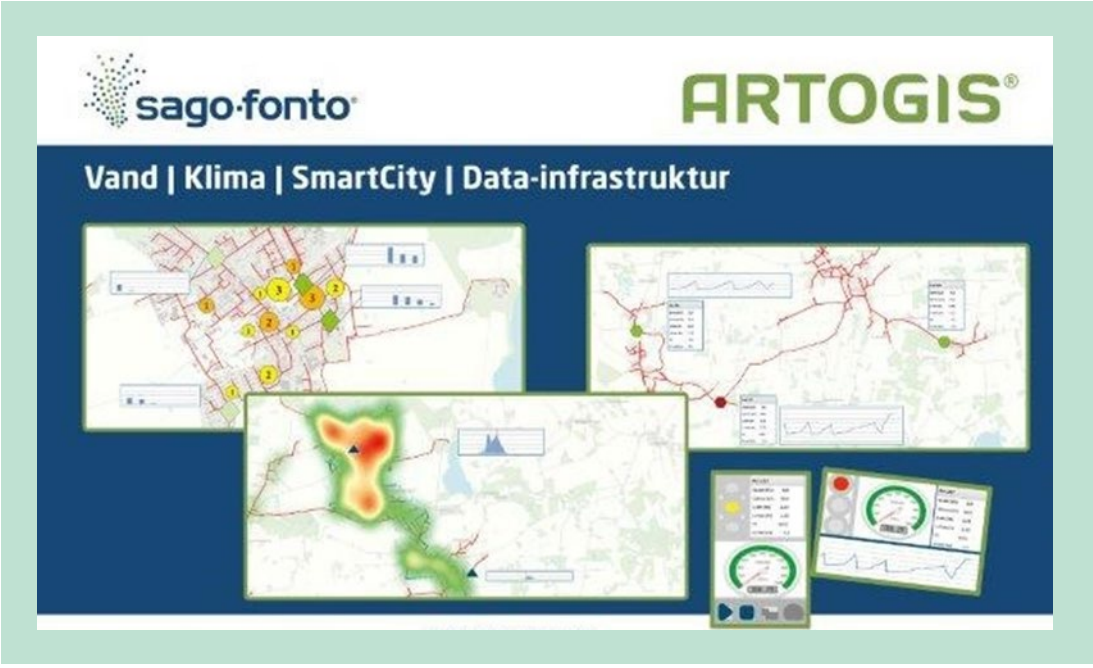
REST-services, og dermed integreres i eksisterende systemer som ledningsregistrering, GIS, Business Intelligence m.v. samt indgå som datamateriale i brug af teknologier inden for AI (kunstig intelligens), Machine learning m.v.

Løsningen giver ét samlet overblik over alle relevante data, idet datarobotter sørger for at sammenstille data fra alle de forskellige datakilder, som Assens Forsyning A/S har ønsket at inkludere. IoT gør det hurtigere, lettere og billigere at monitorere, styre, optimere og dokumentere – eksempelvis driftens aktiviteter generelt, fordi driftsmedarbejderen egenhændigt kan installere og drive IoT-målere, overvåge data herfra, samt tilrette varslingsværdier m.v. Yderligere er IoT-målere ofte markant billigere, end det traditionelle højkvalitetsudstyr (op til 1/10 af prisen), men har følgelig heller ikke samme målepræcision og robusthed. Men som supplement rummer IoT-målere et stort potentiale.

I bilaget gennemgår ARTOGIS A/S desuden HEPWAT's IT i forhold til projektbeskrivelsens målsætninger set ud fra et Arbejdspakke 3-perspektiv. Evalueringen er subjektiv, og står alene for ARTOGIS' egen regning, idet de øvrige partnere i HEPWAT-projektet kan have en anden opfattelse.

Bilag:

AP3-1: HEPWAT WP3 – Slutrapport til MUDP m.fl.



FIGUR 7. ARTOGIS-illustration på dataopsamling.

4.4 Diskussion og perspektivering

Det er lykkes med IT-løsningen i HEPWAT at påvise, hvorledes IT-strukturen kan nytænkes. Både hos Assens Forsyning A/S, i andre danske vandselskaber samt globalt (eksport-perspektiv) er det epokegørende, at IT-løsningen foreslår potentielt nedbrydning af de klassiske "IT-siloer", som påfører vandsektoren og dens leverandører store "døde" omkostninger og en lav innovations- og omstillingsevne.

Der findes i dag ikke IT-løsninger, der på samme fleksible (konfigurerbare) måde skaber en homogen ”paraply” – i form af en visuel og intuitiv brugergrænseflade, realtidslignende robotter og et samlet overvågningssystem – over en bred vifte af de mere eller mindre proprietære komponenter og deres datakilder (alt fra sensorer, pumper, IT-løsninger etc.), som indgår i den komplekse styring af det samlede spildevandsanlæg.

Forudsætningerne har ændret sig i forhold til den planlagte udvikling og implementering af Arbejdspakke 3 IT-løsningen, set i forhold til det i ”Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT” beskrevne. Den største hindring for at opnå det ideelle resultat skønnes at være integration med de nuværende ”IT-løsningssiloer”, der i dag findes hos forsyningsselskaber, rådgivere og producenter.

Der er derfor behov for at have fokus på denne problemstilling i fremtidige løsninger. Gennem projektfaserne har det været meget svært at sikre den planlagte koordinering og implementering af dataindsamling, anvendelse og offentliggørelse på tværs af de fire partnere og de tilknyttede IT-leverandører. Databasen er derfor opbygget på baggrund af Assens Forsynings eksisterende SRO-database, hvor alle relevante oplysninger findes.

5. Arbejdspakke 4

Udover projektledelse indeholdt Arbejdspakke 4 aktiviteter forbundet med formidling af projektets formål, mål og opnåede resultater. I projektets opstart blev der nedsat en kommunikationsgruppe til at sikre leverancerne.

5.1 Indledning

For at sikre at kommunikationen og formidlingen i projektet kunne målrettes og "times" rigtigt, udarbejdede kommunikationsgruppen en kommunikationsstrategi, der definerede og budgetterede aktiviteterne.

Der blev i den indledende fase lagt stor vægt på at etablere en HEPWAT-hjemmeside, hvor projektets indhold og partnerne bag det kunne præsenteres.

For at sikre adgang for især studerende og input til "digitalisering", var det planlagt, at der skulle oprettes et datarum, hvor mange af projektets dataserier kunne tilgås. Det er ikke blevet muligt i projektet, men data er sidenhen publiceret på hjemmesiden.

Kommunikationsplanen er løbende fulgt, hvilket har resulteret i et antal artikler, præsentationer, rundvisninger og en stor indvielse med ministerbesøg.

5.2 Mål med arbejdspakke

HEPWAT har med sin status som et af Miljøstyrelsens fyrtårnsprojekter primært haft til formål:

- at medvirke til at demonstrere ny teknologi, der er mere kost-effektiv og eventuelt går videre, end gældende miljølovgivning, samt
- sikre at viden og metoder opnået med dette, kommunikeres til potentielle brugere i Danmark og i udlandet, med henblik på salg og eksport.

Denne formidling af viden samt resultater fra konkret demonstration skal danne grundlag for at relevante myndigheder kan få perspektiv og potentielle brugere vurdere nye virkemidler til at optimere anlægs- og driftsøkonomi, og hermed sikres samlet "mest miljø for pengene".

Derfor var målet med arbejdspakken at koordinere partnernes formidlingsindsats til størst mulig effekt, og desuden sikre at relevante branchekanaler for formidling fik den rigtige strøm af resultater.

5.3 Resultater af kommunikationsstrategi

Herunder er kort oplistet en gennemgang af erfaringerne og resultaterne i Arbejdspakke 4.

Der blev kort efter projektets opstart udarbejdet og lanceret en samlet kommunikationsstrategi, som gennem projektet har givet alle partnerne et godt udgangspunkt for at planlægge fælles og egne formidlings- og salgsaktiviteter.

Der blev desuden oprettet en referencegruppe, som skulle hjælpe med perspektivering og resultatformidling undervejs.

5.3.1 Hjemmeside

Hjemmesiden for HEPWAT, http://www.hepwat.dk, blev etableret og konfigureret for at præsentere projektets indhold og for at promovere de deltagende partnere.

Screendump af hjemmeside.

Fra start af var der fokus på at henvende sig til en bred målgruppe – herunder at kommunikere i et let forståeligt sprog og på, at skabe en overskuelig tilgang til HEPWAT-projektet. Samtidigt blev der lagt vægt på, at informationer og data skulle

have værdi for både branchefolk og studerende, så de havde mulighed for at benytte sig af projektets resultater (til inspiration og læring).

Der blev dengang løbende publiceret nyheder på hjemmesiden – blandt andet i form af presseomtale og informationer om indvielse og rundvisninger. Der blev også informeret om partnerne bag projektet – både i tekst- og videoform – og både på dansk og engelsk.

5.3.2 Foredrag og fremvisninger

Der har siden forsøgsanlæggets start i 2018 i gennemsnit været rundvisninger én gang om måneden.

Gæsterne har været folk fra branchen og udenlandske interesserede, som har besøgt anlægget. Samtidig har Assens Forsyning A/S vist forsøgsanlægget frem til sine brugere, kunder og interesserede i lokalområdet – blandt andet i forbindelse med et større åbent hus-arrangement.

Bilag:

AP4-2: Annonce for Åbent Hus

Herudover har flere skoleklasser lagt vejen forbi HEPWAT og Gummerup Renseanlæg, hvor elever og lærere både har fået fortalt historien om det traditionelle renseanlæg og fremtidens nye tiltag.

Den største begivenhed var indvielsen af HEPWAT med besøg af mange fra branchen, og ikke mindst daværende klima-, energi- og forsyningsminister Lars Christian Lilleholt, som satte projektet i gang (se indbydelsen i bilag AP4-3).

I bilaget herunder findes en samlet oversigt med præsentationer samt omtale i trykte og elektroniske medier.

Bilag:

AP4-1: Oversigt over formidlingsaktiviteter.
AP4-3: Invitation til indvielse

5.4 Diskussion og perspektivering

I ansøgningen blev der lagt op til, at den primære formidling skulle forgå via hjemmesiden, og at denne derfor løbende skulle tilpasses og opdateres. Det er et meget stort arbejde at holde en projekthjemmeside levende, og partnerne har måttet konstatere, at der ikke var sat ressourcer nok af til denne del. I et andet og lignende projekt vil det være en stor fordel at afsætte midler (for eksempel en ressourceperson inden for kommunikation) til denne del fra start af, eller aktivt forholde sig til en alternativ base for kommunikation.

En anden kilde til formidling var deling af data og resultater. Dette foregik via hjemmeside og foredrag, men det lykkedes ikke at få etableret et "datarum", hvor eksterne kunne tilgå projektets data. Den primære årsag hertil var, at projektets arbejdspakker havde forsinkelse og heller ikke synkron afvikling, og derfor var der ikke samlede anlægsdata, der kunne tilgås.

Det er besluttet, at der lægges data ud på http://www.hepwat.dk/, som eksterne kan tilgå – eksempelvis til brug i undervisning m.v. (eventuelt i samarbejde med Naturvidenskabernes Hus/Tektanken[6]).

Som en konsekvens af en meget opsøgende strategi, har der været mange indlæg på konferencer og i artikler m.v., og generelt har der været stor tilfredshed blandt partnerne for denne del. Det er indtrykket, at vi er nået langt ud til både danske og udenlandske forsyninger og virksomheder.

Der er umiddelbar tilfredshed i forhold til antallet af de danske rundvisninger, der er gennemført i projektperioden.

Der var forventning om, at der ville være flere udenlandske grupper, som ville have ønsket en rundvisning. Det er muligt at søgningen hertil øges når Ny Assens Rensningsanlæg står færdigt (forventet 2022). Her vil der kunne fremvises et stort komplet anlæg med en række af de nøgleteknologier, der indgik i HEPWAT.

Grundfos A/S og Krüger A/S vil anvende case-studies til den videre formidling af projektet. I forlængelse af denne rapports færdiggørelse har partnerne taget initiativ til dette med henblik på at skabe mere international opmærksomhed.

Til den videre kommunikation og formidling af HEPWAT-projektet er det aftalt, at projektets partnere fremstiller og udgiver en grafisk publikation, som i tekst, billeder og illustrationer fortæller om projektet og dets resultater.

[6] https://www.nvhus.dk/

6. Konklusion og perspektivering

Ambitionen med HEPWAT har været at projektet skulle være et fyrtårn for dansk spildevandshåndtering, hvor der kunne demonstreres markante miljøforbedringer og markante reduktioner i etablerings- og driftsudgifterne.

6.1 Udfordringer med spildevand

Projektet har adresseret nogle af de udfordringer, som afledning og rensning af spildevand står overfor i dag:

- Højt Carbon Footprint gennem relativt højt energiforbrug og udledning af lattergas
- Miljøbelastning gennem overløb, udledning af næringsstoffer, bakterier og miljøfremmede stoffer
- Øgede drifts- og vedligeholdelsesomkostninger på grund af uvedkommende vand og svovlbrinte
- Uforløst effektiviseringspotentiale, som blandt andet skal opnås gennem digitalisering
- Reduktion af anlægsomkostninger ved etablering af nye anlæg
- Strengere regulering og miljølovgivning over lang tid

6.2 Muligheder med spildevand i HEPWAT-perspektiv

Konkret er det demonstreret, at der kan etableres en effektiv og mere fleksibel (og mobil) anlægsopbygning i fuld skala på et dansk renseanlæg. Rensningen af spildevandet er gået længere end gældende lovgivning i 2019.

Der er etableret overvågning og avanceret styring af behandlingen af spildevandet – både i afløbssystemet og på renseanlægget, og den avancerede styring er afgørende for at beskytte anlægsinvestering (modvirke svovlbrinte) og velfungerende biologiske renseprocesser i alle trin på renseanlægget. Der er samtidig med udmærket resultat udført forsøg med at supplere med billigere dataopsamling og mere åbne IT-systemer.

Efter HEPWAT er der fortsat et stykke vej med spildevandssektorens digitalisering – både i forhold til fysisk måling, dataopsamling og deling. Den store udvikling i forhold til eksempelvis Machine learning, AI, IoT, Cloud to Cloud er umiddelbart ikke opnået i denne omgang, men de industrielle partnere i projektet vil arbejde mere i dette spor for at sikre endnu bedre forecast og prædiktiv kontrol af hele spildevandscyklussen. Det vil kræve mere data, flere algoritmer og endnu bedre dokumentation.

Projektet giver ikke i sig selv et fuldendt svar på, hvad der er den rigtige spildevandsstruktur, men de demonstrerede løsninger i både afløbssystem og på renseanlæg giver flere valgmuligheder, når forsyninger i Danmark og i resten af verden skal forsøge at effektivisere, beskytte investeringerne bedre og tilpasse sig nye krav.

6.2.1 HEPWAT-perspektiver for Assens Forsyning A/S

Assens Forsyning A/S har inden igangsætningen af HEPWAT-projektet arbejdet med at centralisere sine otte nuværende renseanlæg til ét. Renseanlægget skal producere biogas og el ud fra biogassen. Anlægget skal være med til at reducere kommunens ønskemål om reduktion af CO_2. Alle oplande separatkloakeres – dels for at reducere driftsudgifterne til at transportere og rense spildevandet – dels for at undgå overløb af spildevand fra kloaksystemet til følsomme recipienter.

Med de opnåede erfaringer i HEPWAT betyder det konkret, at der arbejdes målrettet med at finde uvedkommende vand i kloakoplandene. Assens Forsyning A/S vil nøje overveje løsninger, der er i brug – eksempelvis anvendelse af en tredje ledning (som dræn) for at undgå at grundvandsstanden stiger, når kloaksystemerne forbedres.

En udfordring med centralisering af spildevandsrensningen er svovlbrinte. HEPWAT-projektet viser, at det kan lade sig gøre at reducere svovlbrintekoncentrationen ved hjælp af styret kemikaliedosering. Assens Forsyning A/S vil derfor fortsat have fokus på at inddrage andre/nye erfaringer med svovlbrintereduktion.

Effektiv kulstofhøst er en nøgle til øget energiudbytte af spildevandet, og metoden er vist glimrende i HEPWAT. Assens Forsyning A/S vil evaluere forskellige metoder for at finde den optimale, og de erfaringer, der er opnået med biosorption i HEPWAT-projektet skal bruges til at vurdere, hvilke af tilbuddene på Ny Assens Renseanlæg, der passer bedst. Endeligt har Assens Forsyning A/S fokus på, at det kommende renseanlæg skal opbygges så fleksibelt, at det er muligt senere at installere andre løsninger – eksempelvis eXeno™, hvis det bliver lovkrav.

Der er stadig potentiale for "digitalisering", og dette bevises af de udviklede og afprøvede styringer i Arbejdspakke 1 og Arbejdspakke 2, der er gode retningsvisere for niveauet på det kommende Ny Assens Renseanlæg og dets ledningssystem.

6.3 Konklusioner i HEPWAT

6.3.1 Prædiktiv kontrol og optimeret drift

Det har længe stået klart, at prædiktiv kontrol af afstrømningen af spildevand i et opland vil kunne give nogle fordele – eksempelvis i forhold til drift, minimering af overløb, vedligehold, levetid og klimatilpasning.

I projektet er der i afløbssystemet udført forsøg på at minimere den samlede spildevandsmængde samt udligne tilløbet til renseanlægget. Dette er lykkedes i et delopland med en erkendelse af, at der er behov for at implementere en realtidsstyring baseret på flowmålinger i alle pumpestationer (i det fulde netværk) for at

- få den fulde gevinst på renseanlægget i form af optimeret drift med minimeret omkostning og miljøpåvirkning
- kontrollere omfanget af svovlbrinteproduktion, samtidig med minimering af uvedkommende vand (da disse er modsatrettede faktorer)

6.3.2 Bekæmpelse af svovlbrinte

En helt ny metode til "måling" af nedbrydningen af betonledninger, der er udsat for svovlbrinte, er afprøvet med succes.

Løsninger til bekæmpelse af svovlbrinte er undersøgt og demonstreret. Nogle løsninger har fjernet høje svovlbrinte koncentrationer, mens andre nye metoder ikke er lykkes på grund af afløbssystemets opbygning eller tekniske forhindringer. Det står dog

klart, at der er et stort behov for at arbejde videre med svovlbrinte og med at optimere kloaksystemernes levetid.

Konkret er det for Assens Forsyning A/S erkendt, at den kommende udbygning af kloaksystemet for at centralisere spildevandsrensningen, vil kræve et nøje valg af struktur og materialer til optimering af systemernes levetid. Men også et bevidst valg af struktur i afløbssystemet, samt optimal pumpedrift til minimering af svovlbrinte

6.3.3 Identifikation af uvedkommende vand

Nye metoder og løsninger er udviklet i HEPWAT til at få mere indsigt i uvedkommende vand. I typiske afløbssystemer er det svært at vide hvad, der løber gennem rørene og hvor dette vand kommer fra.

Ved at udnytte nye sensorer og algoritmer er det nu muligt at identificere flow i kloakken og opdele vandet i, hvad der er spildevand og hvad der er uvedkommende vand. Og yderligere er det muligt at opdele det uvedkommende vand i langsom og hurtig indsivning i både det tryksatte og gravitationssystemet. Fordelen ved denne identifikation er at forsyningerne kan målrette en renoveringsstrategi alt efter om det uvedkommende vand er relateret til grundvand eller regnvand.

6.3.4 Alternativ til traditionelle anlæg

Det kompakte renseanlæg, der er demonstreret i HEPWAT, har vist at der i Danmark kan etableres et alternativ til traditionelle aktiv slam-anlæg, der investeringsmæssigt ligger på 50 og 80 %, arealmæssigt fylder mellem 5 og 10 % af det normale, og som samtidigt opnår en forbedring i fjernelsen af væsentlige indikatorparametre for spildevand.

Det er vist at endnu ikke regulerede parametre, som visse miljøfremmede stoffer og patogene bakterier, fjernes med den kompakte teknologi i langt højere grad end i et traditionelt aktiv slam-anlæg. Dette er sammen med eftervisningen af omkostningen på både drift og anlæg hertil, et vigtigt input til den løbende justering af reguleringen af den danske spildevandsbranche.

Det aktuelle anlæg i fuld skala til 5.000 PE har vist sig at være meget robust overfor stor variation i tilløbet (kvælstof).

En væsentlig erkendelse i HEPWAT-projektet er, at der har været væsentlige afvigelser i det faktiske tilløb i forhold til de dimensionsgivende forudsætninger for designet af renseanlægsprocessen. Det understreger behovet for et robust og meget fleksibelt anlæg.

6.3.5 Det energiproducerende renseanlæg

I Danmark er der, siden Krüger i 2010 definerede “Det Energiproducerende Renseanlæg”, arbejdet med mål og virkemidler i forhold til at konvertere de eksisterende renseanlæg fra energiforbrugere til energiproducenter.

HEPWAT-projektet understreger igen betydningen af at have en robust kulstofhøst, og i øvrigt også betydningen af, at kunne styre dette avanceret, sådan at vandrensningen ikke forringes.

Denne styring er nu standard i det anvendte styresystem (Aquavista Plant[7]). Styresystemet er også klargjort til SmartGrid, men den styring er ikke implementeret og afprøvet, idet HEPWAT-forsøgsanlægget har begrænset volumen, og dermed ikke ret meget energiforbrug, der kan flyttes.

Det er stadig interessant af få afklaret, hvor meget en SmartGrid-styring kan flytte på energiforbruget, og både Grundfos A/S og Krüger A/S afsøger i forlængelse af HEPWAT-projektet mulighederne for videre afprøvning (og gerne via samarbejde).

Et andet væsentligt element i energioptimeringen er at fjerne kvælstof med Anammox-bakterier, som er testet i HEPWAT. Denne test har igen vist at processen har problemer ved lave temperaturer, og effektiviteten er yderligere forringet af returstrøm af iltet vand fra MBR-trinnet.

6.3.6 Behandling og reduktion af medicinrester

En helt ny udfordring i spildevandsbranchen er erkendelsen af, at der forekommer medicinrester i spildevand (miljøfremmede stoffer).

I HEPWAT-projektet er der udført forsøg med efterpolering af vandet inden udledning til recipient med en miljøvenlig biologisk teknologi.

Gummerup Renseanlæg har i sit opland ikke noget hospital, men forekomsten af medicinrester i spildevandet er dog stort set på niveau med renseanlæg, som også modtager spildevand fra hospitaler og andre institutioner. Tilledning af spildevand fra hospitaler medfører i princippet kun let forhøjede koncentrationer af nogle få meget specifikke antibiotika samt røntgenkontrastsstoffer. Efter den polering af spildevandet i den biologiske Exeno-proces er indholdet af medicinstoffer reduceret med cirka 30-80 % for de undersøgte indikatorstoffer, og der er indhentet vigtig dimensioneringserfaring, styringsviden, kendskab til driftsomkostninger m.v., som danske forsyninger kan bruge fremover.

6.3.7 Datarobotter og sensorer

Det er lykkedes at skabe en løsning, der kan interagere med forsyningernes eksisterende systemer til dataopsamling, lagring, konsolidering, kvalitetssikring, anvendelse i avancerede beregninger og udstilling, som eksempelvis REST-services, GIS, Business Intelligence m.v.

Løsningen indeholder datarobotter, som sørger for at sammenstille data fra alle de forskellige datakilder og IoT-målere, der er betydelige billigere end standard-sensorer, og som samtidig giver forsyningsselskaberne en billigere håndtering og drift af sensoren.

6.3.8 Muligheder for salg og eksport

Indsatsområderne og resultaterne fra HEPWAT har igennem projektet fået større og større genklang i mange danske og udenlandske forsyninger, som på den ene eller anden måde arbejder med at løse de samme problemstillinger, som Assens Forsyning A/S har i driften og med optimeringen af afløbssystemet.

[7] http://www.kruger.dk/forsyning/avanceretonlinestyring/

Kompetencerne, erfaringerne og løsningerne som er opbygget gennem projektet, bliver allerede nu efterspurgt til at designe og afprøve smartere måder at drive afløbssystem på, til at øge effektiviteten på renseanlægget, til håndtering af højere rensningskrav og mulighederne ved digitalisering.

Kravene til vandforsyninger i Danmark og udlandet bliver øget for at opnå mere effektivitet og bedre vandmiljø. Kravene forventes kun at stige i fremtiden for at opnå FN's verdensmål og en samfundsøkonomisk målsætning om effektivitet i mange facetter af vandkredsløbet.

Partnerne i projektet oplever en øget opmærksomhed og efterspørgsel på disse ydelser i Danmark. Dette vil være med til at sikre mere aktivitet og dermed også mere salg og eksport til HEPWAT's industrielle partnere. Hvor meget dette vil resultere i øget vækst af salg, eksport og arbejdspladser er endnu for tidligt at estimere.

6.3.9 Kommunikation og formidling

Både før og under projektets udførelse er der lagt megen energi i at formidle projektets indhold og resultater.

Det er i høj grad lykkedes at skabe opmærksomhed om projektet – særligt i Danmark. Dette er sket gennem artikler, indslag i radio/tv, præsentationer og fremvisninger. Der har været begrænset international bevågenhed for projektet, men Grundfos og Krüger vil efter projektets afslutning, udforme Case-studies med henblik på at skabe mere international opmærksomhed. Samtidig præsenteres projektet og dets resultater på den international kongres og udstilling IWA 2020 i København (World Water Congress & Exhibition in Copenhagen 2020).

Til den videre kommunikation og formidling af HEPWAT-projektet er det aftalt, at projektets partnere fremstiller og udgiver en grafisk publikation, som i tekst, billeder og illustrationer fortæller om projektet og dets resultater. Publikationen planlægges anvendt ved fremvisninger, konferencer, messer og salg.

6.3.10 Samarbejde

Der har været samarbejdsmæssige udfordringer i projektet, fordi det ved projektets start ikke var muligt at nå til enighed om rækkevidden mellem arbejdspakkerne. Der er brugt meget tid og energi undervejs, og der er søgt enighed, men især mod projektets afslutning har det stået klart, at ønskerne fra hver part ikke var forenelige.

En læring til senere projekter kan være, at parterne får mulighed for at inddrage Miljøstyrelsens projektleder tidligt ved uenighed, og at der stilles håndfaste krav til konfliktløsning i aftalen mellem partnerne.

6.3.11 HEPWAT-projekt erfaringer

I forbindelse med opstarten af HEPWAT havde partnerne en række drøftelser om roller og ansvar – det dog uden, at der blev opnået enighed inden projektansøgningen blev sendt.

Den manglende afklaring gav projektet igennem problemer med at sikre fremdriften og afviklingen, primært på grund af forskellige opfattelser af, hvor skillelinjerne mellem arbejdspakkerne skulle være i forhold til den digitale udvikling.

I forbindelse med tildeling og accept af projektet blev roller, ansvar og grænseflader igen drøftet, og det blev besluttet at Assens Forsynings SRO-system skulle være

"datacenter" for styring af afløbssystemet og renseanlægget. På den måde forblev baggrundsviden og patenterede algoritmer til styring (Grundfos A/S og Krüger A/S) hos deres ophav. Der var enighed om at forsøge at supplere styringen med flere data i det omfang, det kunne lade sig gøre for Arbejdspakke 3 at fremskaffe disse og stille dem til rådighed gennem SRO-systemet. Ligeledes blev det besluttet at alle datasæt i styringerne blev beskrevet, så Arbejdspakke 3 havde et åbent grundlag til at vurdere, hvorledes disse data kunne suppleres.

Der var i projektet ikke problemer med det praktiske arbejde og/eller de fysiske komponenter. Det svære var, hvorledes de digitale løsninger skulle udvikles til at dække hele HEPWAT-projektet.

Den digitale udvikling har været vanskeliggjort af flere forskellige forhold, blandt andet partnernes forskellige opfattelser af, hvordan "Open Source" skulle fortolkes og anvendes – herunder, hvordan den baggrundsviden, partnerne har opbygget gennem flere årtier, skulle anvendes og stilles til rådighed.

Resultaterne af HEPWAT-projektet er delt via HEPWAT-hjemmesiden, hvor de løbende operationelle data kan blive tilgængelige, såfremt Assens Forsyning A/S ønsker disse data delt i offentlige fora. Det er ikke resultaterne af algoritmer, som nogle virksomheder ønsker at beskytte i forhold til Open Source, men derimod koderne som bruges i algoritmerne. De kritiske overvejelser før resultaterne deles som Open Source er af hensyn til GDPR, forsyningssikkerhed og informationer om kritisk infrastruktur. Fremadrettet bør det dog overvejes, om der kan skabes større åbenhed herom samt fælles normer og standarder for håndteringen heraf.

Virksomhedernes beslutningsprocesser påvirkede tillige HEPWAT-projektet. Blandt andet gav detaljeringsgraden i de oplysninger, der skulle stilles til rådighed udfordringer, og det samme gjorde beslutningsprocessen om samme spørgsmål. De fire partnere er ikke ens på den front, og det har gjort, at ting har taget forholdsvis længere tid, end nødvendigt og har medvirket til et manglende sammenhængende flow i arbejdspakkerne, som krævede en udtalt grad af koordination eller fælles indsats for at nå i mål.

I HEPWAT var grundidéen, at arbejdspakkerne skulle løses af de enkelte partnere i samspil med Assens Forsyning A/S, dog med enkelte undtagelser. Omkring den digitale udvikling har de divergerende opfattelser medført, at partnerne så forskelligt på, hvad Arbejdspakke 3 skulle levere, som var afhængig af Arbejdspakke 1,2 og 4, samt om Arbejdspakke 1,2 og 4 også havde indhold, der ville resultere i digitale løsninger.

Yderligere var udfordringen at baggrundsviden fra Arbejdspakke 1 og 2, der er opbygget over flere årtier, ikke nødvendigvis uden videre skulle overgå til Open Source-kode. Forskellen i grundlaget for at bygge virksomhederne op gav en del uløselige dialoger, og det uden at partnerne lykkedes med at finde en løsning på problemet med snitfladerne i den digital udvikling – dialogerne kørte i ring.

Anbefalingerne til andre projekter er at få afstemt roller og ansvar, samt at detaljere leverancerne, inden projektansøgningen indsendes. Dette ville i HEPWAT-projektet have fanget en del af uoverensstemmelserne og gjort de små bump på vejen lettere at komme igennem.

Indholdet af afsnit 6.3.11 er udarbejdet og udtryk for de flest partneres opfattelse, mens ARTOGIS' opfattelser og mening fremgår af bilag AP3-1.

Samarbejde i den bedste form.

6.4 Videre anvendelse af HEPWAT-anlægget

Ved projektets afslutning er det aftalt, at en række af HEPWAT-projektets delelementer videreføres:

6.4.1 Arbejdspakke 1 – Pumpeteknologi

Assens Forsyning A/S og Grundfos A/S følger fortsat oplandets installationer tæt. Det sker for at få et større udbytte af pakken, som kom senere i gang, end planlagt. Erfaringerne fra den forlængede periode søger parterne at få med ind i den afskærende ledning og ikke mindst at bringe ny viden videre ud i branchen.

6.4.2 Arbejdspakke 2 – Procesteknologi

Assens Forsyning A/S holder efter projektperioden HEPWAT-anlægget i drift. I første omgang sker det for at aflaste Gummerup Renseanlæg, da der er varslet øget belastning af anlægget. En industrivirksomhed i oplandet planlægger i en periode at lede højt belastet spildevand til Gummerup Renseanlæg, og her kan forsøgsanlægget medvirke til at sikre, at kravene til udledning overholdes. På sigt kan det blive aktuelt at flytte det mobile forsøgsanlæg i forbindelse med etableringen af ny afskærende ledning og Ny Assens Renseanlæg. Om forsøgsanlægget kan indgå i anlægsprojektet, der løber over 10-15 år, og eventuelt rense spildevand lokalt, vides endnu ikke. Assens Forsyning A/S vil desuden se nærmere på at bruge biosorptionsmodulet lokalt til at høste kulstof, som derefter kan køres til udrådning på Ny Assens Renseanlæg. Det kunne eksempelvis være ved virksomheder med potentiale for dette, eller ved et af de otte renseanlæg, der er i drift mens ledningsnettet etableres.

6.4.3 Arbejdspakke 3 – IT-løsning

Assens Forsyning A/S vil efter HEPWAT-projektet fortsat arbejde med at nytænke IT-systemer og deres interaktion samt med at samkøre data i et fælles system, der giver ét samlet overblik over alle relevante data og som gør det hurtigere, lettere og billigere at monitorere, styre, optimere og dokumentere driftens aktiviteter generelt.

7. Bilagsliste

Arbejdspakke 1

AP1-1	Udligning af tilløb til Gummerup Renseanlæg
AP1-2	Uvedkommende vand i gravitationssystemet
AP1-3	Uvedkommende vand via pumpe data
AP1-4	H2S data logning, modellering og kemibekæmpelses
AP1-5	Svovlbrinte - Påvisning af doseringseffekt
AP1-6	H2S bekæmpelsesforsøg med UV-lampe
AP1-7	Effektiv styring af pumpestationer
AP1-8	MIKE URBAN-model af opland til Gummerup Renseanlæg

Arbejdspakke 2

AP2-1	Mobilt renseanlæg - Forsøg med aktiv slam drift
AP2-2	Autotrof kvælstoffjernelse i hovedstrømmen
AP2-3	Dynamik og emission af lattergas
AP2-4	Patogene bakterier
AP2-5	Industrispildevand fra Kerry
AP2-6	HEPWAT – eXeno™ Biologisk fjernelse af MFS

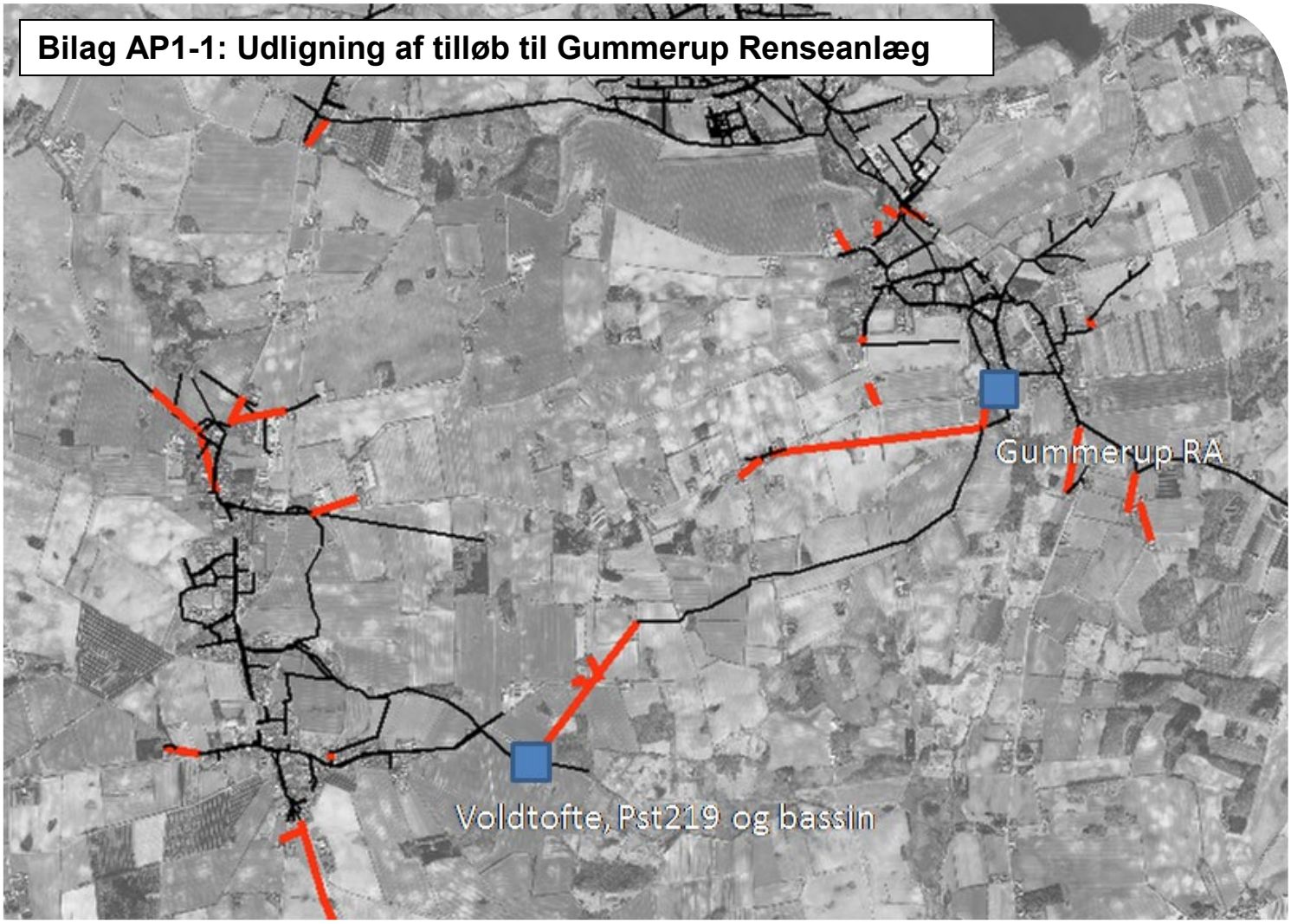
Arbejdspakke 3

AP3-1	HEPWAT WP3 – Slutrapport til MUDP

Arbejdspakke 4

AP4-1	Oversigt over formidlingsaktiviteter
AP4-2	Annonce Åbent Hus
AP4-3	Invitation til indvielse
AP4-4	Rapportens redaktører og kontaktoplysninger
AP4-5	Liste over rapportens forkortelser

Bilag AP1-1: Udligning af tilløb til Gummerup Renseanlæg



KRÜGER VEOLIA

HEPWAT

Bilag, AP1-1

Udligning af tilløb til Gummerup Renseanlæg

August 2019

WATER TECHNOLOGIES

HEPWAT

Bilag, AP1-1

Udligning af tilløb til Gummerup Renseanlæg

Udarbejdet af: Peter Grandjean

Kontrolleret af: Mikkel Mühle Poulsen / Steen O. Petersen

Udgave: 0

Ordrenummer:

Krüger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

SØBORG
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AALBORG
Indkildevej 6C
DK-9210 Aalborg SØ
T +45 9818 9300
kruger@kruger.dk

AARHUS
Haslegårdsvænget 18
DK-8210 Aarhus V
T +45 8746 3300
kruger@kruger.dk

GLOSTRUP SERVICE
Fabriksparken 35
DK-2600 Glostrup
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AQUACARE
Fabriksparken 50
DK-2600 Glostrup
T +45 4345 1676
aquacare@kruger.dk

ISO 9001 CERTIFIED CVR 57446412 www.kruger.dk

Indholdsfortegnelse

1. Baggrund 2

2. Metode 3

3. Målinger og omregninger 4
3.1 Niveaumåling i pumpesump omregnes til volumen 4
3.2 Niveau måling i bassin omregnes til volumen 4
3.3 Beregning af tilløbsflow til pumpesump 4

4. Beregninger i LAB modul: 5
4.1 Gennemgang af beregninger 5
4.1.1 Step 1 - estimering af tilløbsflow: 5
4.1.2 Step 2 - korrektion af flow setpoint: 5
4.1.3 Step 3 - forecasted bassin fyldning (Visning) 5
4.1.4 Step 4 - Omregning af flow setpoint til spjældposition 6
4.1.5 Step 5 - Vagthundsberegning 6
4.2 Gennemgang af settings 6
4.3 Gennemgang af grafer 7

5. Evaluering af styring 9
5.1 Estimat af tilstrømning 9
5.2 Beregning af flow setpoint 9
5.3 Beregning af tilstrømning til pumpesump 9
5.4 Regulering af spjæld 10
5.5 Opnået effekt 11

6. Perspektiv i udjævning af flow 12

1. Baggrund

En af aktiviteterne i HEPWAT-projektet er udvikling af en online styring af pumpestationen i Voldtoftes ydelse, som kan udjævne tilløbet til renseanlægget ved at tilbageholde vand i et bassin i travle perioder.

Fordelene ved at kunne udjævne tilløbet fra opstrøms pumpestationer er, at renseanlægget derved oplever færre spidsbelastninger, hvilket kan medføre en forbedret rensning.

I planlægningen af den online styring er det ønsket at inddrage online målinger af den aktuelle tilstand i systemet såvel som forecast af vejrsituationen og dermed tilløbet i de kommende timer.

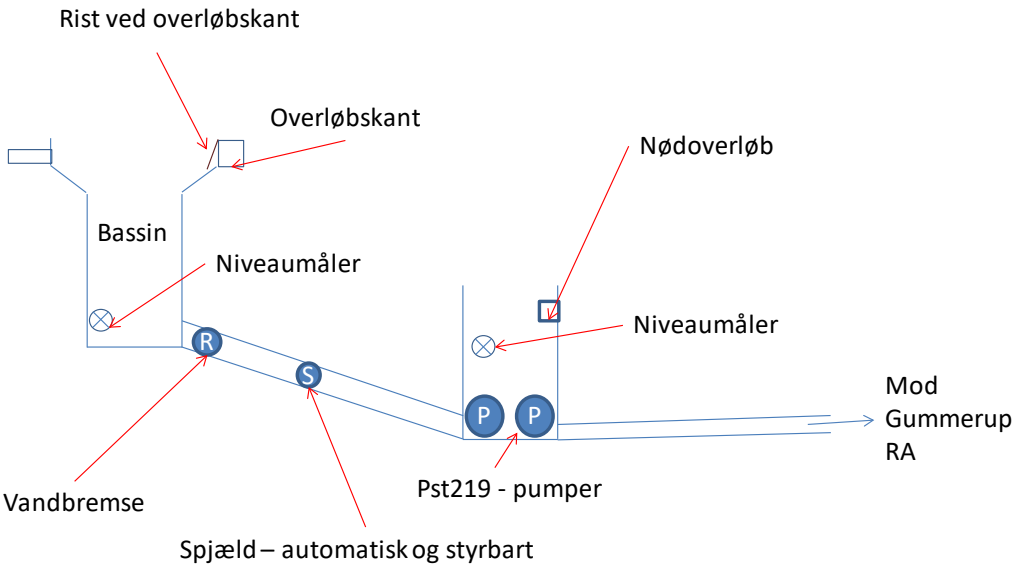
Figur 1 viser placeringen af Voldtofte i forhold til Gummerup Renseanlæg.

Figur 1: Placeringen af Voldtofte, Pst219 i forhold til Gummerup Renseanlæg.

2. Metode

Metoden til udligning af flow tager udgangspunkt i et allerede eksisterende modul til AQUAVISTA™, som kan udjævne tilløbet til renseprocesser inde på renseanlægget. I HEPWAT er dette videreudviklet til at fungere i oplandet til et renseanlæg på en pumpestation med et tilhørende bassin.

Der beregnes løbende et tilløb til pumpestationen og bassinet. Der modtages desuden løbende radarforecast fra DMI, som omsættes til forecastet tilløb i de kommende timer vha. en simpel model som kører online på AQUAVISTA™. Ud fra disse to informationer er der i AQUAVISTA™s LAB-modul programmeret en styring, som giver et setpunkt til flow ud af pumpestationen. Denne beregning opdateres løbende. Setpunktet sendes til SCADA og Grundfos eksekverer herefter det ønskede flow ved at justere et spjæld og pumpernes kapacitet. Figur 2 viser en skitse af Voldtofte, Pst219.



Figur 2: Skitse af setuppet i Voldtofte, Pst219.

3. Målinger og omregninger

Det er nødvendigt for styringen at vide, hvor meget volumen der er tilgængeligt i Voldtofte for at kunne estimere hvor meget vandet kan forsinkes. Udregningen af tilgængeligt volumen er præsenteret i det følgende.

3.1 Niveaumåling i pumpesump omregnes til volumen

Der modtages en niveaumåling i enheden cm. Sumpens dybde er angivet til 6 m og diameter er angivet til 2,5 m. Det modtagne signal omregnes derfor således ud fra denne relation:

Dybde [cm]	Fyldt volumen [m³]
0	0
600	29,44

3.2 Niveau måling i bassin omregnes til volumen

Niveaumåleren er en tryktransmitter, som er placeret 20 cm over bundens kant. Bunden skråner mod en rende i midten af bassinet. Det er antaget, at måleren begynder at måle fra 50 cm dybde.
Der modtages en måling i enheden procent af 500 cm. Måleren kan således måle i intervallet 50 cm til 550 cm. Bassinets overløbskant er angivet til 5,84 m. Det modtagne signal omregnes ud fra nedenstående table

Dybde [%]	Fyldt volumen [m³]
0	0
0,01	14,13
100	155,43

3.3 Beregning af tilløbsflow til pumpesump

I standard modulet Udligningsbassin/Equalisation beregnes et døgngennemsnit af det pumpede flow.

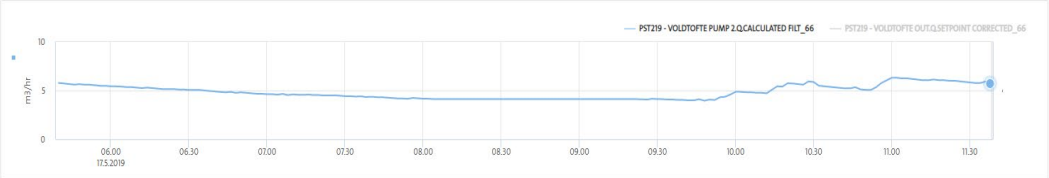
4. Beregninger i LAB modul:

4.1 Gennemgang af beregninger

I det følgende kommer en stepvis gennemgang af beregningerne i Lab modulet.

4.1.1 Step 1 - estimering af tilløbsflow:

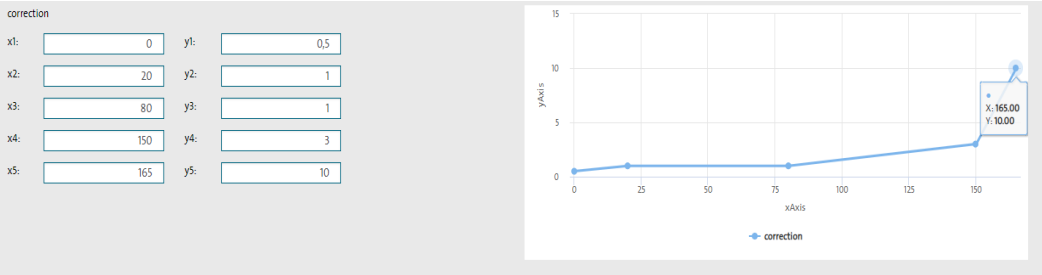
Estimerer tilløbsflow til pumpesump ved at se på ændring af volumen plus drift af pumpe. Herefter en hård filtrering, hvilket giver det estimerede tilløbsflow til pumpesumpen.



Dette er i stedet for at bruge tilløbsflowet beregnet fra Grundfos.

4.1.2 Step 2 - korrektion af flow setpoint:

Der modtages gennemsnitsflow fra Equalization standard modulet, som er grundlaget for flowsetpoint ud fra bassin. Dette gennemsnitsflow korrigeres ud fra indstillingerne, hvor der kigges på bassin fyldningen. X-aksen er bassinfyldning, mens y-aksen er korrektionen:



Der anvendes enten aktuel bassinfyldning eller forecasted bassin fyldning, afhængig af indstillingen “Anvend flowforecast”.

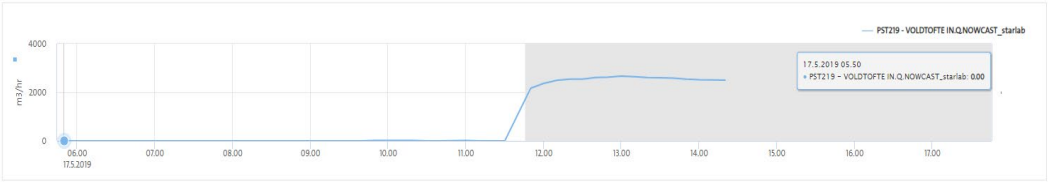
Hvis forecast:

Det akkumulerede forecastede tilløbsflow fratrukket det ukorrigerede flowsetpoint beregnes. Dette bruges som input til ovenstående korrektion.

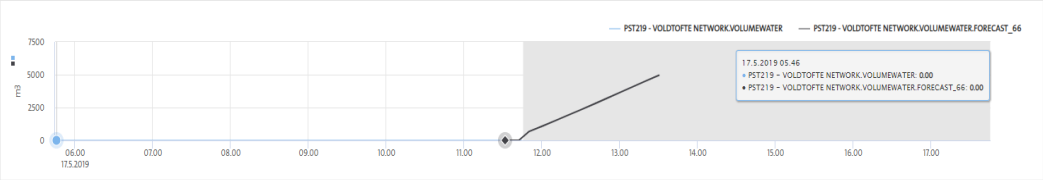
4.1.3 Step 3 - forecasted bassin fyldning (Visning)

Denne forecastede bassin fyldning bruges som input til kriteriefunktionen i stedet for den aktuelle fyldning, hvorved der opnås en korrektionsfaktor. Denne korrektionsfaktor ganges på det ukorrigerede setpoint.

Herunder ses flow forecast:



Herefter akkumuleres på ny det forecastede tilløbsflow fratrukket det nu korrigerede flow setpoint. Således opnås en forecastet bassin fyldning:



4.1.4 Step 4 - Omregning af flow setpoint til spjældposition

Det beregnede flow setpoint skal omregnes til en spjældposition for at styre tilløbsflowet til pumpesumpen. Her sammenlignes det estimerede tilløbsflow fra Step 1 med det korrigerede flowsetpoint fra Step 2. Der anvendes en PID til at korrigere den aktuelle spjældposition ud fra afvigelsen mellem de to flows.

4.1.5 Step 5 - Vagthundsberegning

Hvis et af følgende kritterier ikke er opfyldt, så slås vagthunden fra:

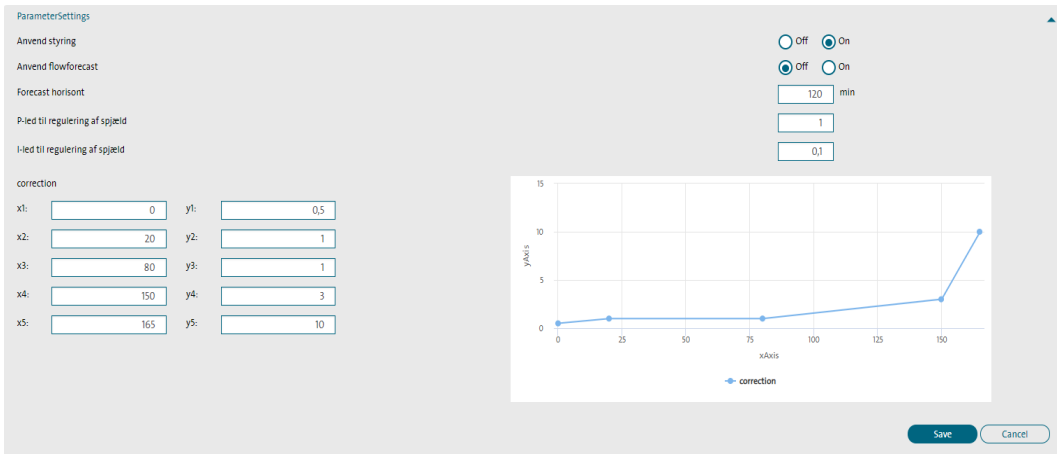
- Equalization modulet skal være klar ("CATCHMENT.LOCATION 7.SETPOINTWD.SETPOINT EQUALIZATION")
- De beregnede flows (Step 1 og 2) skal være klar og have god kvalitet
- Indstillingen i Lab modulet skal være ON

Hvis ovenstående er opfyldt, da skrives en Setpoint vagthund i databasen med værdien 1 samt det beregnede setpoint for spjældpositionen.

Hvis ovenstående ikke er opfyldt, da skrives setpoint vagthunden ikke i databasen og setpoint for spjældposition skrives til 100 % åben.

Vagthunden er lidt anderledes end hvad vi plejer, da det er ønsket fra Grundfos. Dybest set, så styrer vi, hvis der står en vagthund med værdien 1 i databasen. Den skal fjernes for at vi stopper styringen. Det er fra Aquavista ikke muligt at fjerne en vagthund, hvorfor vi blot er nødt til at stoppe med at skrive den. Der vil derfor gå op til 20 min før spjældet opdager at vagthunden er væk. Derfor ændres setpoint for spjældet samtidig til 100 %.

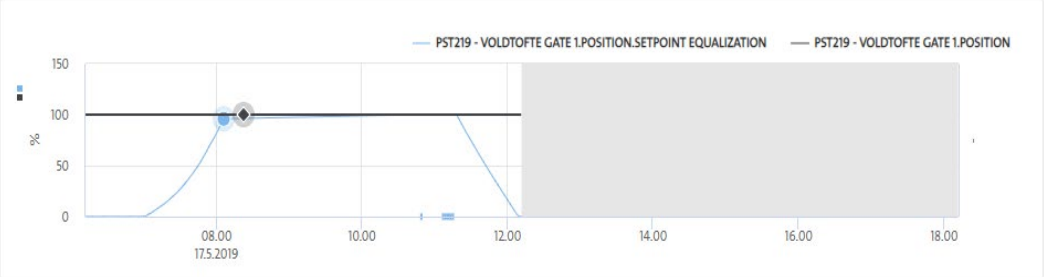
4.2 Gennemgang af settings



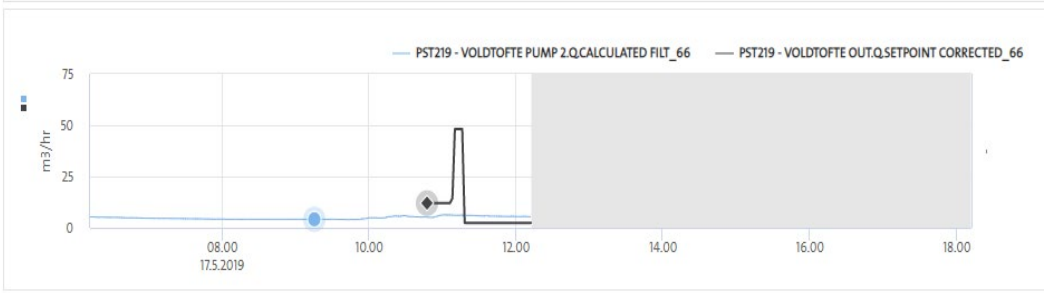
Anvend styring: Hvis denne er Off, så skrives vagthunden ikke og sætpunktet sættes til 100 %. Denne kan betegnes som en master switch.
Anvend flow forecast: Denne afgør om korrektionen skal baseres på den forecastede bassin fyldning eller den aktuelle fyldning.
Forecast horisont: Flow forecasten beregnes for nogen tid ud i fremtiden, men denne indstilling afgør hvor meget af forecasten, der skal anvendes i denne aktuelle styring. Hvis ikke der findes forecast tilstrækkelig langt ud i fremtiden, da bruges kun det forecast, der er tilgængeligt.
P-led og I-led: Til at justere hvor hurtigt spjældet reagerer på afvigelse mellem ønsket flow og aktuelt flow.
Korrektion: Til korrektion af flowsetpoint i forhold til bassin fyldning eller forecastet bassin fyldning.

4.3 Gennemgang af grafer

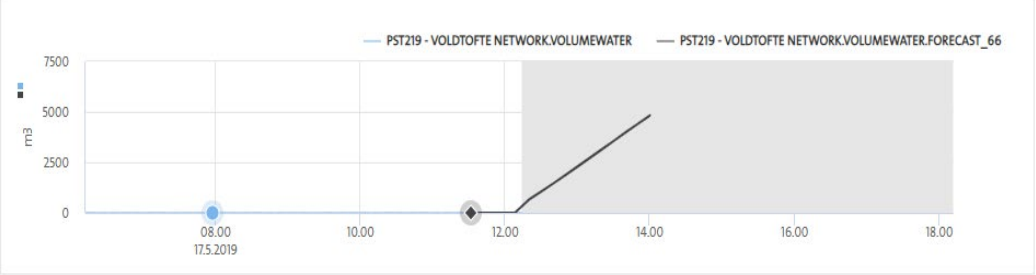
Spjældposition i forhold til setpoint:



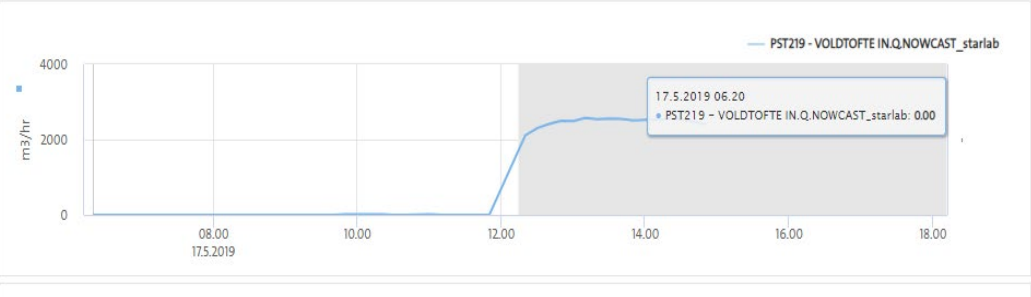
Estimeret tilløbsflow til pumpesump i forhold til setpoint:



Bassin fyldning og forecasted bassinfyldning:



Flow forecast:



Vagthunde (På aktuel figur styrer vi ikke, hvorfor setpoint vagthunden ikke er vist):

5. Evaluering af styring

Evalueringen deles ind i følgende delevalueringer:

- Estimat af tilstrømning
- Beregning af flow setpoint
- Beregning af tilstrømning til pumpesump
- Regulering af spjæld
- Opnået effekt

Herefter en endelig evaluering og anbefaling.

5.1 Estimat af tilstrømning

Det estimerede tilløbsflow overestimeres til tider, hvilket medfører at styringen anbefaler at åbne spjældet og dermed tømmer bassinet.

5.2 Beregning af flow setpoint

I standardmodulet Udligningsbassin/Equalisation Tank beregnes et flow setpoint. Med de anvendte indstillinger er dette blot et døgngennemsnit af pumpens drift, dog med en filtrering.

Der styringen er sat til at køre i både regn- og tørvejr, vil dette døgngennemsnit blive opdateret i alle døgn. Der tages således ikke hensyn til om der har været tørvejr eller regnvejr, og det vides ikke om det efterfølgende døgn er et tørvejrsdøgn eller et regnvejrsdøgn. Derfor kan setpointet være lidt højere i døgn efter regn. Der kan evt. kompenceres ved at sætte korrektionen til at være mindre end 1 ved lave fyldningsgrader.

5.3 Beregning af tilstrømning til pumpesump

En beregning af tilløbsflow til pumpesumpen før Pst219 er vigtigt for at styre spjældets position. Det viste sig, at være udfordringer med at levere et beregnet tilløbsflow til pumpesumpen fra pumperne. Derfor har Krüger selv beregnet tilløbsflowet. Beregningen har været svær at få til at give et retvisende billede af tilløbsflowet. Beregningen baseres på en ændring i fyldningen af pumpesumpen samt pumpens ydelse. Der modtages niveaumålinger og pumpeydelsesmålinger for hver 30 sekunder.

Ændringen i fyldningen af pumpesumpen er for lille i forhold til målerens opløsning, hvorfor der ikke ses en ændring i hvert tidsskridt. Derfor er vi nødt til kun at bruge data for hvert andet minut, da de længere tidsskridt giver en bedre udjævning.

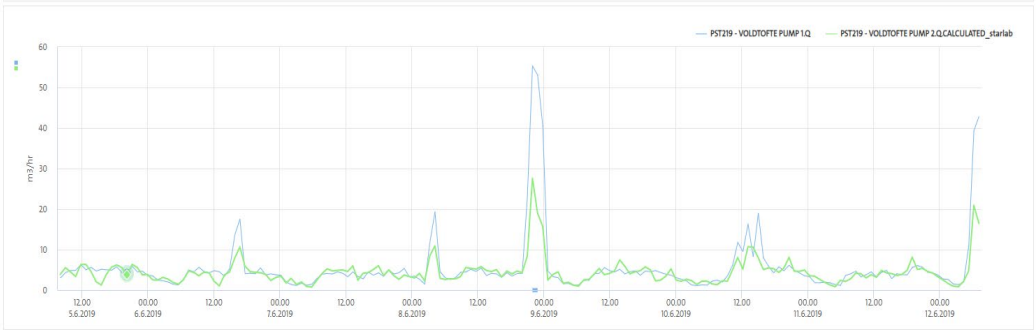
For pumpedata anvendes 30 sekunders data, da tidsskridt her har den modsatte effekt. Pumpeflowet er et øjebliksbillede af det aktuelle flow i det tidspunkt målingen sendes fra PLC til Aquavista. Ved den første flowmåling vides det således ikke, om pumpen har kørt 29 eller 1 sekund. Det samme ved afslutningen af pumpning. Jo oftere, der sendes data, jo mere præcist kan det fastsættes hvor længe pumpen har kørt. Pumpen kører generelt meget kort tid af gangen, når den kører. Derfor har dette stor indflydelse.

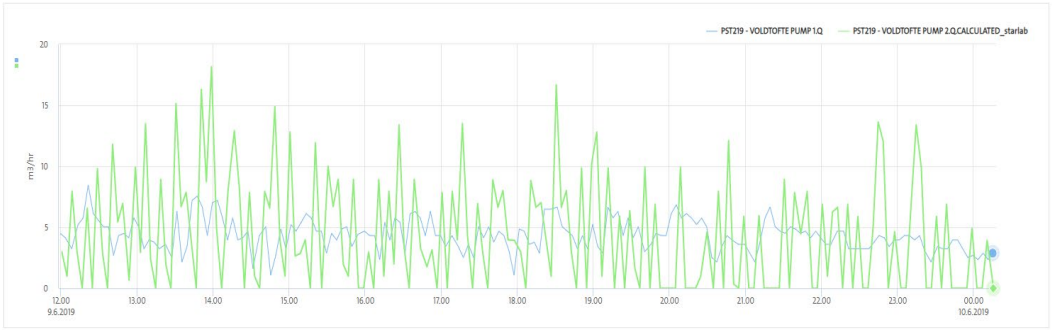
Når pumpen startes, ses en markant stigning i det beregnede tilløbsflow, hvilket ikke er sandsynligt. Dette understreger at det er en meget upræcis beregning af tilløbsflowet.

Fra PLC'ens side er bør der være bedre muligheder for at beregne tilløbsflowet mere præcist. Anbefalingen er derfor, at der anvendes et beregnet flow fra PLC.

Grundfos har i en periode kunne levere et beregnet flow, så Krüger har haft mulighed for at validere det beregnede tilløbsflow. I den nedenstående figur ses en uges data, hvor den grønne er Krügers beregnede flow og den blå er Grundfos' beregnede flow. Der ses afvigelser ved peaks. Ses der nærmere på data for en tørvejrsperiode (næste figur), så ses markante fluktuationer i Krügers beregnede flow, hvor Grundfos' er mere jævnt. Den tredje figur er et filtreret flow, hvor det ses at de to flow er sammenlignelige.

En mulighed er at filtrere flowet lidt mere, så det bliver mere jævnt, men det vil samtidig give en forsinkelse. Denne forsinkelse vil påvirke styringen af spjældet, som vil give nogle over/under sving. Derfor anbefales det ikke at filtrere flowet for hårdt.





5.4 Regulering af spjæld

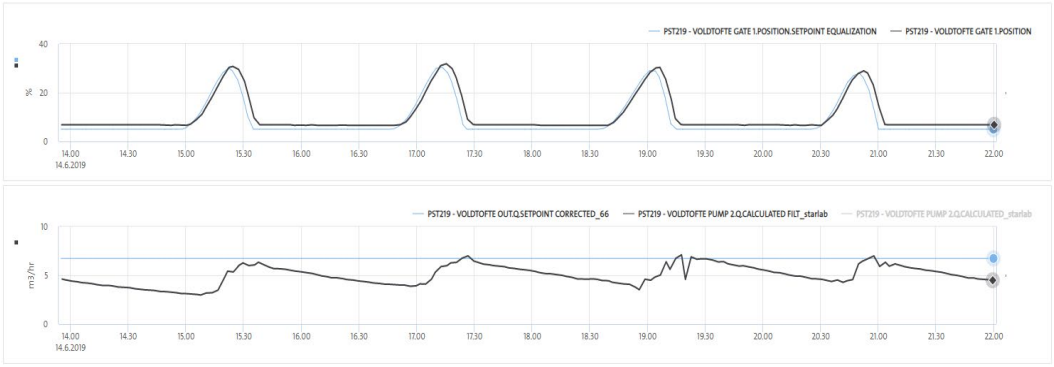
Reguleringen af spjældet har vist sig at være vanskelig. Udfordringen ligger i, at der er flere led af forsinkelse, der spiller ind samt den upræcise beregning af tilløbsflowet til pumpesumpen. Dels er der en forsinkelse fra spjældets position er ændret til flowet kommer til udtryk i det beregnede tilløbsflow til pumpesumpen. Denne forsinkelse skyldes

hydraulisk forsinkelse i systemet og efterfølgende filtrering af tilløbsflowet til pumpesumpen. Eksempelvis kan der gå 5-10 min fra spjældet er lukket til det beregnede flow er 0. Dernæst er der en forsinkelse fra det ændrede flow til spjældet reagerer på det. Denne forsinkelse skyldes PID reguleringen. PID reguleringen ser på tendenser over den seneste tid og der vil derfor gå lidt tid før den reagerer. For at opnå den mest stabile regulering skal alle tre led i PID-reguleringen sættes lavt. Dette vil dog medføre en risiko for at styringen ikke regulerer spjældet hurtigt nok i tilfælde af regn.

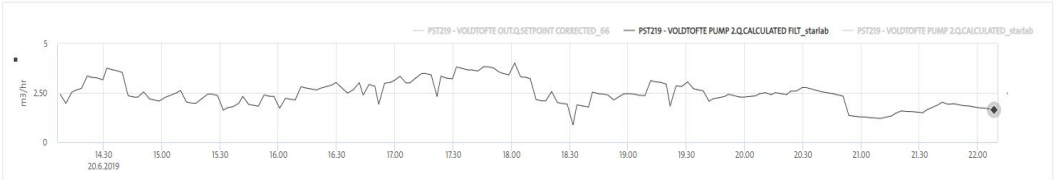
5.5 Opnået effekt

Målet med udligningsstyringen er at udligne flowet fra pumpestationen, så der videreføres et konstant flow. Da pumperne ikke kan pumpe små flow, men i stedet kører drift-pause styring, afbrydes det udjævnede flow af pumpen når der ses på kort tidshorisont (minutter). Tiden mellem pumpestarter udjævnes dog over døgnet, hvilket giver et konstant flow set over en længere tidshorisont (timer).

På de to grafer herunder ses først spjældets position og setpoint. Herefter ses det beregnede filtrerede flow, som tilnærmelsesvist følger flowsetpunktet. Der ses fire pumpestarter på nedenstående grafer, som alle kommer kort efter spjældet er begyndt at åbne.



Herunder ses en tilsvarende periode, hvor spjældet ikke styres, men står fuldt åbent. Det er svært direkte at identificere pumpestarter på nedenstående flow.

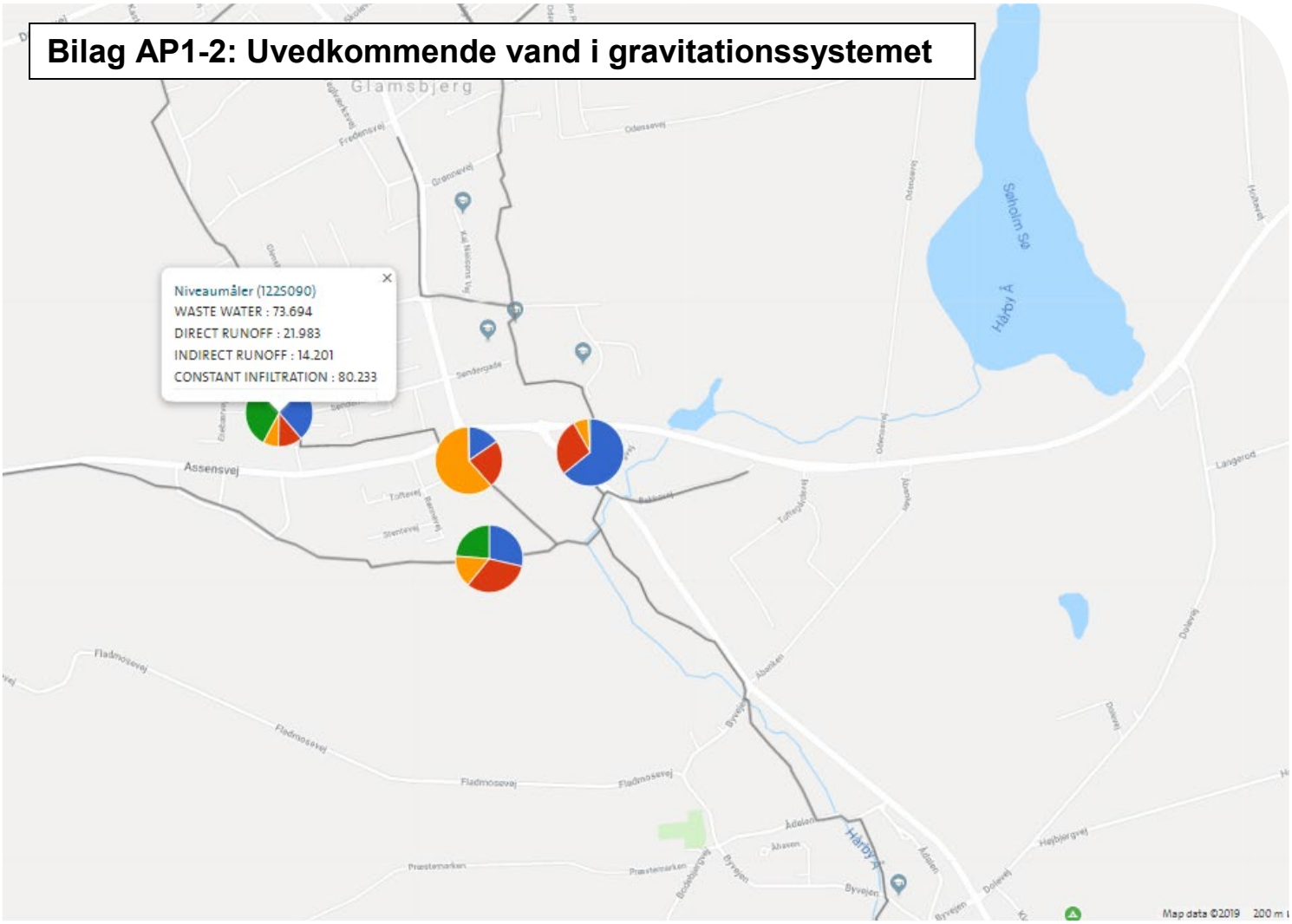


For at opnå en optimal udjævning af flowet, bør pumpen i stedet køre efter flowsetpunkt og spjældet køre efter niveauet i pumpesumpen. Her skal pumpens nyttevirkning tages i betragtning, så der ikke opnås uhensigtsmæssig drift.

6. Perspektiv i udjævning af flow

Nærværende flowudligningsstyring er en demonstration af mulighederne for at udligne et flow i en given lokalitet. Formålet med udjævning af flow er at opnå et mere eller mindre konstant indløbsflow til renseanlægget. Et konstant indløbsflow vil udjævne spidsbelastninger, hvilket kan give en bedre rensning. For at opnå den største effekt ved udligning, så kræves det at styringen bruges på en stor og dominerende lokalitet i oplandet.

Bilag AP1-2: Uvedkommende vand i gravitationssystemet



KRÜGER VEOLIA

HEPWAT

Bilag AP1-2

Uvedkommende vand i gravitationssystemet

August 2019

WATER TECHNOLOGIES

HEPWAT

Bilag, AP1-2

Uvedkommende vand i gravitationssystemet

Udarbejdet af: Lisbet Sneftrup Hansen

Kontrolleret af: Steen O. Petersen / Alex Torpenholt Jørgensen

Udgave: 0

Ordrenummer:

Indholdsfortegnelse

1. Baggrund 2

2. Metode 3

3. Beskrivelse af indsivningsmodulet 5
3.1 Data 6
3.2 Server 6
3.3 Preprocessering 6
3.4 Stamdata 6
3.5 Indsivningsmodul 7

4. Resultatvisning i AQUAVISTATM 8

5. Evaluering og perspektivering 9

1. Baggrund

En af aktiviteterne i HEPWAT-projektet er udvikling af et modul til online beregning og visning af uvedkommende vand i afløbssystemer. Modulet er implementeret i AQUAVISTA™ via Starlab. Formålet med udviklingen af indsivningsmodulet er at få overblik over mængden af indsivning forskellige steder i systemet, og dermed assistere arbejdet med at reducere mængden af uvedkommende vand. Der er opstillet følgende kriterier for indsivningsmodulet:

- at det kan kvantificere mængden af uvedkommende vand forskellige steder i afløbssystemet, og at det kører online på AQUAVISTA™ platformen. Resultaterne skal kunne vises i AQUAVISTA™ og Sewerview både live og for et valgt tidsrum.
- at det kan fungere med måledata fra forskellige datakilder. Det kan f.eks. være realtime pumpedata fra SRO system eller data fra niveau- eller flowmålere.

Som en del af HEPWAT projektet er der opstillet 4 niveaumålere forskellige steder i Gummerups afløbssystem (Assens Forsyning). Formålet med dette er at undersøge, om det ud fra relativt simple billige målinger er muligt at kvantificere mængden af uvedkommende vand og kortlægge variationen i de forskellige grene af afløbssystemet, f.eks. til at udpege områder med mest indsivning. Herudover er modulet sat op til at køre på data fra indløbspumpestationen på Gummerup Renseanlæg.

2. Metode

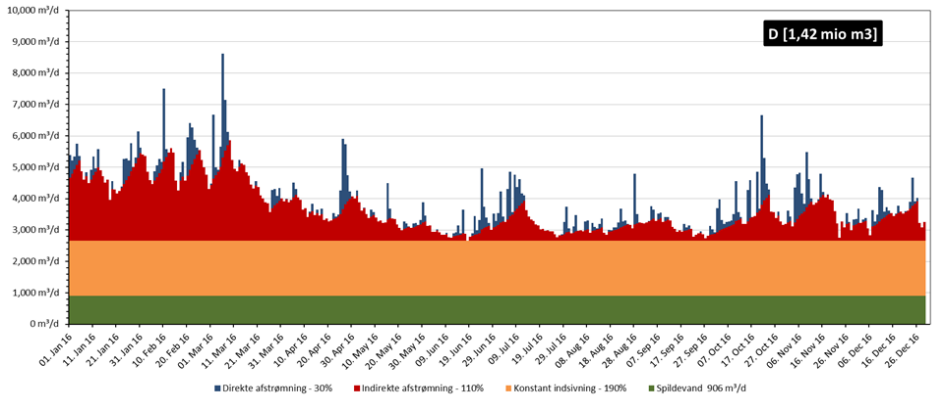
Metoden til beregning af uvedkommende vand stammer fra et screeningsværktøj i udviklet af Krüger A/S. Værktøjet giver et overblik over mængden af uvedkommende vand ud fra kontinuerte historiske målinger. Det giver overslagsmæssigt en opdeling af det målte flow i 4 fraktioner - Spildevand, direkte afstrømning (nedbør), indirekte afstrømning og konstant indsivning.

Metode blev valgt til brug i HEPWAT, da der er erfaring med metoden fra andre projekter, og metoden er velkendt af Assens Forsyning. Omkostningerne til udvikling af et online modul baseret på førnævnte metoder er relativt små sammenlignet med en mere avanceret løsning, og fordelen er, at det ikke er tidskrævende og omkostningsfuldt at sætte systemet op på andre lokaliteter med forskellige datakilder. Samtidigt blev det vurderet, at selv relativt simple analyser giver et tilstrækkelig præcist estimat på mængden af uvedkommende vand.

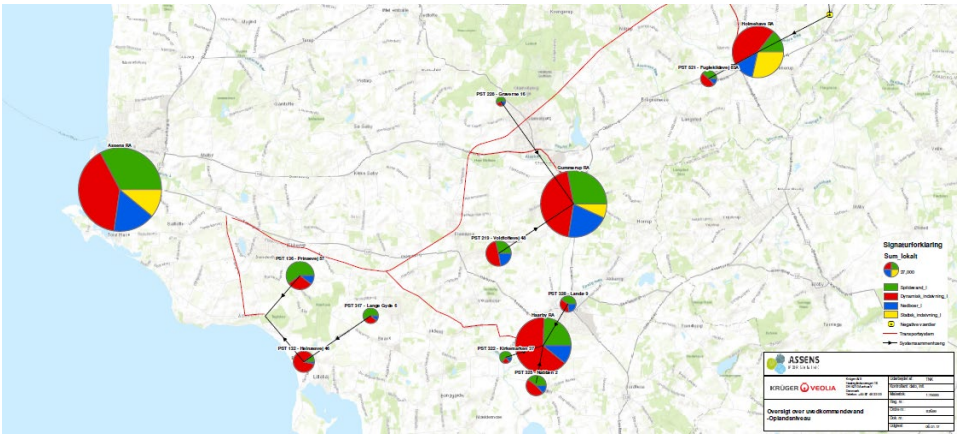
Således beregnes, ud fra stamdata (se uddybning i det følgende) og en tidsserie med døgnværdier for vandføring, mængden af hhv. spildevand, direkte afstrømning(nedbør), indirekte afstrømning og konstant indsivning (f.eks. grundvand). For at kunne estimere mængden af uvedkommende vand på årsbasis kræves minimum ét års data pga. årstidsvariationerne.

Stamdata er oplysninger for den givne lokalitet for målingen. Det er spildevandsmængden, en initialværdi for den indirekte afstrømning en fraktil til fastlæggelse af den konstante indsivning samt en ændringskonstant, som bestemmer hvor meget den indirekte afstrømning maksimalt kan ændre sig fra døgn til døgn.

Se eksempel på en analyse med metoden på nedenstående Figur 1 og Figur 2.



Figur 1: Eksempel på visning af indsivning over året med inddeling i fire fraktioner.



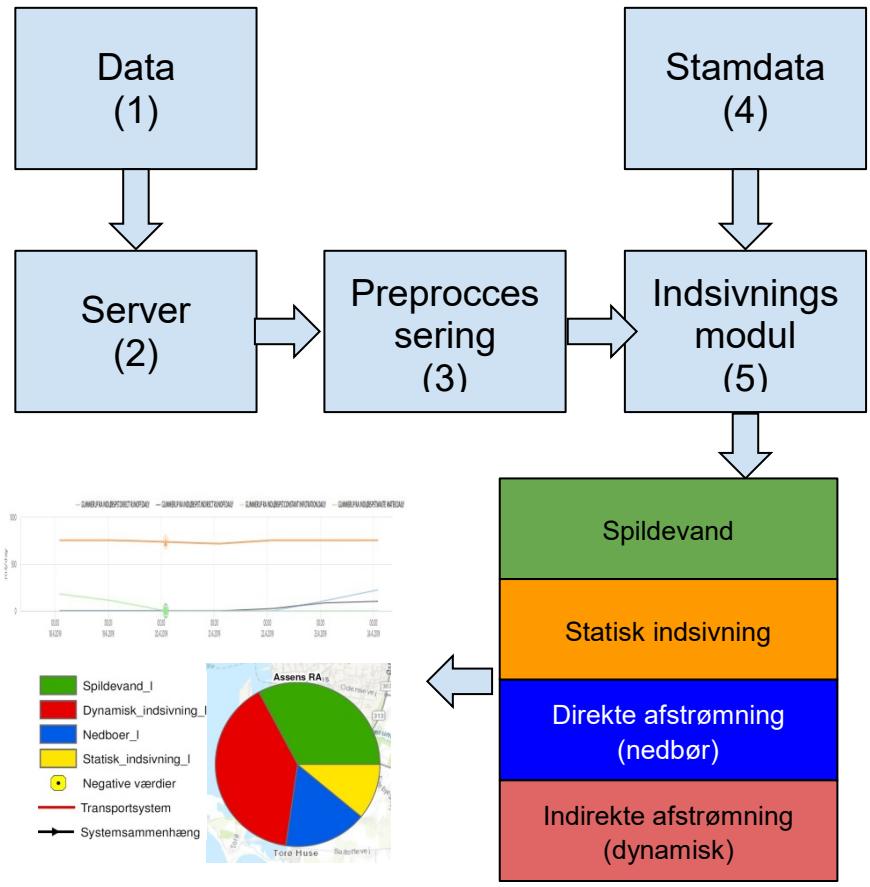
Figur 2: Eksempel på analyse for uvedkommende vand baseret på Krügers screeningsværktøj.

3. Beskrivelse af indsivningsmodulet

Det er førnævnte screeningsværktøj som er implementeret som et indsivningsmodul i AQUAVISTA™. På nedenstående figur er vist et flowchart for indsivningsmodulet som det er implementeret i AQUAVISTA™.

Vejen fra måledata til resultat for en given lokalitet kan inddeles i 5 punkter, som resulterer i en opdeling af vandføringen i 4 fraktioner. Så snart den seneste vandføring som døgnværdi er beregnet og gemt i databasen, eksekveres indsivningsmodulet med stamdata og tidsserie for lokaliteten, og de 4 fraktioner beregnes for det seneste døgn. Resultaterne gemmes i en variabel, hvilket betyder at resultaterne fra en given dag eller periode kan vises eller udtrækkes til nærmere analyse.

De enkelte punkter er gennemgået i Figur 3.

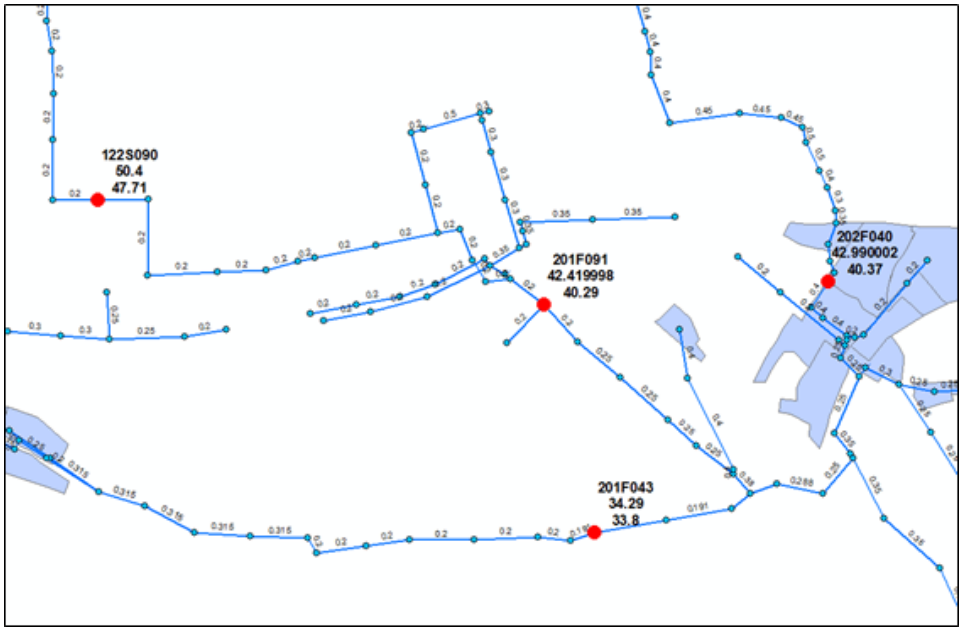


Figur 3: Flowchart for indsivningsmodulet der viser vejen fra måledata til resultat.

3.1 Data

Måledata til indsivningsmodulet kan være forskellige kilder. Selve indsivningsmodulet skal bruge en vandføring som døgnværdier, men grundlaget kan eksempelvis være et niveau som omregnes til et flow, eller en kombination af målt driftstid for en pumpestation sammen med pumpeydelse.

I HEPWAT måles niveau i forholdsvis høj tidsopløsning (hvert 2.minut), som sendes automatisk til en server i pakker. Målerne er sat op til at sende data til FTP server hver 6. time via mobildatanettet.



Figur 3 Placering af niveaumålere i Gummerup

3.2 Server

De indsamlede data gemmes i skyen og kan tilgås via AQUAVISTA™ API (Starlab).

3.3 Preprocessering

Som nævnt i pkt. 3.1 kan inddata til indsivningsmodulet være forskellige kilder, men selve indsivningsmodulet skal bruge en tidsserie for vandføring som døgnværdier. Det er derfor nødvendigt at omegne data så det er klar til de videre beregninger. Det er også under dette punkt at en evt. kvalitetskontrol skal ske.

3.4 Stamdata

Følgende oplysninger skal bruges for hver lokalitet:

- Spildevand (m^3/d)
- Dynamisk indsivning startværdi (m^3)
- Fraktil som den statiske indsivning beregnes ud fra (%)
- Ændringskonstant for uvedkommende vand (%)

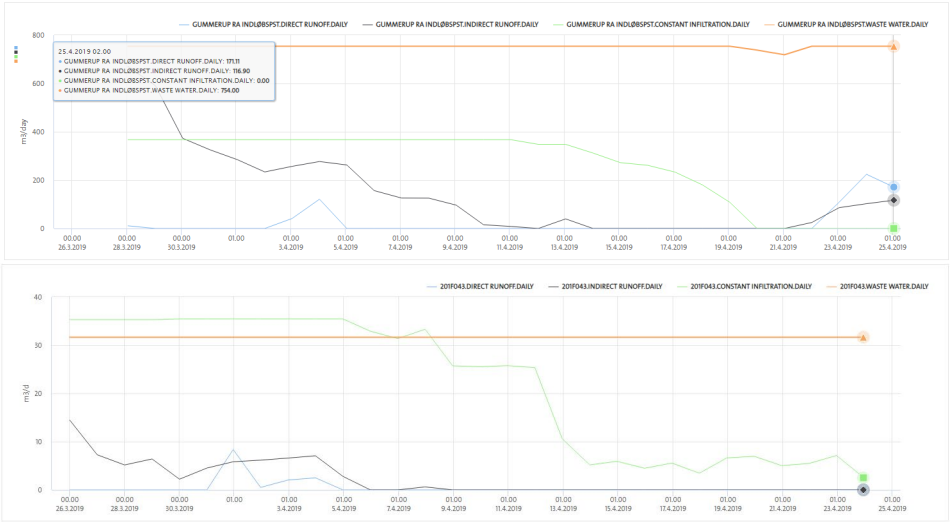
Spildevandsmængden kan f.eks. bestemmes ud fra forbrugsafregning (FAS data) eller fra en afløbsmodel. De 3 andre parametre vurderes og tilpasses den enkelte lokalitet.

3.5 Indsivningsmodul

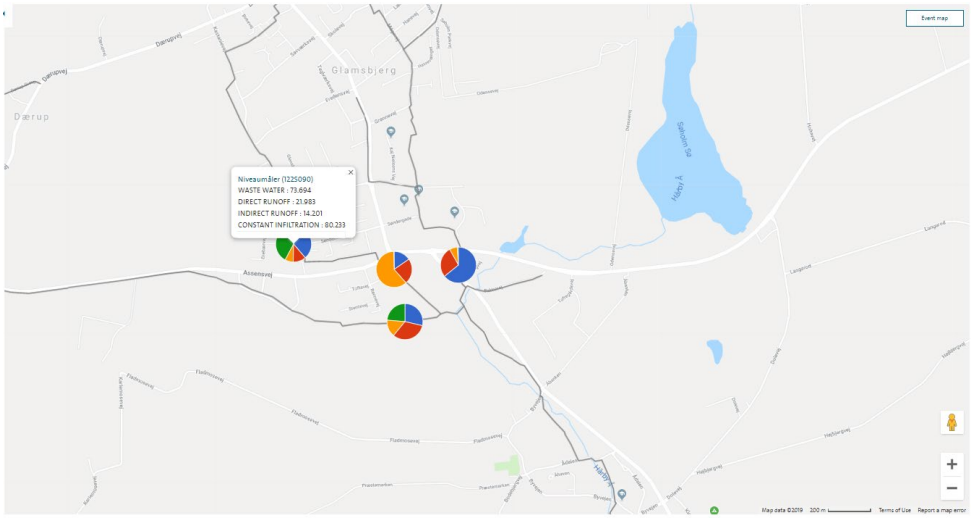
Indsivningsmodulet bruger stamdata og tidsserier for vandføring (døgnværdier) som input, og returnerer værdier for de 4 fraktioner (Spildevand, Direkte afstrømning, indirekte afstrømning og statisk indsivning) som gemmes i serveren.

4. Resultatvisning i AQUAVISTATM

På nedenstående figurer er vist eksempler på resultatvisning i AQUAVISTA™.



Figur 4: Eksempel på visning af grafer for indsivning i AQUAVISTA™.



Figur 5: Eksempel på kortvisning i AQUAVISTA™. (Sewerview).

5. Evaluering og perspektivering

Det vurderes, at data fra niveaumålere kan anvendes til at få et overblik over den aktuelle og historiske mængde af uvedkommende vand, men der er noget større usikkerhed sammenlignet med at bruge data fra pumpestationerne pga. større risiko for udfald og fejlmålinger, herunder omregning af niveau til vandføring.

Indsivningsmodulet i HEPWAT projektet har ikke kørt længe nok med valide data til at opgøre den årlige mængde uvedkommende vand ved de 4 lokaliteter, hvor der måles niveau som omregnes til en vandføring, og resultaterne kan forbedres ved at implementere et modul til kvalitetssikring af data og mere præcise tal for spildevandsmængder (de indlæste tal er skønnede ud fra GIS-lag med adressepunkter).

Erfaringerne viser, at måleudstyret (niveaumålere) kræver jævnligt tilsyn, og at data kontrolleres. Indtil videre er der ikke indarbejdet et modul til kvalitetssikring af data, men metoderne er allerede udviklet og anvendes allerede i AQUAVISTA™.

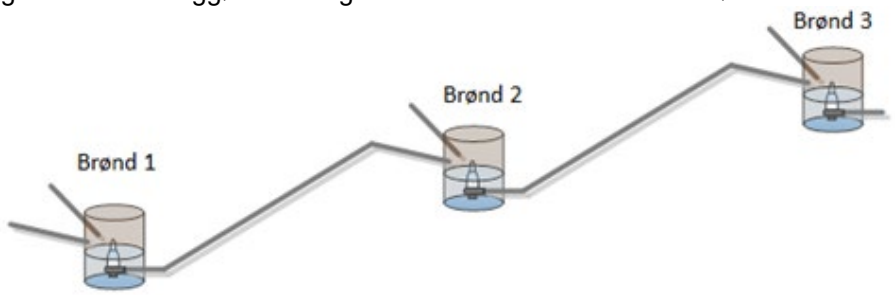
Det vurderes, at indsivningsmodulet med fordel kan anvendes fremadrettet til at få et overblik over mængden af uvedkommende vand forskellige steder i systemet, og til at assistere arbejdet med at reducerede mængden af uvedkommende vand. Det kan ske ved at koble modulet på lokaliteter, f.eks. pumpestationerne, hvor der allerede logges data, der kan bruges til at beregne en vandføring.

Bilag AP1-3: Uvedkommende vand via pumpe data

En anden aktivitet i HEPWAT har fokuseret på at anvende kendte drift data fra pumpe stationerne til at estimere flow i afløbssystemet. Dette er gjort ved at videreudvikle og validere 2 moduler i Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemer, der kan omregne pumpe data til værdifulde informationer, som forsyningerne kan bruge i deres beslutningsprocesser. Se mere om Grundfos iSolutions Cloud til afløbsssystemer i bilag)
Formålet med denne aktivitet i HEPWAT har været at identificere uvedkommende vand i Gummerups afløbssystem for at reparerer kloakrør, tilslutninger eller pumpestationer som vil give en besparelse i form af mindre vand der skal flyttes til og renses på Gummerup renseanlæg.

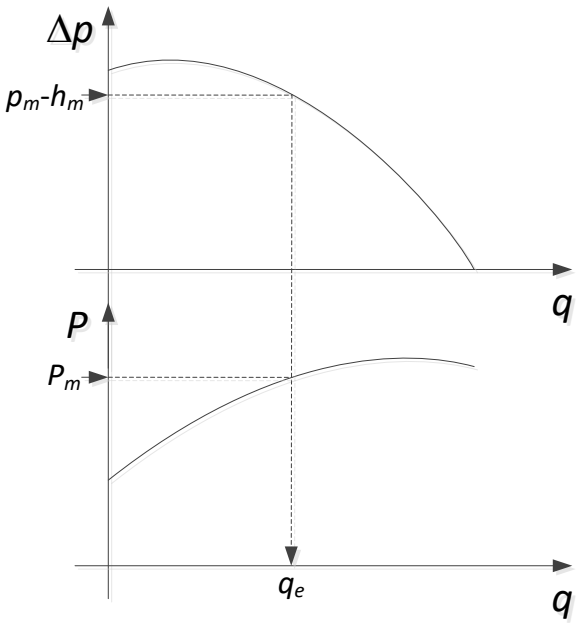
Metode
Flow og volumen er vigtige informationer i styringen af et afløbssystem. Ideen bag Grundfos flow-beregning er at muliggøre flow og volumen estimering uden brug af en flowmåler. Dette gør det økonomisk muligt for brugerne at opsamle flow og volumen informationer i størstedelen af spildevandsbrøndene i deres spildevandsnetværk.

Figur 1 viser en skitse af en lille del af et spildevandsnetværk indeholdende 3 brønde. Opbygningen med brøndene der opsamler spildevand fra slutbrugerne og pumper spildevandet mod rensningsanlægget gennem en række forbundene brønde er den typiske opbygning i et spildvandsnetværk. Flow-beregningen sigter mod at muliggøre flow og volumen information fra alle brøndene uden brug af flowmåler.



Figur 1: Et udsnit af et spildevandsnetværk med 3 forbundene brønde.

Grundfos flow-beregningsalgoritme anvender viden om pumper til estimering af pumpe flowet. Pumpekurven beskriver forbindelsen mellem pumpetryk, pumpeeffekt, og pumpe flow for en given pumpe. I algoritmen er pumpekurverne sat op for at etablere et plot fra det målte pumpetryk og målte pumpeeffekt til det estimerede flow. Figur 2 viser dette plot og hvordan et flowestimat opnås fra dette.



Figur 2. Pumpe kurver som beskriver forbindelsen mellem pumpetryk Δp, pumpeeffekt P, og pumpe flow q.

Det målte afgangstryk (p_m) minus det målte niveau (h_m) I sammen med pumpetrykskurven, giver et estimat på pumpe flowet. Ligeledes giver effekten (P) sammen med pumpeeffekt kurven et estimat på pumpe flow. Flowestimat tilgangen anvender både tryk- og effektkurverne på pumperne til at løse flow estimats problemet med den flade del på tryk og effektkurverne til at sikre et validt flowestimat ved alle driftsforhold.

Ændringer af niveauet I brønden bruges til at estimere indløbet til brønden. Hvis det antages at indløbet og pumpeflow er konstante i en kort tid så er den følgende forbindelse mellem ændringen af niveauet over tiden og indløbet og pumpe flow givet med

$$A\Delta h = \Delta T q_{in} - \Delta T q_p$$

Hvor er arealet af brønden. Hvilket løser udtrykket for indløbet som opnås

$$q_{in} = \frac{\Delta h}{\Delta T} + q_p$$

Som giver et estimat af indløbet.

Pumpekurven er typisk ikke tilgængelige og samtidig ændrer pumpekurverne sig over tid grundet slitage på pumperne. Flowberegning løser dette ved anvende en adaptiv tilpasningsalgoritme som kontinuerligt tilpasser pumpekurverne til den faktisk drift for de aktuelle pumper. Algoritmen estimerer pumpekurverne ved at sammenligne målte niveau værdier under pumpedrift med de estimerede pumpeflow, som er baseret på pumpekurven og en supplementær indløbsmodel. Ligning (1), som også bruges til indløbsestimeringen, som samtidig beskriver relationen mellem disse værdier. Pumpekurven justeres automatisk af algoritmen indtil pumpekurven passer til de målte niveauændringer, som så antyder at kurverne er de rigtige til at beskrive de aktuelle pumper i brønden.

Flowberegningen findes i Grundfos Dedicated Control, som er en lokal pumpe styring og i Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemer, som er en cloud løsing der kan anvendes til alle pumpe stationer uafhængigt af styrings- og pumpeproducent og i samspil med andre løsninger installeret i forsyningerne. Flowberegningen er grundlaget for indsatsen omkring uvedkommende vand i HEPWAT projektet.

Udvikling i forbindelse med HEPWAT
Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemer er udviklet i samarbejde med Provas A/S, Haderslev forsyning, hvor fokus har været at optimerer drifttimer og alarm håndteringer i forsyningen. Løsningen indeholder moduler til aktuel flow og Infiltrationsflow, og det er disse 2 moduler som er videreudviklet og valideret i forbindelse med HEPWAT.

Udviklingen af modulerne i HEPWAT har haft fokus på dataopsamling og dataflow fra pumpestationerne i Gummerup afløbssystem, samt tilretninger af flow algoritmen og flow algoritmens adaptive tilpasning, som beskrevet ovenfor. Dette har også betydet at data fra 8 af pumpestationerne ikke er lykkes at få frem i løbet af projektet, på grund af fysisk plads i pumpebrønden, problemer med sensorer og data forbindelses problemer I resten af pumpestationerne er det lykkes at vise Faktisk flow og Infiltrations flow, som præsenteres nedenfor.

Dataopsamlingen har haft fokus på at sikre en standardiseret proces, og sikre systemkrav til sensorer og kommunikationsudstyr for at få de rigtige data opsamlet per pumpestation. Yderligere har HEPWAT givet mulighed for at optimerer arbejdsprocesserne omkring installations og kommissionering per pumpestation. Det betyder at installations processen bliver hurtigere og reducerer fejlmulighederne i installationen, som resulterer i en hurtigere indkøringstid før løsningen viser korrekte data af flow i afløbssystemet.

I løbet af HEPWAT projektet har håndteringen af data fra Gummerup afløbssystem også vist et behov for at standardisere data flowet – i projektet opsamles 432.000 data punkter per pumpestation per dag, hvilket kræver et stringent dataflow fra Pumpestationen til webapplikations som bliver beskrevet i næste afsnit. Projektet har etableret et dataflow som sikrer synkronisering af tidsenheder på afsendelse og modtagelse af data på alle variable, samt en dataovervågning og validering. Dataovervågningen og validering er blevet udviklet så fejl som manglende data og dataværdier udenfor normale værdier opdages øjeblikkeligt. Dermed kan fejlerne rettes for at tilsikre en udbrudt datarække. Yderligere har projektet også udviklet metoder til at udfylde datahuller i tilfælde af dataudfald.

Hovedalgoritmen i Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemer er Grundfos Flow algoritmen som beskrevet i afsnittet ovenover. Algoritmen har gennem samarbejdet med Provas etableret i Grundfos Cloud løsning, mens udvikling af algoritmen i HEPWAT har haft fokus på at justere algoritmen og validerer resultaterne fra algoritme således at flow beregningerne efter HEPWAT nu er indenfor en sikkerhed på +/- 10% ift en standard flowmåler. Denne udvikling har krævet en del ressourcer for at forstå algoritmes databehandling og rutinerne omkring algoritmes adaptive tilpasning, som betyder at algoritmen hele tiden tilpasser sig pumpestations ændrede drift betingelser. Denne forståelse af rutinerne omkring den adaptive tilpasning kræver en indsigt i pumpestationerne dimensioner og driftpunkter. HEPWAT projektet har bidraget til at sikre en automatisering af disse adaptive tilpasninger og synkronisering af databehandlingen i Grundfos iSolutions Cloud – således at flow estimering kommer til at afspejle virkeligheden i hver pumpestation.

1.1.1.1 Beskrivelse af løsningen og gevinsten

Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemer er en cloud-baseret løsning, der optimerer driften og gør det nemt at udvide eller reparere spildevandsnettet. Grundfos iSolutions Cloud til spildevandsnet kan identificere infiltrationsvand ved at overvåge det aktuelle flow i kloakker og foretage forebyggende vedligeholdelse, som sparer både tid og energi.

Grundfos viden om anvendelsesområder og løsninger er indbygget i denne digitale vandstyringsløsning, som giver værdi for kunden. Løsningen indeholder flere forskellige optimeringsmoduler til spildevandsopsamlingsanlæg, der både giver overblik over nettet, reducerer driftstiden og øger effektiviteten.

Modulerne i Grundfos iSolutions Cloud anvendes som et supplement til forsyningernes almindelige SCADA/SRO-anlæg og fungerer sammen med alt udstyr i pumpestationerne. Modulerne i Grundfos iSolutions Cloud for afløbssystemerne er:

1. FOREBYGGENDE VEDLIGEHOLD
Forebyggende vedligehold og anlægsoptimering viser, hvor forsyningerne kan optimere rør, pumper, ventiler, autokobling og driftsstyringen i pumpestationerne. Gevinsten for forsyningerne er at de forebyggende kan vedligeholde udstyret i afløbssystemerne for at undgå drift stop udkald til pumpestationer ved at vende vedligeholdelsesstrategien fra reaktive til proaktivt, yderligere kan forsyningen optimere energiforbruget i afløbssystemet i forbindelse med dette modul.

2. OVERLØBSADVARSEL
Proaktive overløbsadvarsler angiver, hvor og hvornår vandstanden stiger, når pumperne ikke kører ved fuld kapacitet. Gevinsten ved dette modul er at forsyningerne for en advarsel i bedre tid end en normal højvand alarm, samt indsigt i om en mekaniske forbedring som kan forhindre overløbet.

3. AKTUELT FLOW
Få vist data om det aktuelle flow i dine kloakrør og brønde, samt årsagen til infiltration i anlægget – uanset om der er tale om regnrelateret eller langsom infiltration. Gevinsten ved dette modul er at forsyningerne kan lokalisere uvedkommende vand i deres afløbssystem, og derved mindske omkostningerne til at flytte regn- og grundvand rundt i afløbssystemet samt rensning på renseanlægget af denne vandmasse,

4. INFILTRATIONSFLOW
Hændelsesbaseret infiltrationsflow og daglig flowprofil integreret med nedbørsprofil. Gevinsten ved dette modul er at forsyningen får indsigt i hvilke type fejl de skal kigge efter i deres afløbssystem, da hurtig infiltration typisk er relateret til forkert tilkoblinger af dræn, kloak rør som er forskudt eller brudt sammen, samt åbninger i og omkring pumpestationer. Hvorimod langsom infiltration typisk er et signal på at kloakrørene begynder at have brud som kræver et vedligehold eller f.eks en strømpeforing.

5. UDNYTTELSE AF PUMPESTATIONENS KAPACITET
Et tjek af pumpestationen og pumpens funktion viser den transporterede mængde vand i forhold til den samlede kapacitet. Gevinsten ved dette modul er at forsyningen får indsigt om pumpestationerne i afløbssystemet har den rigtige bestykning af pumpe størrelser, samt en indsigt i hvorledes afløbssystemet er forberedt til strukturelle ændringer. Denne indsigt kan hjælpe med at spare energi og reducere udkald til pumpestationer.

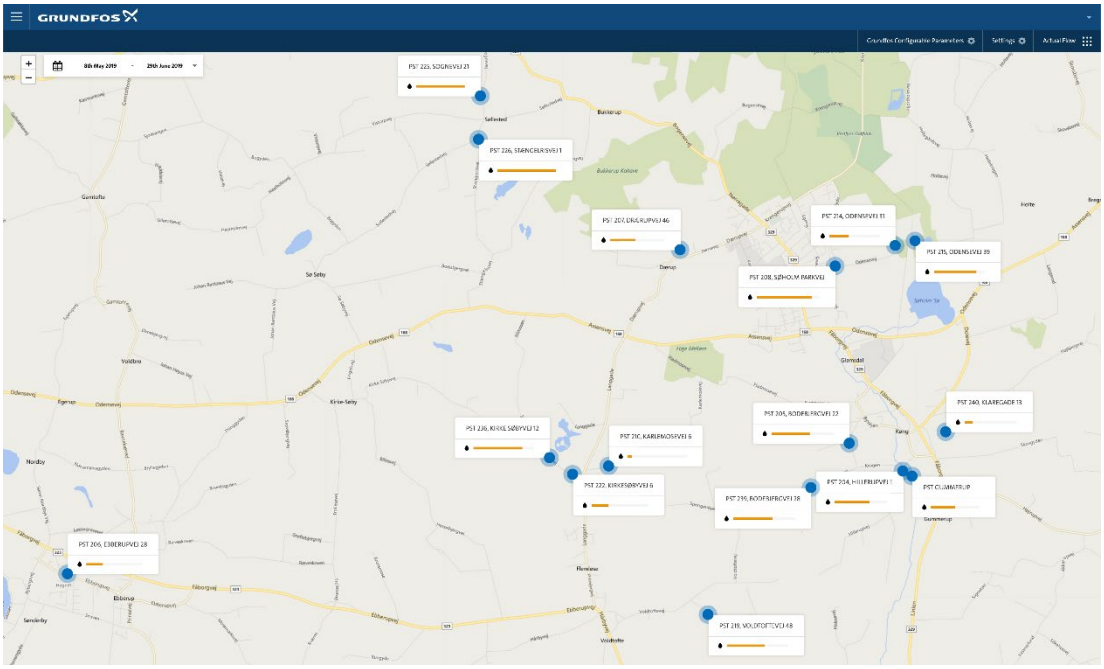
1.1.1.2 Data flow og krav til afløbssystemet

For at kunne anvende Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemet er følgende sensor signaler nødvendige: Niveau måling fra pumpe sumpen, tryk målinger på afgangsrøret af pumpestationer, individuelle strømmålingerne fra pumperne i pumpestationer og endelig en regnmåler.

Sensor signalerne bruges til at estimerer flowet i stationen som beskrevet ovenfor og regnsensoren bruges til identifikation af hurtig og langsom infiltration

Kravet til data opløseligheden er 1 sekunds data for at fange de små flowvariationer, som gør at flowestimering bliver mere nøjagtig i forhold til pumpe drift adfærden, som giver store variationer i sensor værdierne når pumperne starter og stopper.

Resultater



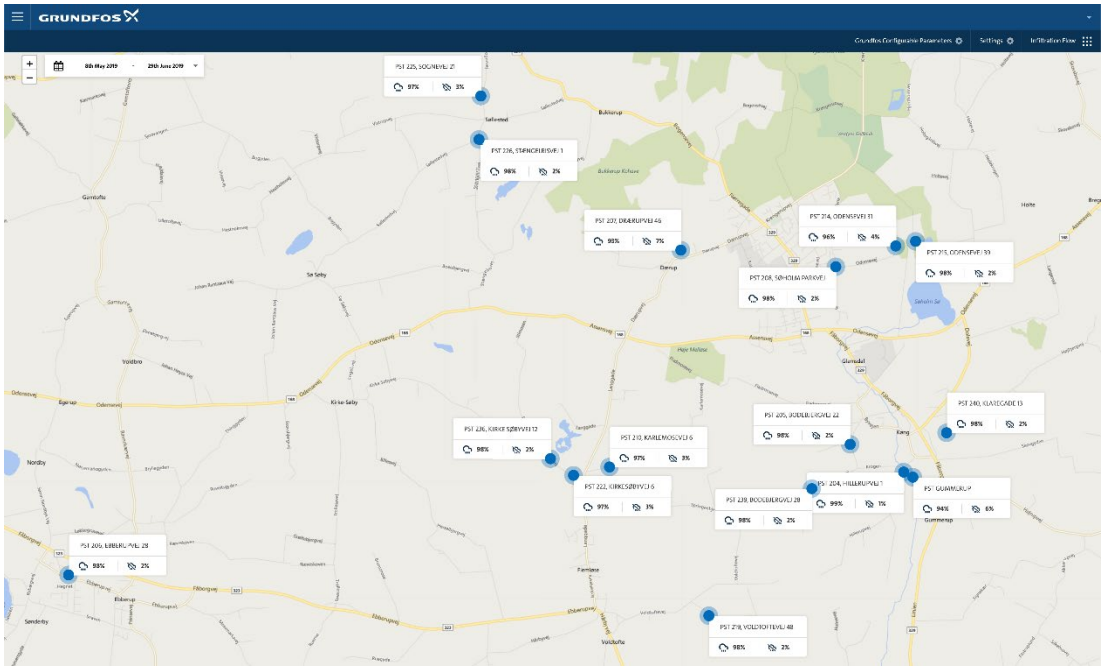
Figur 3: Uvedkommende vand i Gummerup opland fra 8. maj til 29. juni.

I denne del af HEPWAT har fokus været på pumpestationerne i afløbssystemet og indløbsstationen på Gummerup rens. Figur 3 er et billede fra Grundfos iSolutions Cloud til afløbssystemet, som illustrerer pumpestationernes placering i oplandet og viser deres mængde af uvedkommende vand relativt i forhold til pumpestations spildevands norm fra det specifikke opland, den orange bar indikerer den relative størrelse af uvedkommende vand mellem pumpestationer – det fysiske flow kan være meget højere i en station uden at den orange bar er højere, da fokus er på andelen af uvedkommende vand. Figuren kan vises i Grundfos iSolutions Cloud, informationerne kan integreres ind i et SRO eller SCADA system eller være en tilstands rapport over systemet i en udvalgt periode.

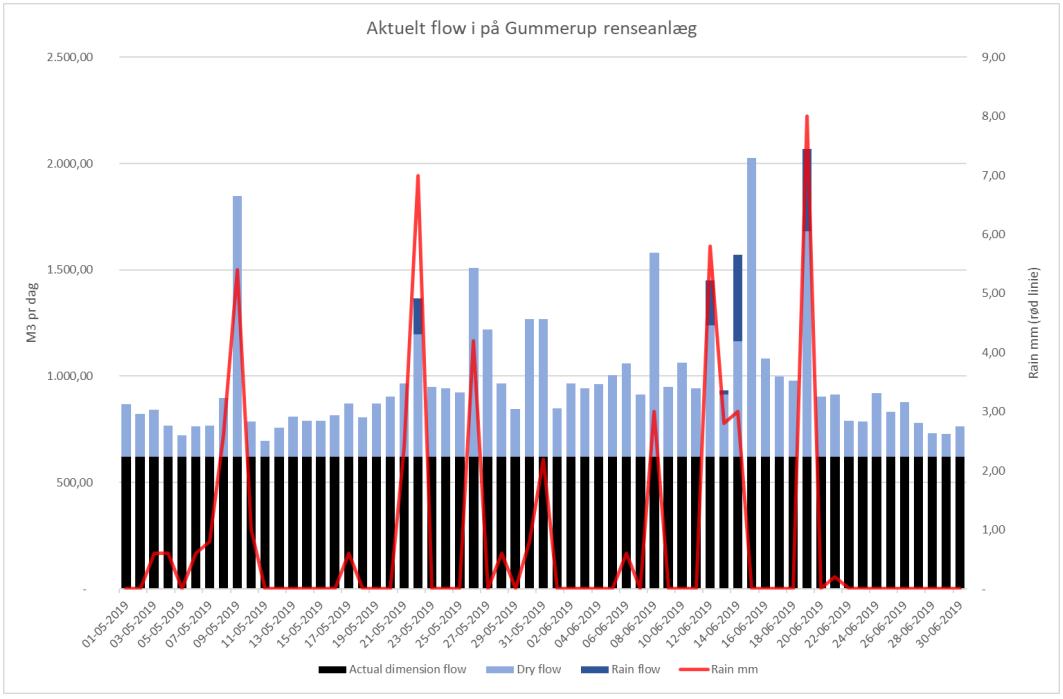
Resultaterne viser at uvedkommende vand kommer fra pumpestationerne nord vest for Glamsbjerg, station 225 og 226. Men også pumpe station 208 midt i Glamsbjerg, station 204, 205 og 239 har en del uvedkommende vand i løbet af undersøgelsesperioden. (Alle data på stationerne kan ses i bilag x). Disse stationer har +50% uvedkommende vand ift spildevands normen fra deres opland.

Figur 4 viser samme flow i Gummerup opland fra pumpestationerne men deler nu flowet op i forhold til hvor meget flow der skabes i regnvejrssituationer – kaldet hurtig infiltration eller om det uvedkommende vand kommer i alle vejr situationer og dermed er langsom infiltration fra grundvand eller langsom indsivning af regnvand.

Figur 4 viser at flowet i afløbssystemet i perioden 8 maj til 29 juni for det meste var relateret til tørvejrs situationer, da det typiske flow er på 0-7% af total flowet i Gummerup opland. Hvilket betyder at uvedkommende vand i Gummerup for det meste kommer som langsom infiltration i den målte periode og dermed relateret til rørenes tilstand. For at begrænse uvedkommende vand i Gummerup med langsom infiltration er et forbedringsforslag at strømpefore udvalgt strækninger eller helt at renoverer disse, alt efter rørenes tilstand.



Figur 4: Infiltrations flow i Gummerup opland fra 8. maj til 29. juni.



Figur 5: Aktuelt flow på Gummerup renseanlæg fra 8. maj til 29. juni.

Ved en analyse af data fra Gummerup renseanlæg i samme periode, hvor aktuel flow bliver kombineret med en regnsensor fra oplandet i figur 5, er det meget tydeligt at se at peak flow ind på renseanlægget typisk sker i regnvejrs situationer. Alle dage med flow over 1.000 m3 ind på renseanlægget er relateret til flow med regnvejr, dette skyldes at den største del flow fra afløbssystemet i Gummerup opland kommer fra Glamsbjerg by.

Det er derfor vigtigt at få et komplet billede at afløbssystemet for at fokusere mest effekt givende indsats mod uvedkommende vand i Gummerup opland. I forhold til den tidligere anbefaling om at kigge på strømpeforing i afløbssystemet viser figur 5 at de største flow variationer i gennemsnit på regnvejrsdage er på 143% mere flow i forhold til spildvands normen i oplandet. Disse flow variationer går fra 100% til plus 233% ekstra flow.

Evaluering og perspektivering

Det vurderes, at indsivningsmodulet med fordel kan anvendes fremadrettet til at få et overblik over mængden af uvedkommende vand forskellige steder i systemet, og til at assistere arbejdet med at reducerede mængden af uvedkommende vand. Det kan ske ved at koble modulet på lokaliteter, f.eks. pumpestationerne, hvor der allerede logges data, der kan bruges til at beregne en vandføring.

Erfaringer fra håndtering af uvedkommende vand i afløbssystemet viser at det er nøjsomt at opsamle data fra pumpe stationerne, men når først data flyder ind på platformen er det muligt let og hurtigt at få et overblik med uvedkommende vand i Gummerup.

Målsætningen om at identificerer 50% reduktion af uvedkommende vand i oplandet, er muligt. Nu forestår en større opgave med at gennemse kloakrør og flow i gravitationssystemet for at adskille overflade vand fra flowet ind til renseanlægget.

Datapakker

I datapakkerne på hjemmesiden findes opdeling af flow per time og per dag fra 8 maj til 29 juni 2019
Yderligere vises 2 mulige grafer, som illustrerer flowet per dag i m3. I arket “Chart data” kan pumpestationerne ændres i det gule felt, således at graferne opdateres til den nye pumpestation
Der er kun flow for de 16 gode stationer.

I filen arbejdes der med:

Flow_in	Flow ind i pumpestationerne
Rain_mm	Antal mm regn i timen eller per dag
Actual dimension flow	det beregnet spildevands tilskud fra huse, industrier, institutioner, hoteller etc – som er spildevandsnormen
Actual Treshold	Flow som er tilladte af forsyningen over det actual dimension flow – i dette tilfælde sat til samme størrelse som actual dimension flow
Actual infiltration	flow_in minus Actual dimension flow og Actual treshold
Dry flow	Er flow i perioder hvor det ikke regner udover Actual dimension flow
Rain flow	Er flow i perioder hvor det regner udover Actual dimension flow

Kontakt

Finn Dalsgaard Nielsen, sælger i Grundfos Danmark.
fdnielsen@grundfos.com
Mobil telefon: +45 30 53 67 73

Ulrik Faaborg Glerup, Styrings ekspert i Grundfos Danmark.
uglerup@grundfos.com
Mobil telefon: +45 51 44 95 12

Christian Schou, Applikations manager i Grundfos Holdning

cschou@grundfos.com
Mobil telefon: +45 24 85 57 44

Bilag AP1-4: H2S data logning, modellering og kemibekæmpelses

Svovlbrinte – udfordringer og løsninger

Svovlbrinte er et udbredt problem i alle danske forsyninger, der transporterer spildevand i tryksatte systemer over afstand. Små mængder spildevand, indsamlet fra tyndt bebyggede områder til centrale renseanlæg, resulterer i høje opholdstider i ledningsnettet. Under disse betingelser dannes de biologiske forudsætningen for produktion af svovbrinte. Dette er også erfaringen i Assens Forsyning.

I HEPWAT er der arbejdet med dokumentation af omfanget af svovlbrinteproblemer i en stor del af oplandet til Gummerup renseanlæg ved installation af en lang række svovlbrinteloggere fra Odalog. Der er fokuseret på at måle i flere oplande, da det at måle er den eneste reelle metode til initiering af en løsning af problemerne. Der er opstillet modeller i WATS for et enkeltsystem, et modelværktøj, der estimerer produktion af svovlbrinte i et netværk på basis af standard betingelser for spildevands sammensætning, flow og en rørmodel. Denne model er anvendt til at estimere effekten af løsninger og kemikalier forbrug. Desuden er det forsøgt at lave modellering af teoretiske beregninger af svovlbrinteforekomster med et simpelt værktøj. Der er ikke opnået kendt flow i hele system i projektperioden pga. udvikling af nye metoder til dette. Derfor er anvendt et forenklet værktøj til estimering af produktionspotentialet i enkelte ledning. Værktøjet minder om det nyligt præsenterede af DANVAs svovbrintegruppe.

Grundfos har efter dokumentationen af svovlbrinteproblemernes omfang, i samarbejde med Assens Forsyning, valgt at fokusere indsatsen til bekæmpelse af svovlbrinte i området ind mod Graverne i Glamsbjerg, samt på strækningen fra pumpestation PST 236 til PST 222 Kirke Søbyvej.

Grundfos svovlbrinte løsning

Grundfos har igennem en årrække arbejdet med bekæmpelse af svovlbrinte og optimeret på eksisterende metoder i samarbejde med Aalborg Universitet. Dette arbejde strækker sig fra de mere praktiske styringsmæssige udfordringer og modellering af netværket til teoretiske undersøgelser via eks. industrielt PhD samarbejde og giver dermed Grundfos en vifte af kompetencer inden for feltet.

Grundfos arbejder løsningsorienteret med svovlbrinte i kloaknettet i flere trin. Først udføres en svovlbrinte audit, som har til formål at dokumentere problemets størrelse. Hvis problemet er af så stort omfang at der kræves en løsning, gives der et bud på denne, samt en estimering af kemikaliebehov og bestykning. Dette gøres ved at benytte det målte H_2S data opsamlet i audit'en samt pumpe-data udleveret af forsyningen i en model.

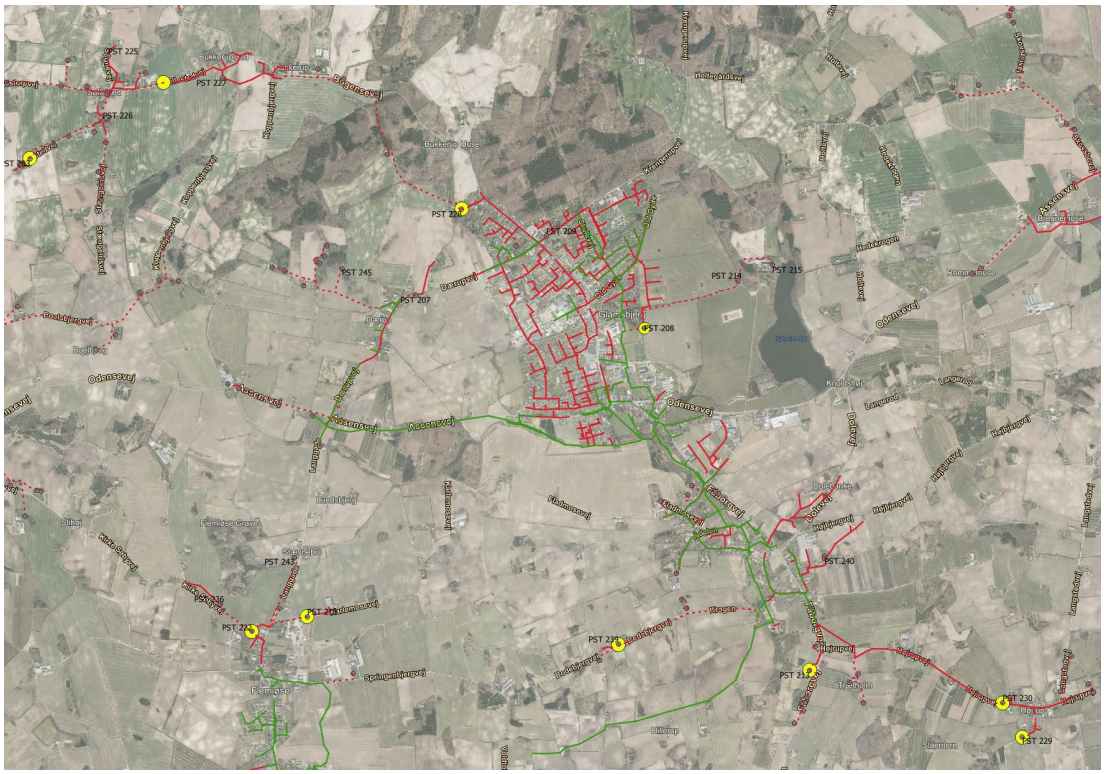
Til bekæmpelse kan Grundfos svovlbrinteløsning anvendes. Denne løsning er en adaptiv doseringsløsning, der effektivt bekæmper svovlbrinte med et minimum af kemikalieforbrug pr. m3. Den adaptive løsning regulerer kemidosering i forhold til daglige og årlige variationer. Gængse kemikalier, som ferro- og ferritjern (Fe(II) og Fe(III)), samt nitrat har løst flere kunders problemer med lave omkostninger til følge. Dette kræver dog et system med èn pumpestation, der afleverer spildevandet i een opppumpningsbrønd, da et system med indpumpning fra flere forskellige stationer til samme brønd eller pumpestation vil skabe problemer for regulering af den doserede mængde.

Se mere om Grundfos svovlbrinte løsning på dette link.
https://dk.grundfos.com/grundfos-for-engineers/featured-themes/grundfos-hydrogen-sulphide-solutions.html.
Her kan desuden findes en lille booklet med baggrundsviden om H2S-problemer.

I et af de udvalgte systemer er der netop en udfordring med, at to pumpestationer pumper ind i en oppumpningsbrønd, så en automatisk styring af doseringskemikaliet er umuligt. Dette er forsøgt løst i dette projekt.

Omfang af problemet

I dette afsnit vil omfanget af svovlbrinteproblemerne for det udvalgte område blive beskrevet. I figur 1 vises oplandet, hvor svovlbrintesensorerne er placeret. På kortet er disse markeret med en gul markør.



Figur 1: Kort over udvalgte strækninger hvor der måles svovlbrinte med odalog sensorere (markeret med gul)

Svovlbrinte målerne blev placeret i de områder, hvor Assens forsyning i forvejen havde svovlbrinte problemer og så i yder og knude punkter af afløbssystemet.

Følgende strækninger er udvalgt, benævnt med pumpestationens navn:

- PST 203
- PST 206
- PST 208
- PST 210
- PST 213
- PST 219
- PST 222
- PST 225
- PST 226
- PST 227
- PST 229
- PST 230

- PST 239

Hvis der ses på data opsamlet fra svovlbrinte loggere kan en række af disse identificeres som strækninger med problemer. Disse er benævnt nedenfor. De strækninger der ikke er vist her vil være tilgængelige i bilag.

Dokumentation med data fra loggere

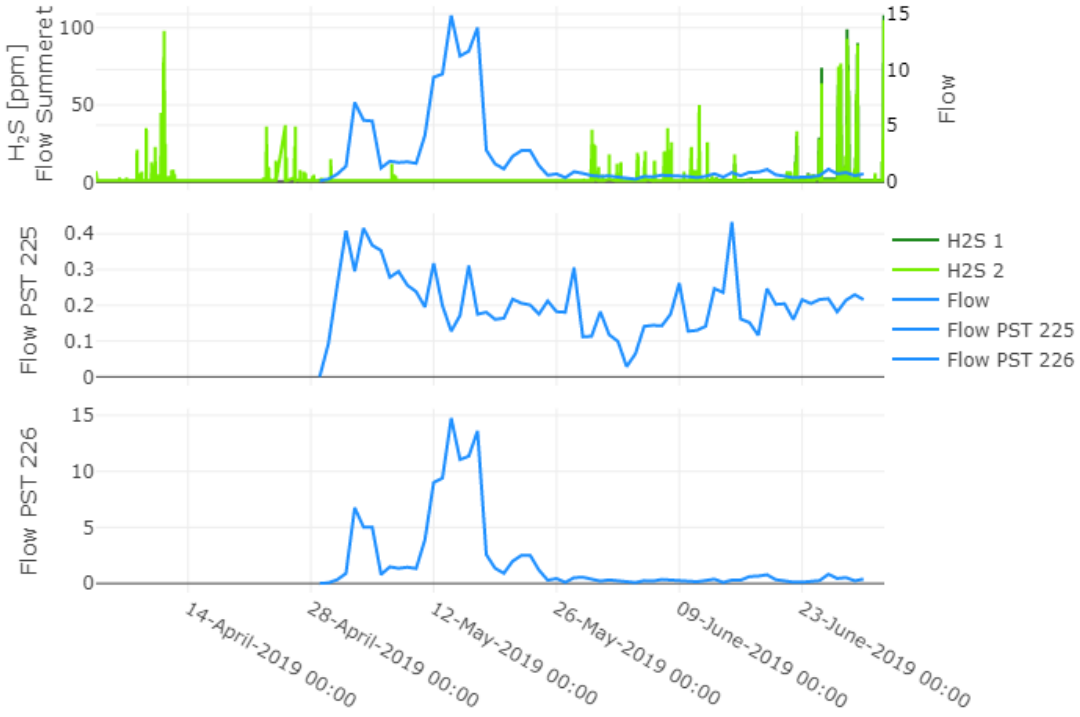
I dette afsnit vil udsnit af svovlbrinte data fra et par enkelte strækninger vises. Der gives først et overblik af strækningen i form af lednings- og brøndplaceringer. Herefter vises de loggede svovlbrintedata og der gives et simpelt statistisk overblik af problemet.

PST 225 og PST 226

Pumpestation PST 225 og PST 226 afleverer begge spildevand i samme oppumpningsbrønd. De to ledninger løber sammen inden de løber i samme trykledning frem mod oppumpningsbrønden. Det nedstrøms gravitationssystem er udført i beton og anlagt i 2002. PST 225 modtager spildevand fra de omkringliggende hustande, hvor PST 226 modtager yderligere spildevand fra et ny-tilkoblet område i forbindelse med PST 203. Dette område er under tilkobling og vil udvides løbende. I figur Figur 2 ses en oversigt af systemet.

Figur 2: Oversigt af pumpestation PST 225 og PST 226, samt oppumpningsbrønden der afleveres spildevand i og måles svovlbrinte (markeret med gul)

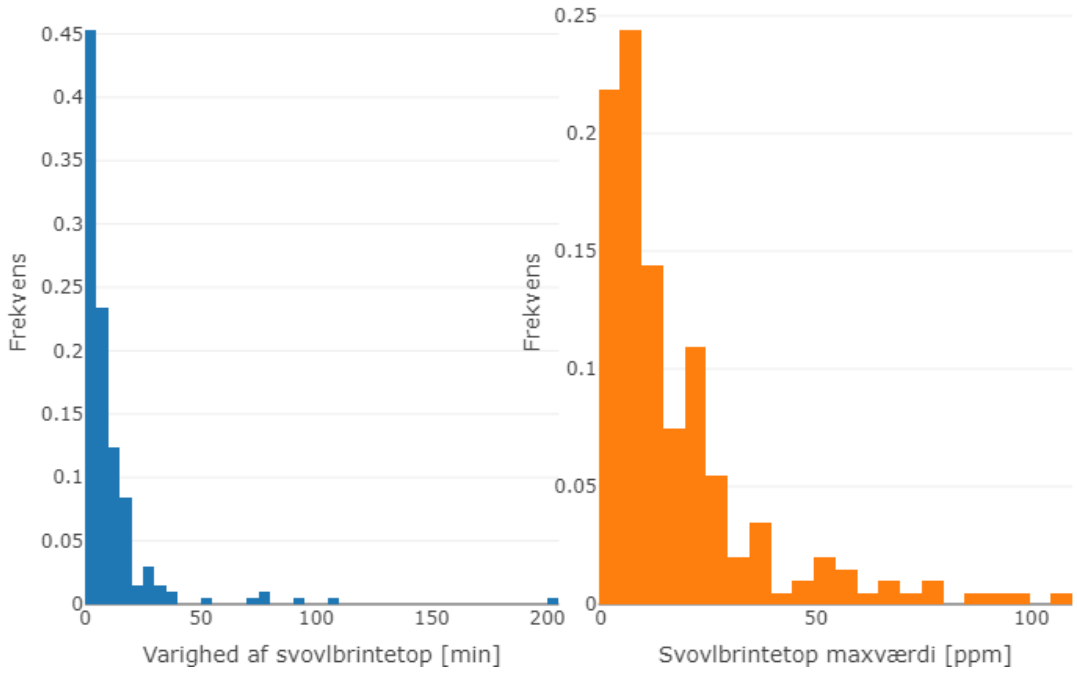
Jævnfør flowmålinger udført med WWN (Wastewater Network) modtager pumpestation PST 226 betydeligt mere spildevand end pumpestation PST 225. Dette betyder, at der vil forventes en større svovlbrinteproduktion fra den strækning. der udelukkende er tilkoblet PST 225. Det er dog imidlertid vanskeligt at skille de to ad i målefasen. Herunder vil svovlbrintemålingerne derfor knytte sig til begge strækninger. Grundet krav til senere installeret styring af kemidosering i begge stationer er der placeret 2 svovlbrinte loggere i oppumpningsbrønden. Dette ses i Figur 3.



Figur 3: Svovlbrinte målt i oppumpningsbrønd nedstrøms PST 225 og 226, samt flow summeret og enkeltvis for PST 225 og PST 226

Det ses her først og fremmest, at de to svovlbrinteloggere måler ens svovlbrinte koncentrationer[1]. Derudover ses, at svovlbrinteudviklingen overordnet korrelerer med døgnflowet. I perioden med højt flow ses ingen svovlbrinte, og når flowet falder i den sidste halvdel af perioden (efter 26/5), ses svovlbrinte niveauer op mod 100 ppm. Nedgangen her sker primært i det spildevand, der modtages fra PST 226.
Hvis der ses på svovlbrintetoppenes størrelser, er ca. halvdelen mellem 0-10 ppm, og den resterende del befinder sig hovedsageligt op mod 50 ppm, med enkelte svovlbrintemålinger op mod 100 ppm. Dette ses i figur 4. Derudover er varigheden i 90% af tilfældene under 20 min.

[1] Der ses små variationer i både tid og koncentration, dog inden for måleusikkerheden. Tidsforskydning skyldes sandsynligvis kalibrering af loggerens tidnotering. Dette kan også ses i bilag



Figur 4: Histografisk repræsentation af svovlbrintetoppenes højde og længde for oppumpningsbrønden tilknyttet PST 225 og PST 226

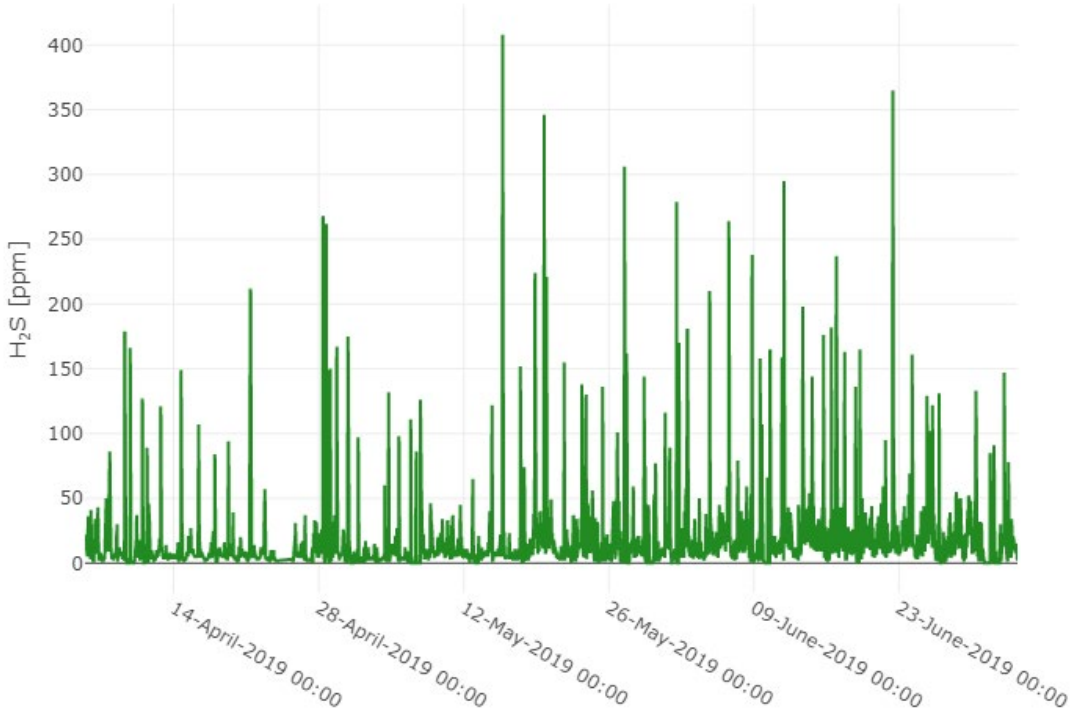
Der ses altså en del variation i svovlbrinteniveau på strækningen, som kan tilskrives variationer i flow. Når flowet er lavt, måles svovlbrintekoncentrationer, som er problematiske ift. arbejde i kloakken.
Derudover er der potentiale for korrosion af det nedstrøms gravitationssystem, da dette er beton. System er i dag 17 år gammelt, men levetiden kan blive betydelig nedsat grundet svovlbrintebelastningen. Derudover kan svovlbrintebelastningen også være til gene for borgere i nærheden.

PST 213

PST 213 modtager spildevand fra et mindre antal enkelthusstande igennem et tryksat system. Der er derfor potentiale for, at det indkomne vand til PST 213 indeholder svovlbrinte. Da systemet består af få husstande, vil der også være potentiale for store variationer. Det sker eksempelvis i ferieperioder, eller lignende, hvis størstedelen af husstandene står tomme. Spildevandet pumpes fra PST 213 graviterer videre mod Gummerup hvor det mødes med spildevand fra PST230 i en fællesledning. Systemet nedstrøms PST 213 er udført i PVC og der er derfor ikke fare for korrosion, men dog større potentiale for lugtgener for de nærliggende husstande. Et overblik over systemet kan ses i figur 5.

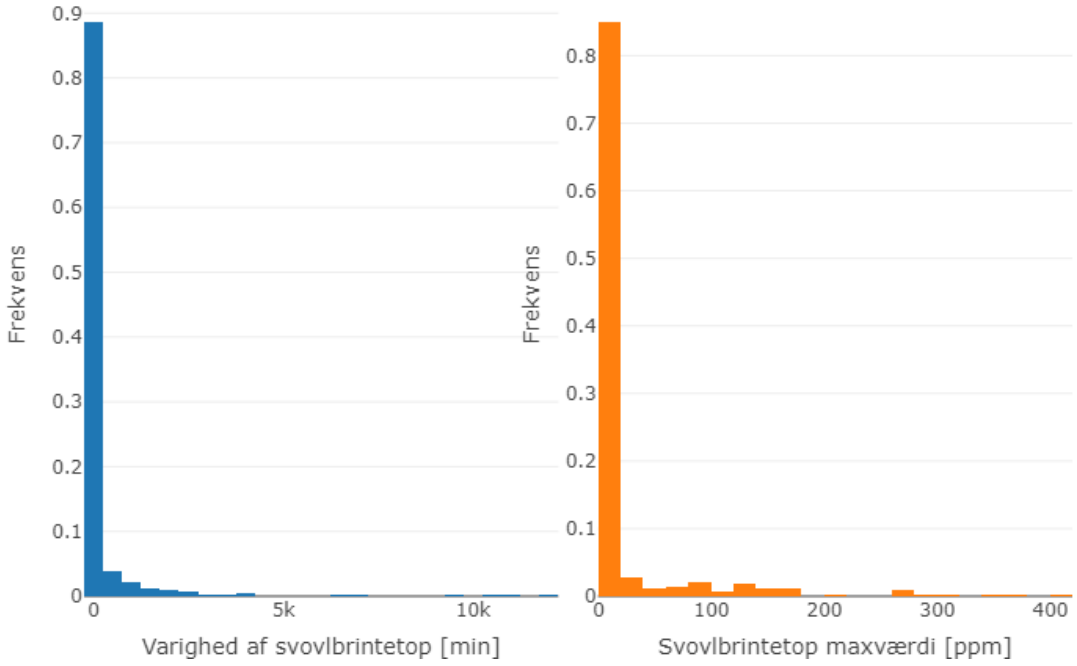
Figur 5: Oversigt over strækningen tilhørende PST 213. PST 213 modtager spildevand fra 4 enkelthusstande samt et kort gravitationssystem. Derefter pumpes der fra PST 213 mod Gummerup.

I Figur 6 vises det målte svovlbrinte data fra PST 213. Der ses en forholdsvis konstant svovlbrinte belastning på strækningen med toppe op mod 400 ppm. En konstant belastning, som ses her, kan give store problemer med korrosion, hvis der er tale om betonledninger nedstrøms. I dette tilfælde er det nedstrømssystem udført i PVC. Der er dog stadig potentiale for store lugtgener nær gravitationssystemet nedstrøms.



Figur 6: Målte svovlbrintedata i PST 213

I Figur 7 ses en statistisk repræsentation of svovlbrintedata der er opsamlet. De enkelte toppe er identificeret og maxværdi og længden af eventet hvor der ses svovlbrinte er beregnet. Herefter er det plottet i histogram.



Figur 7: Histografisk representation af svovlbrintetoppenes højde og længde for PST 213

Som det ses, ligger størstedelen af svovlbrintebelastningen med toppe mellem 0-20 ppm. Varigheden ses her som meget lange. Den lange varighed skyldes, at der konstant måles svovlbrinte, og toppen derfor varer ved i perioderne mellem de høje koncentrationer.
Grundet de høje koncentrationer er der potentiale for store lugtgener, og der skal tages forbehold, når forsyningen arbejders i kloakken, både i pumpestation PST213 men også nedstrøms. Der vil dog ikke være problemer med korrosion i det direkte nedstrøms system, da dette er udført i PVC, som ellers kunne være et stort problem grundet det konstante niveau, hvis det var udført i beton. Der er dog stadig fare for korrosion af metal og elektriske komponenter i forbindelse med kloakken.

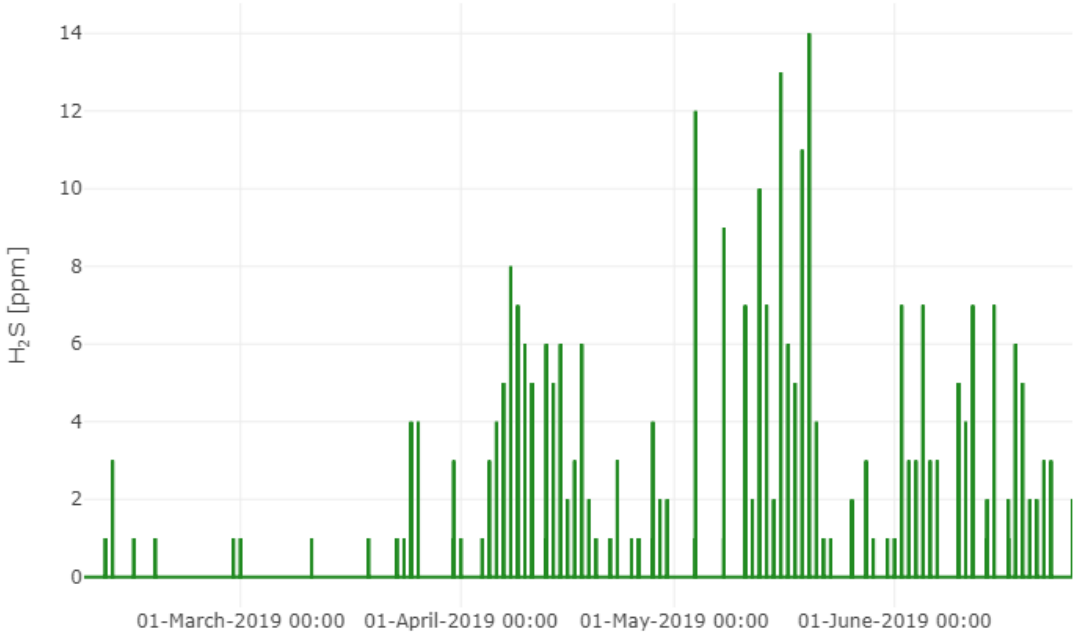
PST 230

Som nævnt i tidligere afsnit mødes spildevandet fra PST 213 med det fra PST230. PST230 modtager spildevand fra Højrup som består af et kombineret tryksat og gravitationssystem. Trykledningerne ligger i yderområderne og inden det når PST230 løber det gennem et gravitationssystem, fuldt udført i PVC. En oversigt over området kan ses i figur 8.

Figur 8: Oversigt over området tilknyttet PST 230

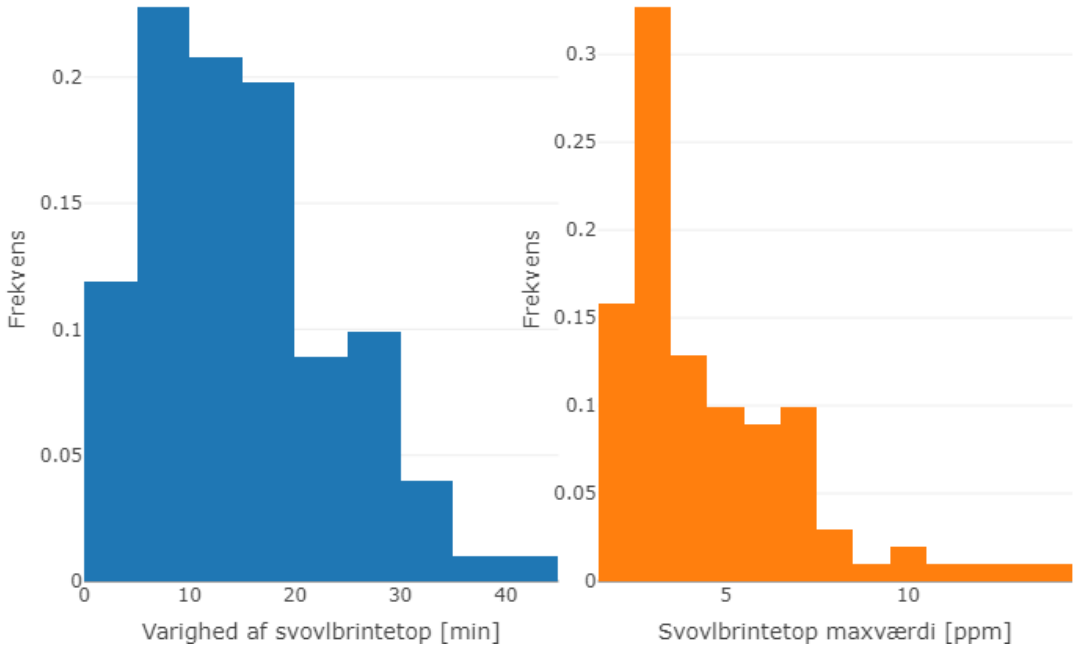
De målte svovlbrintedata som ses i figur 9 viser at svovlbrintebelastningen generelt er lav, men dog tilstede i PST 230. Svovlbrinten stammer enten fra en af de to trykledninger i Højrup eller begge. Der er desværre ikke flowdata tilgængeligt, som kan underbygge hvilken. Koncentrationen, som måles i PST230, vil dog under alle omstændigheder være lavere end den, der måles længere opstrøms i systemet. Da systemet er udført i PVC, er der dog imidlertid ingen fare for korrosion, men der kan dog være problemer med lugt, da

gravitations systemet løber ned gennem byen, specielt i knudepunktet, hvor de to gravitationsstykker mødes, da der her ses et stort fald, og derved vil være høj turbulens.



Figur 9: Målte svovlbrintedata i PST 230

Som vist af data i figur 9 og figur 10 kan det ses at svovlbrinte koncentrationerne generelt er lave, under 10 ppm, og de fleste med en varighed under 20 min.



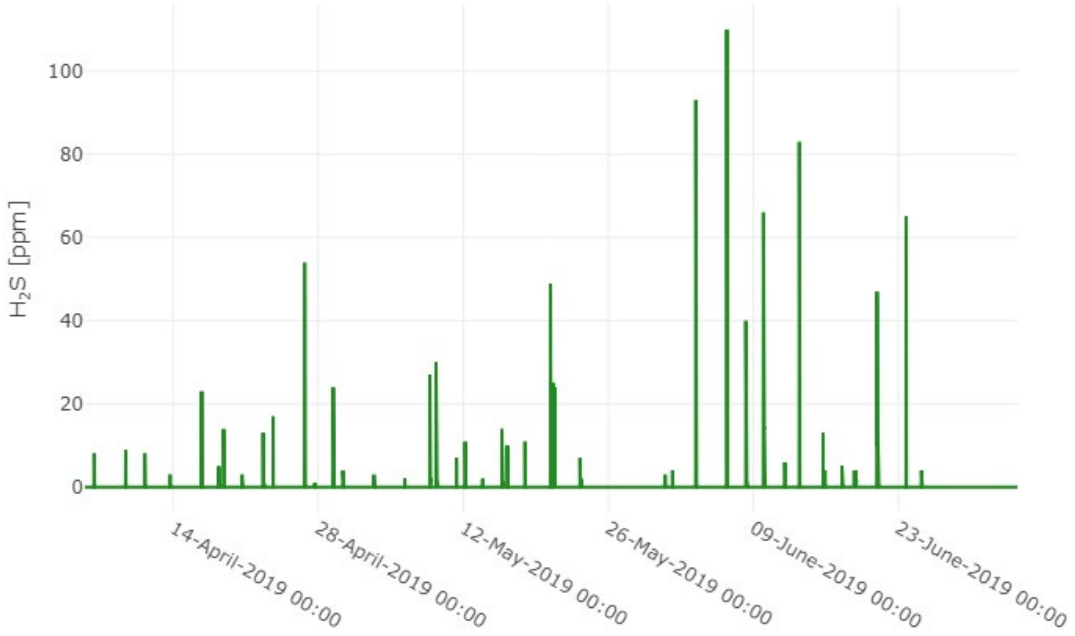
Figur 10: Histografisk repræsentation af svovlbrintetoppenes højde og længde for PST 230

PST 239

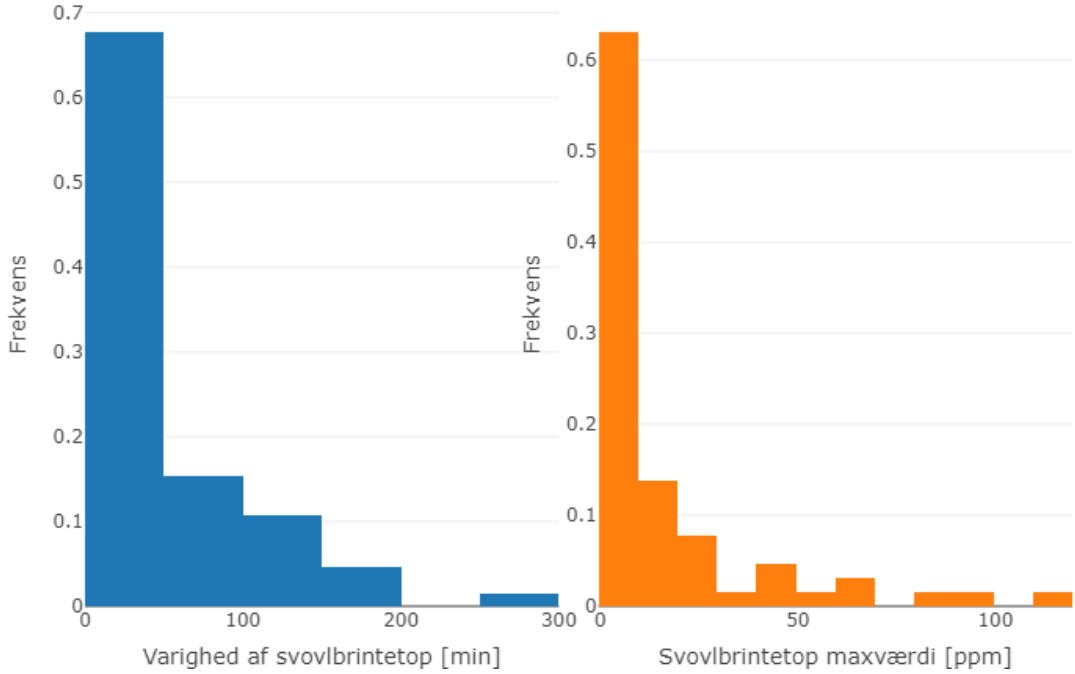
PST 239 ligger vest for Gummerup og modtager spildevand fra enkelthusstande, i hovedparten fra gravitationssystemer, men der er dog en enkelt trykledning tilkoblet dette gravitationssystem. Denne trykledning er 160 m lang ø63. Spildevandet pumpes fra PST 239 mod Gummerup, hvorfra det graviterer i en PVC fælles ledning. Et overblik af området kan ses i figur 11.

Figur 11: Oversigt over området tilknyttet PST 239

Som det ses i figur 12 og figur 13 er der i de fleste tilfælde koncentrationen under 30 ppm, men der måles op mod 100 ppm i de værste tilfælde. Belastningen er dog generelt ikke så konstant, og kun få hændelser er registeret, hvis man sammenligner med nogle af de førnævnte tilfælde.



Figur 12: Målte svovlbrintedata i PST 239



Figur 13: Histografisk repræsentation af svovlbrintetoppenes højde og længde for PST 239

Gravitationsstykket før PST 239, som trykledningen leder til, er udført i PVC, så her er ingen fare for korrosion, dog kan der være korrosion af metal og eldele i PST239, hvis ikke dette er sikret. Derudover kan der være lugtgener for borgerne i området. Der ses dog umiddelbart et større svovlbrintepotentiale i trykledningen efter PST239. Dog er der ikke meget bebyggelse omkring fællessystemet som der afleveres til og dette er udført i PVC, så hverken korrosion eller borgergener synes sandsynlige.

Ud fra denne datagennemgang er to strækninger udvalgt til bekæmpelse med Grundfos Svovlbrinteløsning. Dette beskrives i næste afsnit.

De to valgte strækninger

De to strækninger, der er valgt til bekæmpelse, er systemet med PST225 og PST226, samt det nedstrøms system med PST227, som afleverer spildevandet i udkanten af Glamsbjerg.
Assens Spildevand doserer selv kemikalier på strækningen, men har ikke haft succes med at bekæmpe svovlbrinten. Derudover er en stor del af de modtagende gravitationssystemer, udført i beton, så der er risiko for markant nedsat levetid af disse. Derudover er strækningen med PST 236 og PST 222 udvalgt til forsøg med alternativ bekæmpelse i form af ozon.

Fra Søllested til Graverne:
Fra to pumpestationer, PST225 og PST 226, pumpes til en oppumpningsbrønd ud for Søllestedvej nr. 22. Der er i denne oppumpningsbrønd installeret to loggere til at detailstyre dosingsløsningerne i PST 225 og PST 226. Der er i dette setup ikke tale om et system fra een pumpestation til en opppumpningsbørnd, men et dobbeltsystem, hvilket kan give et problem for styringen af løsningen (se tidligere forklaring). Der er i dette projekt forsøgt at løse denne udfordring ved manual styring af det ene doseringssætpunkt.

Efter oppumpningsbrønden på Søllestedvej graviterer spildevandet til PST 227, hvorfra det pumpes til Graverne i Glamsbjerg. Her er der i en årrække registeret lugt- og korrosionsproblemer. Dette system passer godt til en adaptiv doseringsløsning. Data for de to strækninger fremgår af Tabel 1.

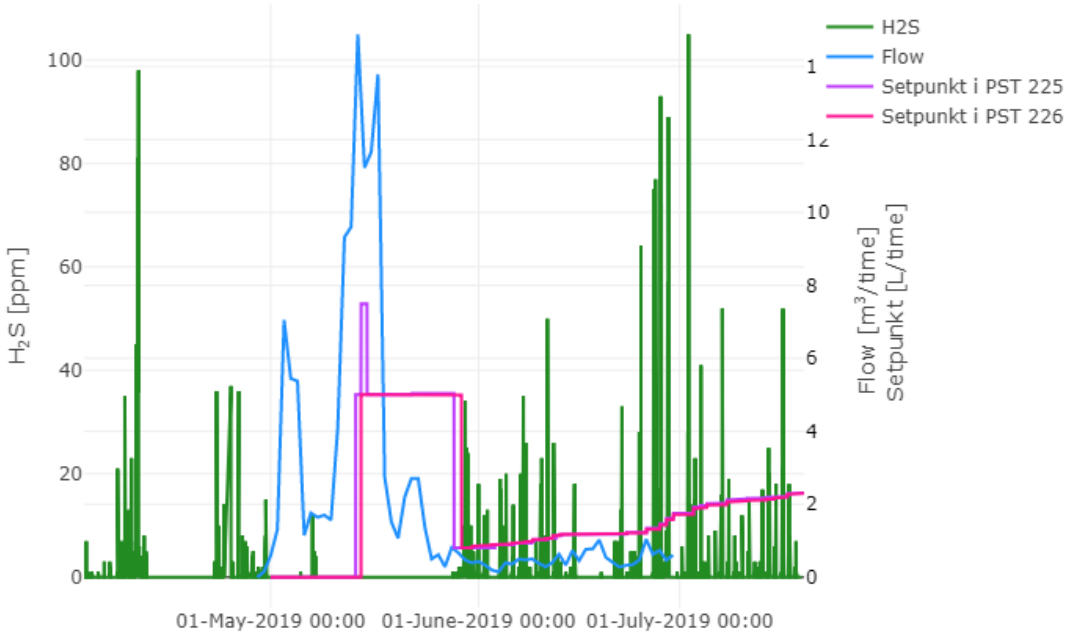
Tabel 1: Data på ledningsstræk til svovlbrintebekæmpelse

	PST 225	PST226	PST227
Flow på basis af vandforbrug (m3/dag)	9,3 m3/d	5,4 m3/d	18,5 m3/d
Modtryk	2,2 bar	Ikke målt, men maks muligt 3,5 bar	2,8 bar
Mængde spildevand	9,3 m3/d	5,5 m3/d	18,5 m3/d
Diameter	Ø125	Ø125	Ø125
Længde fra pst til opppumpningsbrønd	650m	650m	2400m
Opholdstid	5 + 5,5t	8 + 5,5t	23t
Tidligere doseringsniveau (45%Nutrinox)	2m3/år	600L/år	600l/år
Afleverer spildevandet i (her placeres den algoritmestyrende logger)	Oppumpningsbrønd 1 Søllestedvej, ca. ud for kirken	Oppumpningsbrønd 1 Søllestedvej, ca. ud for kirken	Oppumpningsbrønd i Graverne

Som det fremgår af skemaet, er der installeret doseringsløsninger på strækningen, men disse har ikke virket tilfredsstillende for Assens Forsyning, da der ofte har været lugtgener i Graverne og målt værdier betydeligt over hygiejnegrænsen på 10 ppm fra Arbejdstilsynet.

Installeret løsning PST 225 og PST 226

Der er installeret Grundfos Svovlbrinte løsning i PST 225 og PST 226. Standardløsningen er designet til strækninger fra én pumpestation til én oppumpningsbrønd. I dette tilfælde pumpes der fra to pumpestationer som mødes inden de afleverer spildevand i oppumpningsbrønden. Det er derfor en særinstallation. Der er derfor installeret 2 svovlbrinte loggere som hver især styrer doseringen i én pumpestation.

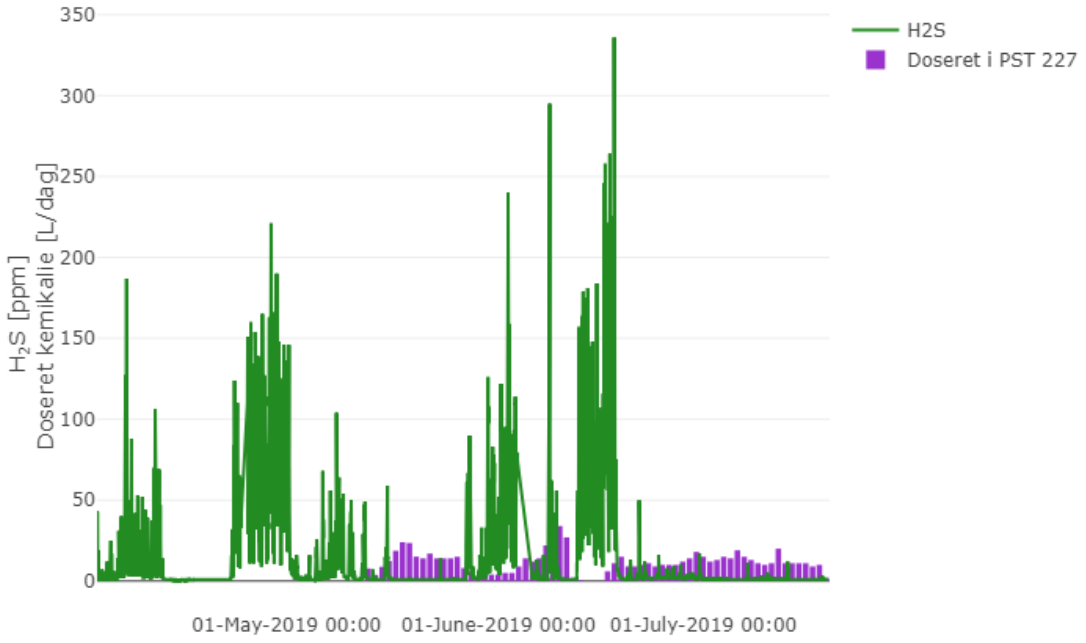


Figur 14: Svovlbrintedata og doseringssetpunkter for PST 225 og PST 226

Det ses at doseringssætpunktet stiger igennem den sidste periode og kemikaliet har ingen effekt på svovlbrintekoncentrationen.
Dette site går ud over normen for hvor løsningen installeres, da der her er 2 pumpestationer der pumper til samme oppumpningsbrønd. I dette tilfælde ser det ud til at parametrene skal justeres da der ikke bliver skruet hurtigt nok op for kemikaliedoseringen. Den store udfordring her er at det ikke har været muligt at splitte H_2S signalet til de to pumpestationer. Dette er et problem ift. den relative doseringsmængde. Når der ses på spildevandsmængden er denne langt større i PST 226 end PST 225. Samtidigt modtager de den samme dosis kemi, og den relative doseringsmængde vil derfor være lavere i ledningen tilhørende PST 226. Det er derfor mest sandsynligt at det er denne ledning der giver problemer.
For at kunne løse dette problem i fremtiden, vil det kræve at splitte H_2S signalet så hver enkelt doseringsstation kan styres individuelt.

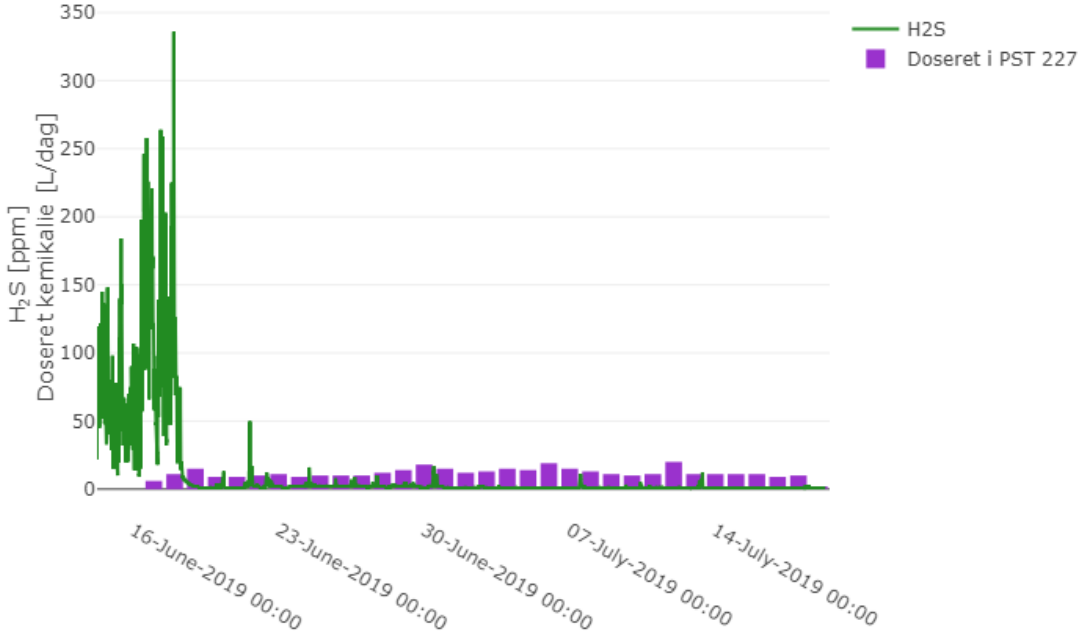
Installeret løsning PST 227

I PST 227 blev der også installeret Grundfos Svovlbrinteløsning. Denne styres af svovlbrintelogger, der hænger i oppumpningsbrønden i Gravene. Der doseres samme kemikalie (Nutriox), som tidligere. I figur 15 ses resultatet af doseringen.



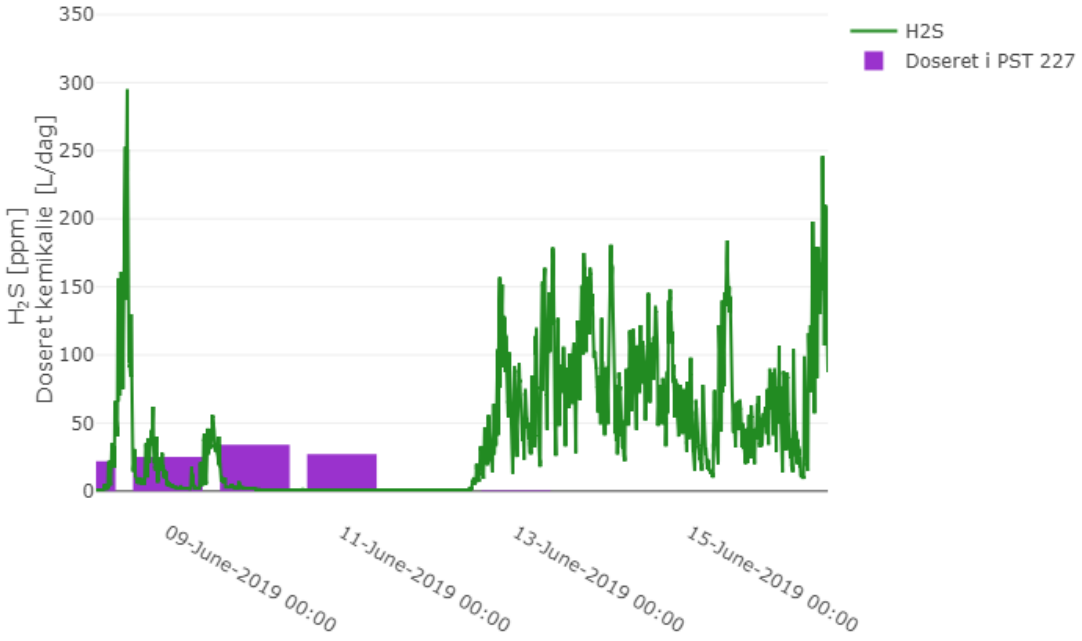
Figur 15: Svovlbrinte målinger og doseringsmængder for PST 227

Overordnet ses, det at svovlbrinten kommer i perioder med målinger på mod 350 ppm. Doseringen blev aktiveret i starten af maj, indikeret med doseringsmængderne i figuren. Hvis der ses på den sidste periode fra 16 juni og frem ses det, at svovlbrinten undertrykkes i denne periode. Der blev målt en enkelt svovlbrinte top med en koncentration på 50 ppm, men derudover lå alle målinger under 20 ppm. Dette kan ses i figur 16.



Figur 16: Sidste del af doseringsperioden for PST 227

Det ses yderligere at kemikalietanken løb tør d. 12 juni. Efter denne hændelse kom svovlbrinten hurtigt tilbage med en konstant belastning. Dette ses i figur 17.



Figur 17: Eksempel på tørlagt kemikalietank

Hvis der ses på de doserede kemikaliemængder i testperioden, kan det ses, at forbruget er højere end hvad Assens Spildevand tidligere har doseret. Der blev doseret over 66 dage. På nær perioden, hvor kemitanken løb tør, har løsningen på strækningen fra PST 227 til Gravene fungeret tilfredsstillende og med en bedre bekæmpelse af svovlbrinte end ved Assens løsning.

Tabel 2: Oversigt over doserede kemikaliemængder i de forskellige pumpestationer

Pumpestation	Doseret mængde	Doseret mængde
PST 225	211 L	3,2 L/dag
PST 226	365 L	5,53 L/dag
PSt 227	787 L	11,92 L/dag

Konklusion på dobbeltstyringer i PST 225 og PST226 samt Graverne

Det er ikke lykkedes at lave en styring der entydigt bekæmper svovlbrinte produktionen i ledningerne fra PST225 og PST 226. Der er dog en række En mulig løsning fremadrettet kunne være at eksperimenter med en splitning i svovlbrintesignal fra oppumpningsbrønden, enten som en ændringer af den fysiske installation så der ikke afleveres i samme opppumpningsbrønd, eller en cloud-løsning, hvor der kobles pumpedrift med forekomst af svovlbrinte i oppumpningsbrønden. Første løsning vil formodentligt være den nemmeste at implementere.

For Graverne, dvs. i oppumpningsbrønden fra PST227, er der eftervist effektiv bekæmpelse af svovlbrinte. Dog er det sket med et større kemiforbrug. Dette er et udtryk for, at driften tidligere har fokuseret på en minimering, ikke fuld eliminering af svovlbrinte. Den er opnået i dette setup og der er vist hvilken pris, der

kan forventes for fuld eliminering. Over en længe periode, hvor der er kemi på systemet, vil der muligvis kunne opnås en lavere dosis, da algoritmen i Grundfos Svovlbrinte Løsning vil nedregulere dosis. Dette er ikke sket, da der har været gentaget kemimangel, som udløser et initial kemibehov for at opnå fuld bekæmpelse. Om en lavere dosis kan opnås ved at køre med løsningen i en længere periode, er uklart pt.

Datapakke

Datapakkerne med svovlbrinte data indeholder rådata fra hver af de viste pumpestationer i dette dokument. Rådata består af svovlbrintedata og tidsstempel. Derudover er der fundet peaks af svovlbrinte for disse rådata som også indgår i samme datasæt. Derudover findes en oversigt fra hver pumpestation hvor hver enkelt peak er beskrevet med, max-, median-, middelværdi og længde.

Kontakt

Finn Dalsgaard Nielsen, sælger i Grundfos Danmark.
fdnielsen@grundfos.com
Mobil telefon: +45 30 53 67 73

Ulrik Faaborg Glerup, Styrings ekspert i Grundfos Danmark.
uglerup@grundfos.com
Mobil telefon: +45 51 44 95 12

Christian Schou, Applikations manager i Grundfos Holdning
cschou@grundfos.com
Mobil telefon: +45 24 85 57 44

Bilag AP1-5: Svovlbrinte – Påvisning af doseringseffekt

KRÜGER VEOLIA

HEPWAT

Bilag, AP1-5

Svovlbrinte - Ny metode til effektvurdering

August 2019

WATER TECHNOLOGIES

HEPWAT

Bilag, AP1-5

Svovlbrinte - Ny metode til effektvurdering

Udarbejdet af: Jan Egelund Andersen

Kontrolleret af: Mikkel Mühle Poulsen / Alex Torpenholt Jørgensen

Udgave: 0

Ordrenummer:

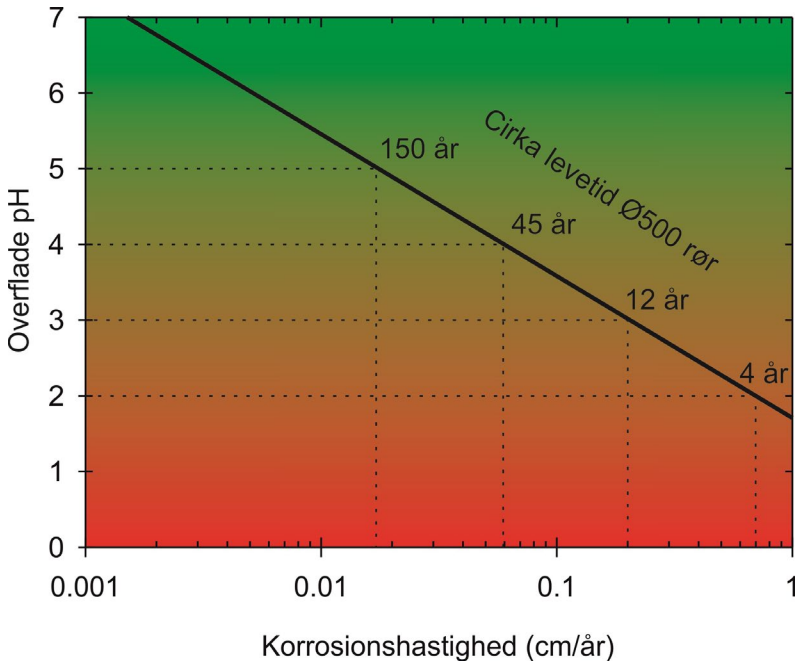
Indholdsfortegnelse

1. Baggrund 2
2. Metode 4
3. Placering 5
4. Opstilling 6
5. Gennemførelse 7
6. Konklusioner 12
7. Perspektiver for indikatormetode 13

1. Baggrund

Svovlbrinte på gasform [H_2S] giver næring til sulfidoxiderende bakterier der lever i biofilmen på indersiden af brønde og kloakrør, over vandspejlet. Bakterierne oxiderer H_2S til svovlsyre [H_2SO_4]. Den dannede svovlsyre virker stærkt korroderende på beton og metal.

Korrosion i betonrør og -bygninger er et stort og dyrt problem i spildevandsbranchen da det kan forringe anlæggenes levetid voldsomt. Der er en direkte sammenhæng mellem syrepåvirkningen af betonoverflader og korrosionshastighed og dermed restlevetid



Figur 1: Sammenhæng mellem pH og korrosionshastighed.

Ovenstående Figur 1 viser hvor mange cm der årligt korroderer bort ved forskellige niveauer af overflade pH. Allerede ved en overflade-pH på 3 vil den årlige korrosion være større end 1 mm/år og ved overflade-pH under 1 forsvinder mere end en cm årligt.

Korrosion forårsaget af svovlbrinte er et voksende problem i spildevandssystemerne, hovedsageligt pga. forsyningsselskabernes forøgede arbejde med centralisering og separering af spildevandet.

Svovlbrinten produceres kun under iltfrie forhold og hvor der er letomsætteligt organisk stof til stede. Som følge af centralisering af spildevandsrensningen, hvor de små renseanlæg nedlægges og vandet pumpes ind til store centrale anlæg, vil spildevandet opholde sig under iltfrie forhold i trykledningerne i lange perioder. Separering af spildevandssystemerne, hvor regnvandet skilles fra spildevandet, forøger koncentrationen af letomsætteligt organisk stof i spildevandet. Kloakering af ejendomme i

det åbne land og etablering af små husstandspumpestationer afstedkommer både koncentreret spildevand samt lange opholdstider under iltfrie forhold.

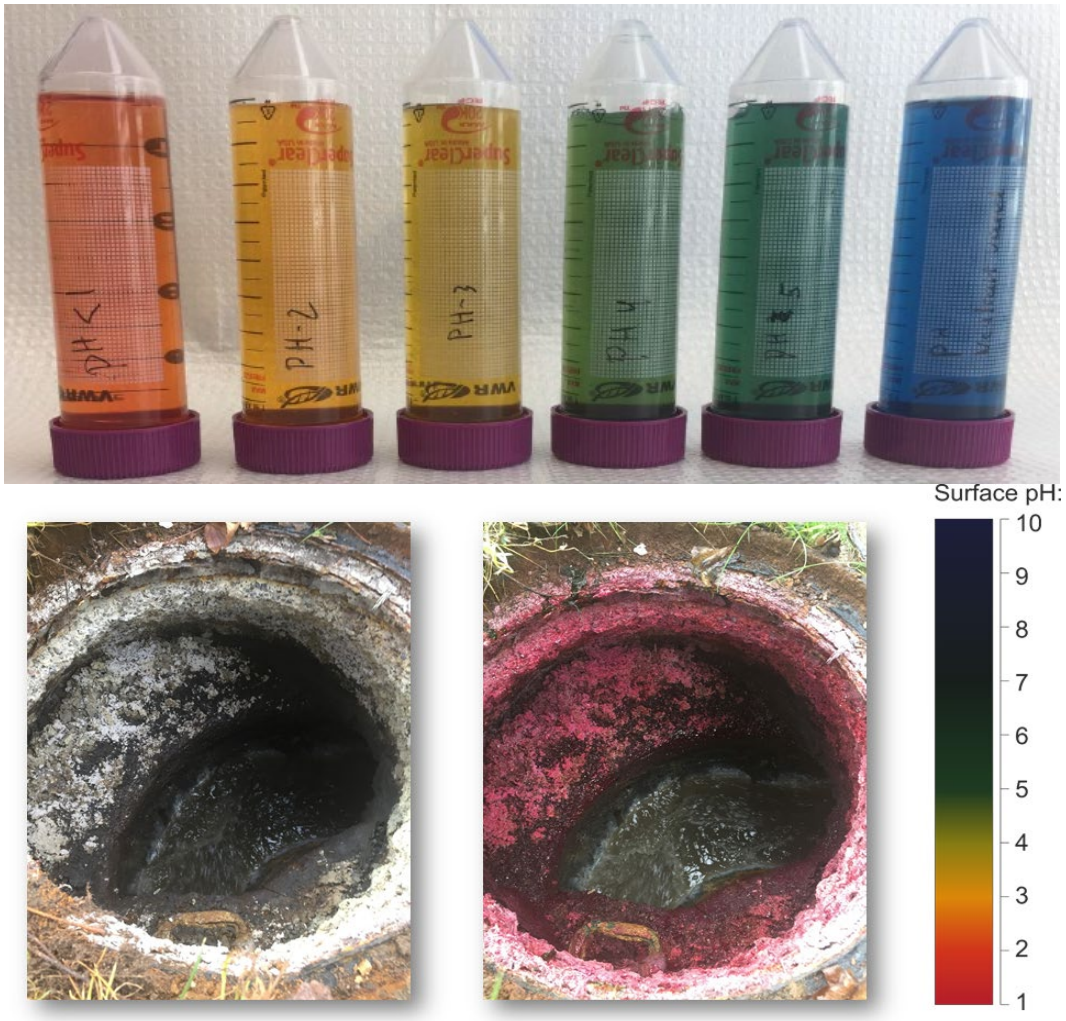
Ved at dosere kemikalier til spildevandet ved en opstrøms pumpestation er det muligt at reducere dannelsen af svovlbrinte i trykledningen og dermed få frigivet mindre svovlbrintegas i den oppumpningsbrønd som stationen pumper spildevandet frem til. Den reducerede svovlbrinteproduktion vil så resultere i mindre syreproduktion og dermed mindre korrosion.

Grundfos skal i HEPWAT-projektet opstille anlæg til dosering og styring af kemikalietilsætningen.

Til eftervisning af effekten af Grundfos' doseringssystem, var det planlagt at undersøge pH-værdien på overfladen af oppumpningsbrønden nedstrøms doseringsstedet, da en lavere produktion af svovlbrinte vil betyde en reduceret dannelse af syre og dermed en højere pH-værdien på brøndens overflade.

2. Metode

Ved at påsprøjte en specialudviklet indikatorvæske på brøndens overflade vil denne øjeblikkeligt tage entydigt farve efter overfladens pH-værdi og give et nemt-aflæseligt billede af syrepåvirkningen. Også evt. lokale forskelle i pH-værdi vil være lette at observere med det blotte øje.



Figur 2: Gennemløbsbrønd før og efter påspraying af indikatorvæske.

Indikatorvæsken er aktiv i op til flere måneder og ændringer i overfladens pH-værdi vil kunne observeres som et øjeblikkeligt farveskift. Ved at installere et kamera i brønden, som filmer den sprayede brøndoverflade vil disse farveskift kunne registreres og dokumenteres. Effekten af Grundfos' kemikaliedosering ville således kunne dokumenteres visuelt på en film.

3. Placering

Grundfos har planlagt at dosere ved pumpestation Pst227, Søllestedvej 4. Denne station modtager hovedsageligt spildevand fra to tryksatte systemer af små husstandsstationer spredt i det åbne land – et systemdesign som typisk giver anledning til stor produktion af svovlbrinte pga. lange opholdstider under anaerobe forhold. Endvidere pumper Pst227 vandet videre igennem en 2,5 km lang trykledning til en oppumpningsbrønd ved indløbet til pumpestation Pst228, Graverne. Det er således ved Pst228 at den dannede svovlbrinte vil blive frigivet og det er her der er de bedste muligheder for at detektere en effekt af kemikaliedosering. Derfor foretages forsøgsopstillingen her.

Assens Forsyning foretager i forvejen svovlbrintemåling på Pst228 (se Figur 3). På et måleudtræk fra oktober 2018 vises værdier for svovlbrintekoncentrationen på over 300 ppm, hvilket er 60 x den hygiejniske grænseværdi på 5 ppm. Det må formodes at koncentrationerne er større i sommermånederne hvor den varmere temperatur skaber øget biologisk aktivitet og dermed svovlbrintedannelse.

Figur 3: Svovlbrintemålinger i Pst228.

4. Opstilling

Oppumpningsbrønden ved graverne er af PE og ikke beton. Metoden til påvisning af overflade-pH er udviklet til beton og ikke velegnet til PE-overflader. Det var derfor nødvendigt at etablere et nedhængt stykke beton i brønden som substitut for en brøndvæg af beton. Til dette formål blev anvendt et stykke af et brugt betondæksel der tidligere havde ligget over en spildevandsbrønd. Betonstykket blev før nedhængning sprayet med indikatorvæske.

Overfor det nedhængte betonstykke blev der monteret kamera som blev indstillet til at optage ét billede af betonstykket hvert 10. Minut. De enkelte billeder skulle så senere sammensættes til en film (Timelaps) der vil vise farveforandringen på betonoverfladen over tid.

Der blev endvidere installeret et LED-spot i brønden så den nødvendige lyssætning var til stede for kameraoptagelserne.

5. Gennemførelse

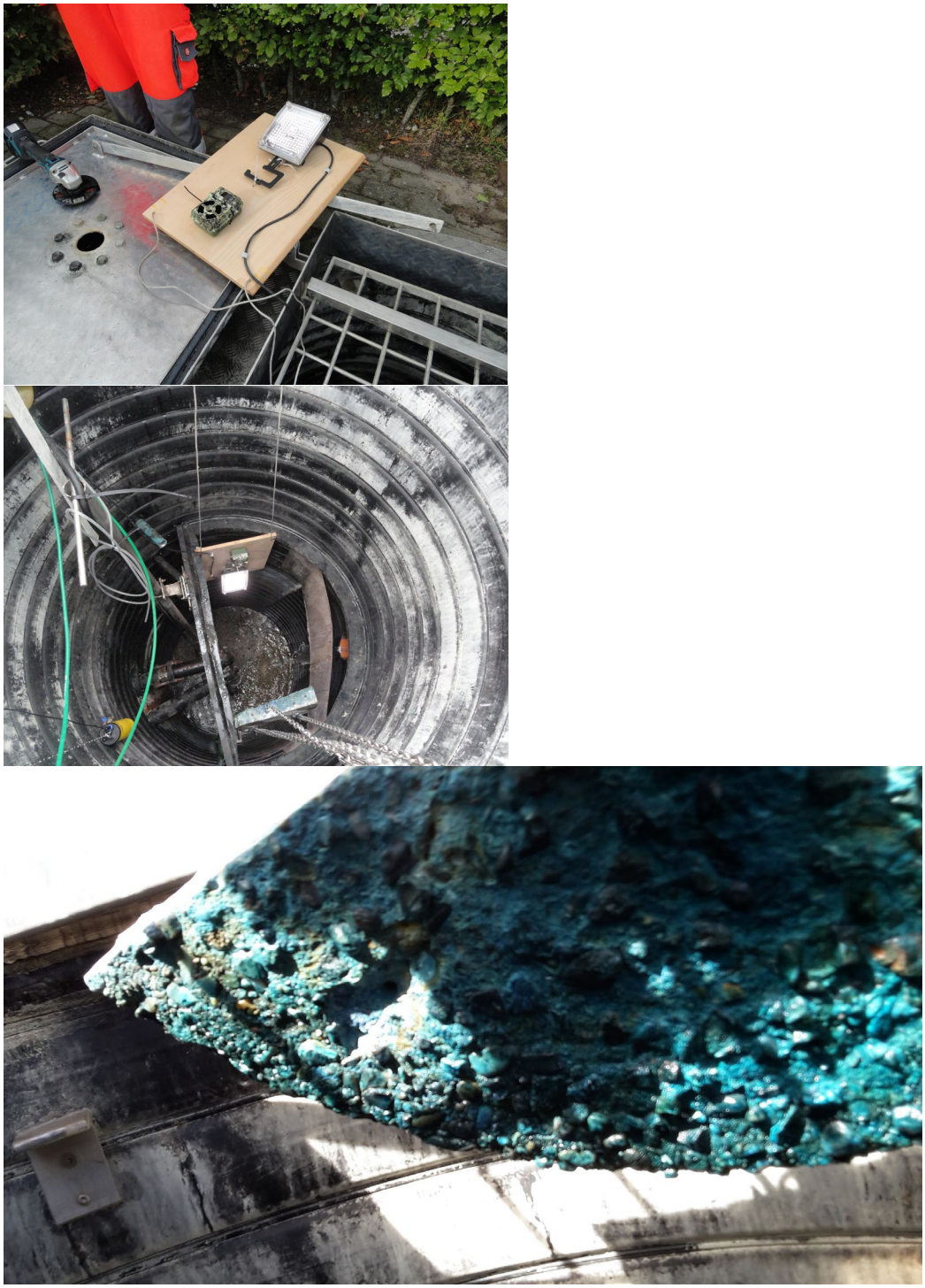
3. juni 2018

Det var oprindelig planlagt at Grundfos skulle opstarte kemikaliedoseringen i september 2018. Da betonstykket ikke fra start kunne forventes at have den nødvendig biofilm med sulfidoxiderende bakterier blev dette ophængt et stykke tid inden doseringsstart, således at en aktiv biofilm kunne opbygges.

Figur 4: Betonklods ophænges i oppumpningsbrønd 3. Juni 2018.

10. september 2018

Kemikaliedosering ej påbegyndt. Betonklodsen blev påsprayet indikator væske og et vejrbestandigt kamera og spot blev installeret i oppumningsbrønden.



Figur 5: Billeder af forsøgsopstilling.

Betonklodsens farve efter spraying viser en neutral pH-værdi på 7. At overfladen ikke viser lavere pH-værdi i det stærkt svovlbrintepåvirkede miljø skyldes sandsynligvis at biofilmen endnu ikke er etableret samt at betonens naturlige alkaliske egenskaber stadig fungere som buffer overfor en evt. syrepåvirkning.

9. oktober 2018

Kemikaliedosering ej påbegyndt. Kamera tilses og det konstateres at det er ødelagt, formentlig pga. en måneds ophold i det hårde miljø i brønden. Det er ikke muligt at rekonstruere evt. optagelser på kameraet hukommelseskort.
Betonklods sprayes med indikatorvæske og ophænges påny i brønden. Nu uden kamera.

Figur 6: Farvespektret på betonklodsens overflade viser en begyndende forsuring på pH 3-4 og på lokale områder 2.

29. oktober 2018

Kemikaliedosering ej påbegyndt. Betonklods gen-sprayes og nyt vandtæt kamera installeres.

Figur 7: Betonklodsen har stadig neutrale områder men også områder med pH i nærheden af 1.

27. november 2018
Kemikaliedosering ej påbegyndt. Kamera tappes for time-laps billeder og den fremkomne film optaget over den sidste måned, viser tydeligt en ændring af farvespillet ned over betonklodsens overflade, hvor store dele af de neutrale områder ændrer pH til 1 - 2.

4. december 2018
Kemikaliedosering ej påbegyndt. Betonklods gensprayes og kamera genopstilles.

Figur 8: Betonklods før og efter genspraying. Den lave pH-værdi angiver at klodsen er under kraftigt syreangreb.

På dette tidspunkt er der etableret fuld biofilm på betonklodsen og der er kommet brugbar timelaps-film ud af kameraet. Forsøgsopstillingen er altså klar til at registrere ændringer i svovlbrintekoncentrationen Grundfos har på dette tidspunkt endnu ikke opstartet deres kemilkaliedosering, men det bliver oplyst at Assens Forsyning doserer med svovlbrintereducerende kemikalier opstrøms oppumningsbrønden.

Der tilrettelægges nu en måleserie hvor kameraet filmer betonklodsen i en periode på 14 dage hvor Assens Forsyning fortsætter doseringen som hidtil. Herefter stoppes doseringen og den genoptages efter en uge. Hypotesen er at man på timelaps-filmen vil kunne registrere en forøget svovlbrintekoncentration som følge af doseringsstoppet, som en farveændring på betonklodsen. Herved vil målemetodens formodede hurtige reaktion som følge af udsving i svovlbrintekoncentration, kunne eftervises.

23. januar 2019

Forsøgsopstilling besigtiges og det konstateres at LED-spottet ikke længere fungerer, hvilket betyder at kameraet ikke har optaget billeder, da det er indstillet til kun at optage ved tilstrækkelig belysning. Herefter indstilles forsøget.

Figur 9: Billede til venstre viser betonklodsen optaget af oppumningsbrønden 7 uger efter sidste spraying, og billedet til højre viser klodsen efter fornyet spraying.

6. Konklusioner

Det var ikke muligt at afprøve metoden i sammenhæng med Grundfos' doseringsløsning, da denne ikke blev etableret i prøveperioden.

Det kræver godt kapslet udstyr at foretage målinger, som løber over så lang tid i det pågældende spildevandsmiljø. Udstyr med kommunikation vil være at foretrække så udfald hurtigt opdages.

Med robust udstyr er det muligt at fremstille forcerede optagelser (time-laps) af selv små ændringer i overflade-pH. Det er således sandsynliggjort at metoden vil kunne bruges til eftervisning af effekt af dosering

Hypotesen om at biofilm først skal etableres/betons bufferkapacitet opbruges inden der opstår syreangreb, er eftervist.

Syreangreb foregår ikke ens over hele betonoverfladen. Farveforskellen hen over overfladen = forskel i pH-værdi opstår sandsynligvis fordi kondenseret vanddamp skyller den dannede svovlsyre væk.

Indikatorvæsken har stor holdbarhed eftersom der efter 7 uger kun er marginal farveforskel ved fornyet spraying.

7. Perspektiver for indikatormetode

Den metode der i forsøget er anvendt til at påvise svovlbrintens korrosive effekt på beton er udviklet af Aalborg Universitet og DANVAs svovlbrintenetværk. Udviklingen af metoden var drevet af ønsket om at få et enkelt, billigt og nemt brugbart redskab til at eftervise om betonrør, -brønde og -bygværker er udsat for svovlbrinteangreb, og i hvilket omfang.

Sædvanligvis anvendes gasmålere til at logge svovlbrintekoncentrationerne i de enkelte spildevandsanlæg, hvilket er uvurderligt når der er brug for historisk visning af koncentrationsvariationer på præcis det sted den er ophængt. Disse målinger siger imidlertid ikke noget om hvor og hvor meget af gassen der faktisk omdannes til syre og dermed reducerer betonens levetid. Ved anvendelse af indikator-metoden synliggøres dette. Med metoden er det også muligt at opdage helt lokale områder af betonoverfladen som er under syreangreb

Metoden viser tydeligt syrepåvirkning, også inden betonen ellers viser synlige tegn på korrosion. Det er herved muligt at foretage forholdsvis enkle afværgetiltag før betonen bliver angrebet i en grad så den konstruktionsmæssigt er svækket. Med metoden er det også muligt at bestemme betonens restlevetid så en evt. sanering mere præcist kan planlægges og indgå i en samlet saneringsplan for spildevandsselskabets spildevandsanlæg.

Der investeres årligt milliarder af kroner i renovering og nyanlæg af spildevandsystemer og problemerne med svovlbrinterelateret korrosion vil forventeligt stige i samme takt hvis der ikke laves forebyggende tiltag. Den anvendte metode med pH-måling af betonoverflader forhindrer ikke i sig selv at betonen bliver ødelagt af svovlbrinte, ligesom

måling og logning af svovlbrintekoncentrationen heller ikke gør de. Metodens styrke ligger i, at den kan anvendes til en hurtig screening af et helt spildevandssystem, til kortlægning af hvor stort problemet med svovlbrinterelateret korrosion er. Herefter kan der så foretages en målrettet indsats for at reducere problemerne.

Krüger rådgiver mange spildevandsselskaber omkring udformning og sanering af spildevandssystemer, og metoden indgår som et vigtigt redskab i målekampagner når der skal laves forundersøgelser i forbindelse med saneringsplaner. Metoden ses som et hurtigt, pålideligt og letaflæseligt supplement til måling og logning af svovlbrintekoncentrationen med konventionelle målere.

Bilag AP1-6: H2S bekæmpelsesforsøg med UV-lampe

Løsning og resultater på UVC på Kirke Søbyvej

Fra PST 236 til PST 222 på Kirke Søbyvej pumpes der ca. 1 m^3/d. Der er ret massive problem i den ø63 335 m lange ledning, da der er en opholdstid på ca. 16 timer. En doseringsløsning vil være omkostningstungt i installationsudgifter og siden en et ret stort kemiforbrug/m3, grundet den store opholdstid.

Som et alternativ til en doseringsløsning, der som skrevet bliver for omkostningstungt, er valgt at teste en ny løsning til bekæmpelse af svovlbrinte med en UV-C-lampe fra JIMCO. Der er vedlagt et bilag på produktet. Løsningen er installeret efter leverandørens anvisninger.

Figur 1: Billeder af installationen på Kirke Søbyvej ved PST 222.

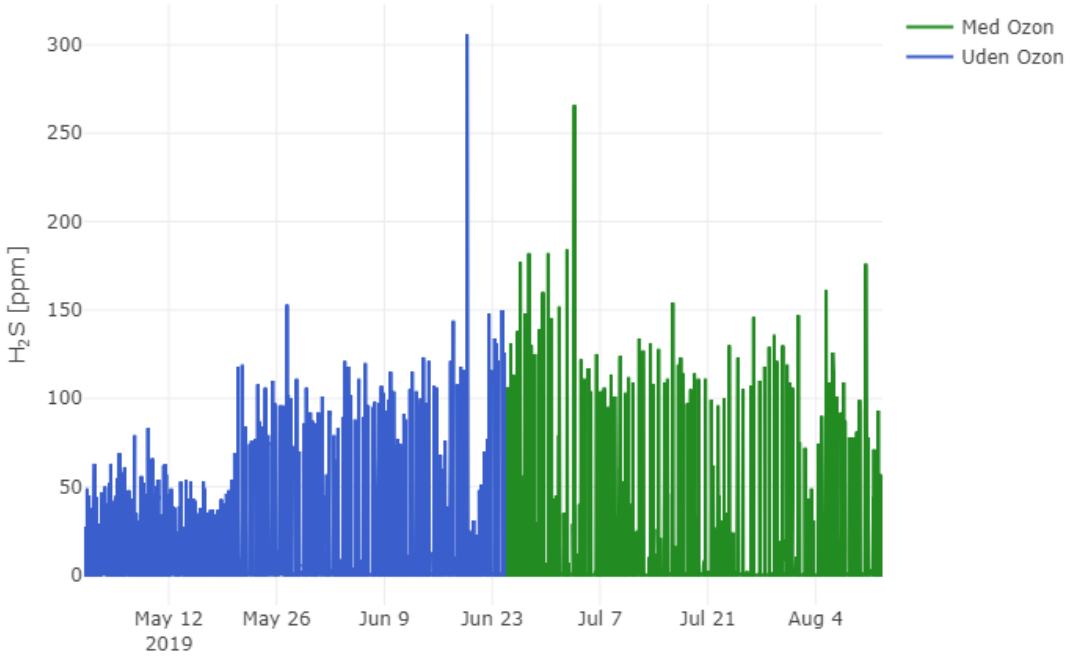
På figur 1 ses et billede af selve stationen på Kirke Søbyvej og det åbne skab med UVC-lampen. En lille, laveffekt UVC-lampe, siddende på siden af stålrøret, producerer ozon på basis af luftens ilt- og fugtindhold, UVC lys exiterer iltmolekyler, så en reaktion mellem iltmolkylet i vand overføres til $\cdot O_2$ og der dannes ozon. Herefter ledes ozon ned i pumpebrønden. Her er det tanken, at den producere ozon skal oksisdere svovlbrinte, så der ikke opstår lugt- eller korrosionsgener fra produceret H2S.

Ozon er tungere end luften i brønden, så der dannes en dyne af ozon over det stående spildevand i pumpebrønden når der ikke er flow ind i stationen. Ved flow ind, altså når der pumpes fra pst 236 til PST222, forventes en opblanding af ozon og den frigivne H_2S.

Effekten af løsningen moniteres med den sammen logger, som der har været anvendt til dokumentation af svovlbrinteproblemets omfang. Den er opsat over det niveau i brønden, hvor der tilledes ozon.

Der kan læses mere om dannelsen af ozon på Jimcos hjemmeside og findes et produktblad her: https://www.multicleanair.nl/documents/jimco_hs_purifier.pdf

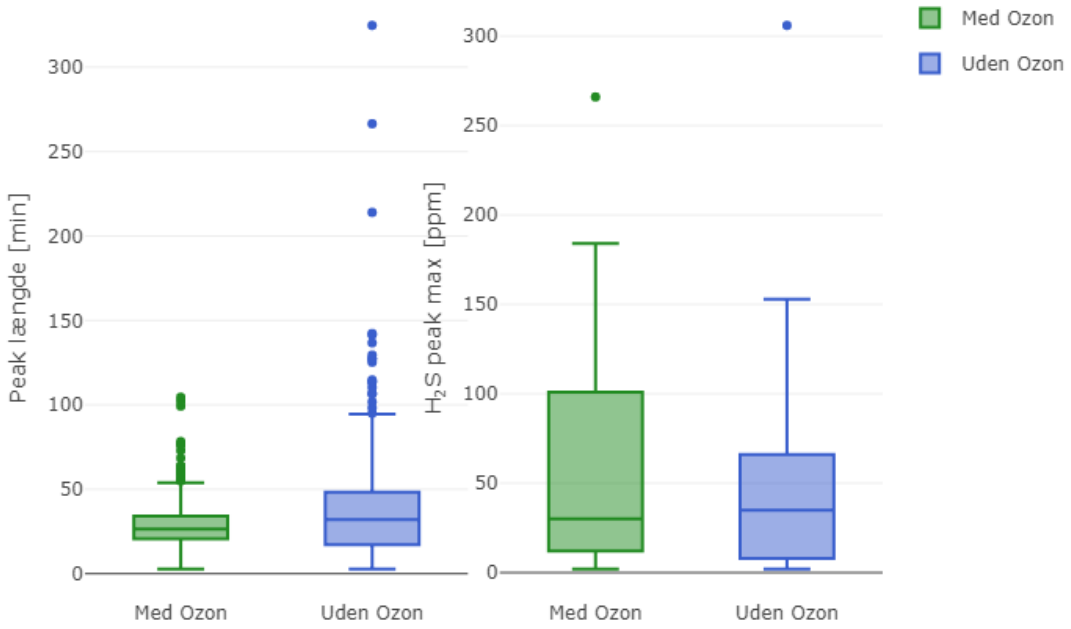
Resultater
Testen har kørt fra den 24-6-2019 og fremad. I figur 2 ses målingerne udført med og uden ozon behandlingen fra ca. 1-5-2019 til 13-8-2019.



Figur 2: Svovlbrinte målinger udført med og uden ozon behandling

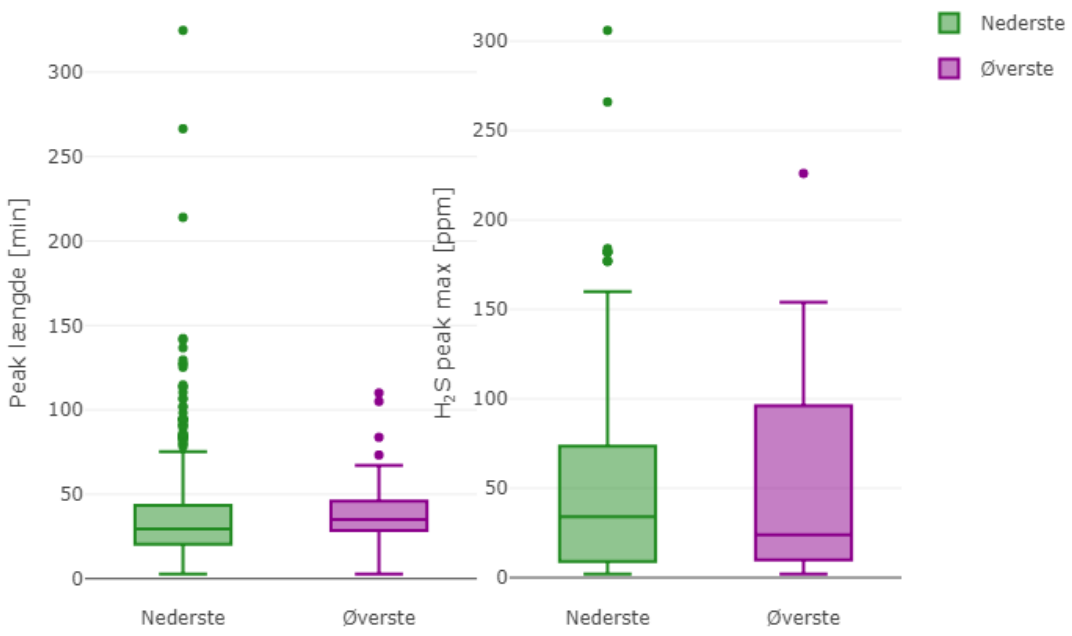
I figur 2 ses blå værdier for normal drift uden ozon og grønne værdier, hvor ozonbehandlingen er aktiveret. Der ses i hele perioden forskellige niveauer af svovlbrinte, perioder med henholdsvis ca. 50, 100 og 150 ppm frigivet H_2S. Om disse ændringer skyldes mindre vandmængder, resulterende i øget opholdstid eller en stigning i temperatur i brønden og dermed øget andel på gasform af svovlbrinte (se Grundfos hjemmeside for uddybende forklaring), er ikke klarlagt i dette projekt.

Der er foretaget vurdering af effekt på to måder. Første mål benævnes længde af en forekomst. Hvis der i 1min15sek måles over 2 ppm registreres, hvor længe der er over 2 ppm herefter. Andet mål er den største peak i disse perioder. I figur 3 ses to boxplots af længden af forekomst af H_2S og maximale værdier af H_2S for hver enkelt peak.



Figur 3: Boxplot for varighed af svovlbrinteforekomst og maximal peaks af H_2S. Boksen angiver kvartilerne af målte værdier, stregen i boksen median. De viste prikker er outliers.

Som det kan ses er der tilbøjelighed til at svovlbrintetoppene får en kortere varighed med ozonbehandlingen aktiveret. Der ses dog også generelt højere maksværdier af svovlbrinte i perioden.
Det er altså ikke entydigt udfra testene, at ozonbehandlingen har en effektiv reduktion af svovlbrinte i brønden. For at undersøge dette yderligere blev der installeret endnu en svovlbrintelogger i toppen af brønden for at undersøge om ozonbehandlingen forhindrer svovlbrinte i at komme ud af brønden og derved skabe lugtproblemer



Figur 4: Boxblot for varighed og maksimum værdi af peaks af svovlbrinte.

Som det ses i figur 4 er der ingen signifikant forskel på den øverste og nederste logger.
Det har derfor hverken været muligt at vise en reduktion i svovlbrintekoncentration nede i brønden eller i toppen af brønden, og det kan derfor ikke bevises at ozonbehandlingen har haft en gavnlig effekt.

Konklusion

Der er i forsøgsperioden en stor variation i produktion af svovlbrinte i pumpebrønden. Der er ikke tilskrevet en præcis grund til denne variation i dette projekt.

Der kan ikke ses nogen betydelig effekt af ozon på målinger fra dette projekt.

Datapakker

Datapakkerne med svovlbrinte data indeholder rådata fra hver af de viste pumpestationer i dette dokument. Rådata består af svovlbrintedata og tidsstempel. Derudover er der fundet peaks af svovlbrinte for disse rådata som også indgår i samme datasæt. Derudover findes en oversigt fra hver pumpestation hvor hver enkelt peak er beskrevet med, max-, median-, middelværdi og længde.
Yderligere fremgår der for testen med ozon tilsætning også information om hvornår ozontilsætnignen har været aktiv

Kontakt
Finn Dalsgaard Nielsen, sælger i Grundfos Danmark.
fdnielsen@grundfos.com
Mobil telefon: +45 30 53 67 73

Ulrik Faaborg Glerup, Styrings ekspert i Grundfos Danmark.
uglerup@grundfos.com

Mobil telefon: +45 51 44 95 12

Christian Schou, Applikations manager i Grundfos Holdning
cschou@grundfos.com
Mobil telefon: +45 24 85 57 44

AP1-7 Effektiv styring af pumpestationer

Målsætningen i HEPWAT var oprindelig at optimerer driften af 10 pumpe stationer i Gummerup afløbssystem, dette skulle ske ved udskiftning og renovering af pumper, pumpe stationer og styringer. Gennem gennemsyn af Gummerup installationerne viste det sig at udstyret i Gummerup var af en høj standard, hvorfor det ikke gav mening at renoverer pumpe stationerne.

Konklusionen blev at opdaterer pumpestationer voldtofte med pumper og styring på stationen, samtidig med at voldtofte blev valgt til at vise samstyring af renseanlæg med afløbssystemet. Yderligere viste det sig at være smart for projektet at udskifte nogle af styring for at sikre flere operationelle data op i scada. Dette betød at vi installerede 3 nye simple controllers fra Grundfos, som desværre ikke er kommet på SCADA endnu pga versions opdatering af SCADA. Yderligere har vi installeret 10 Dedicated Controller – Grundfos advanceret pumpestyring, disse er installeret pga styring af flow til renseanlægget, svovlbrinte bekæmpelse algoritmen og pga energi optimal drift punkter.

På PST Voldtofte er pumpestyringen udskift i marts måned med en Grundfos Dedicated Control med den hensigt at kunne styre tilløbet til Gummerup Renseanlæg, ved hjælp af det monterede spjæld. Spjældstyringen der er placeret før pumpestationen udføres til daglig af Krüger via et 0-10V signal.

I følgende 2 nødsituationer overstyrer Dedicated Control spjældet:

Såfremt styringen taber forbindelsen til SCADA åbnes for spjældet.
Registreres et overløb i pumpebrønden lukkes for spjældet.
I tilløbsbassinet til pumpestationen er monteret en Grundfos mixer, desuden er monteret en niveautransmitter. Informationer om niveauet sendes til SCADA og Kruger benytter dette signal i deres håndtering. Dedicated Control håndterer styring af mixeren og informationer sendes ligeledes til SCADA.

Desuden er pumpestyringen udstyret med 2stk Grundfos frekvensomformerer (CUE) dermed er det muligt at benyttes de funktioner der som standard ligger i styringen for energioptimering og avanceret flowberegning.

I forbindelse med energioptimering, ligger der nogle standardfunktioner for optimering mod tilstopninger disse skyllefunktioner samt automatisk reversering af pumperne er pt ikke aktiveret, dette skyldes ønsket om at kunne styre pumperne på normal vis, og for at give Krüger tid til deres del af indkøringen.

De nye pumper i brønden er fristrøms løber / Vortex løber, så dermed er der ingen problemer med f.eks. rystelser ved evt. reverset drift at pumperne.

Det har efterfølgende vist sig at det ikke er nødvendigt at aktiverer funktionerne, da der ikke er observeret tilstopninger af pumperne.

Styringen beregner både tilløbsflow og afgangsflow, disse sendes til SCADA, se figur 1

Figur 1 Billede af installation i Voldtofte PST 219

Lineær regulering

"Lineær regulering" vælges når pumpens omdrejningshastighed skal reguleres i forhold til tilløbet til brønden. Når tilløbet tillader pumpen at køre ved "Økonomifrekvens", vil pumpen køre ved denne frekvens og regulere frekvensen hvis tilløbet ændres.

Vælg økonomiparametre:

- Økonominiveau
- Maks. Økonominiveau
- Økonomifrekvens.

Ved "Økonominiveau" vil pumpen køre ved "Økonomifrekvens" og rampe frekvensen op hvis tilløbet øges.

Ved "Maks. økonominiveau" vil pumpen køre ved maks. frekvens. Når niveauet er lavere end "Maks. økonominiveau", vil pumpen rampe ned indtil "Økonominiveau" er nået, se figur 2.

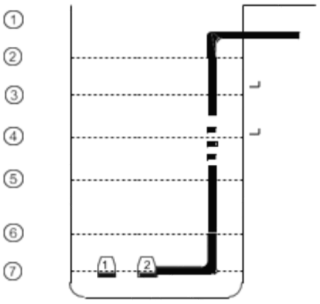


Fig. 59 Brøndniveauer

Pos.	Beskrivelse
1	Højniveau
2	Startniveau 2
3	Maks. økonominiveau
4	Økonominiveau
5	Startniveau 1
6	Stopniveau
7	Tørløbsniveau

Pumpedrift:

1-2: Pumpen kører med den valgte reguleringstype. 2-

3: Pumpen kører ved maks. hastighed.

3-4: Pumpen kører med lineær regulering.

4-5: Pumpen kører med lineær regulering.

5-6: Pumpen kører ved "Økonomifrekvens" (bufferområde inden stop).

6-7: Pumpen er blevet stoppet.

Figur 2 Illustration fra Dedicated Control opsætning

Økonominiveau → Økonomifrekvens
Ved "Økonominiveau" vil pumpen køre ved "Økonomifrekvens" og rampe frekvensen op hvis tilløbet øges.

Maks. økonominiveau

Ved "Maks. økonominiveau" vil pumpen køre ved maks. frekvens. Når niveauet er lavere end "Maks. økonominiveau", vil pumpen rampe ned indtil "Økonominiveau" er nået.

Min. økonomifrekvens

Ved "Min. økonomifrekvens" vil pumpen rampe ned til den ind- stillede frekvens og holde pumpen kørende ved lav hastighed.

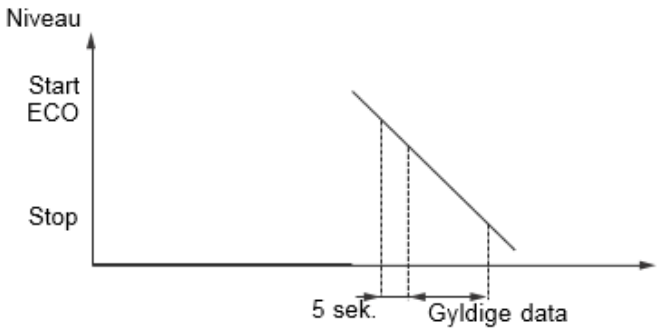
Automatisk energioptimering
"Automatisk energioptimering" bruges til at optimere "Økonomifrekvens" under drift. Den specifikke energi Q [kWh/m3] måles for hver pumpecyklus (Start → Stop). Når pumpen startes første gang, bruges fabriksindstillingen "Økonomifrekvens", fECO.

Næste gang pumpen startes, bruges fECO og 1 Hz som sætpunkt.

- Hvis Q fECO + 1 Hz er lavere, øges frekvensen med 1 Hz.
- Hvis Q fECO + 1 Hz er højere, reduceres frekvensen med 1 Hz.

Denne proces fortsætter indtil det laveste forbrug af specifikenergi er fundet. Når fECO er optimeret, bruges denne frekvens de næste 24 timer. Efter 24 timer startes en ny "Automatisk energioptimering"-rutine for at sikre at pumpen kører med en optimeret frekvens.

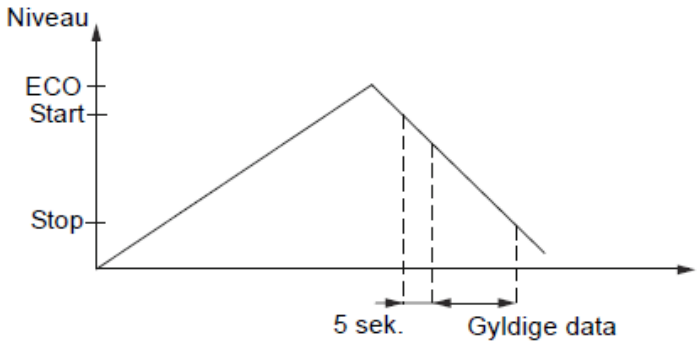
Hvis "Startskylning" er aktiveret, vil denne funktion køre inden Automatisk energioptimeringfunktionen. For at sikre en pålidelig måling er der en 5-sekunders forsinkelse inden målingen starter. Forsinkelsestimeren startes når "Økonominiveau" er nået. Se figur 3



Figur 3. Dedicated Control måleforsinkelse

Hvis "Økonominiveau" er højere end "Startniveau", startes målingen 5 sekunder efter at "Startniveau" er nået.

Hvis pumpen har været i drift i mere end 10 minutter, stoppes den. Den specifikke energi der er blevet målt i tidsrummet, vil blive brugt. Hvis en anden pumpe startes under målingen, vil den blive stoppet, og målingen af specifik energi bliver ikke brugt.



Figur 4. Dedicated Control måleforsinkelse (start niveau er større end Økonominiveau)

Test af specifik energi:

'Testen af specifik energi kan bruges i forbindelse med installation (idriftsætning) for at kontrollere brøndens ydelse og for at finde fmin.. Denne funktion kan aktiveres når en af følgende reguleringstyper er valgt:

- Lineær regulering
- Min. regulering.

Funktionen skal være aktiveret. Nogle parametre skal indtastes inden testen startes:

- Måleudligningstid
- Maks offset under startniveau.

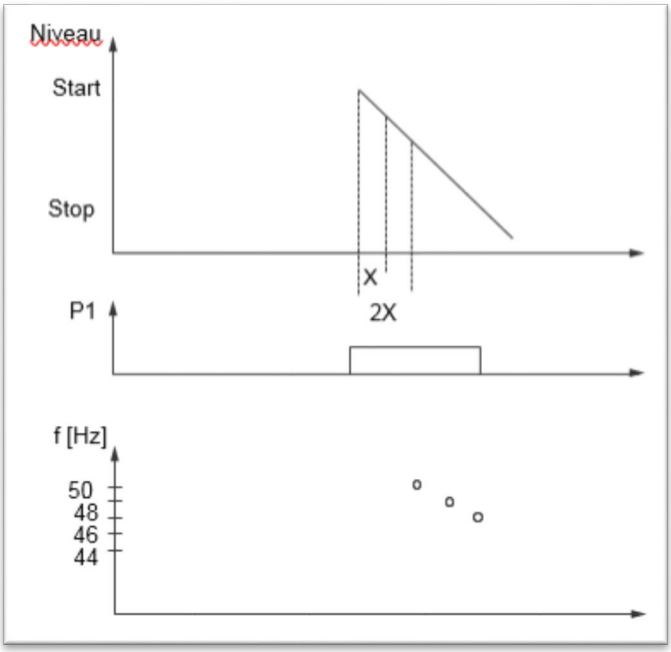
Måleudligningstid

"Måleudligningstid" (x) er en forsinkelse i sekunder, og den tid der skal gå inden målingen startes efter at "Økonominiveau" er nået.

Maks. offset under startniveau

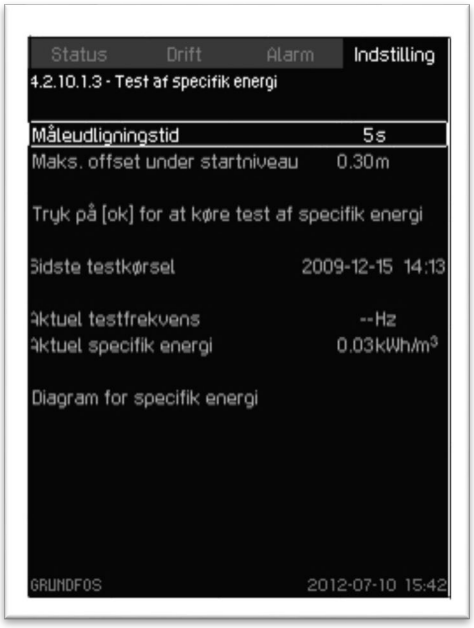
Da den specifikke energi kan ændre sig når der pumpes fra en fyldt brønd sammenlignet med en næsten tom brønd, kan "Maks. offset under startniveau" indstilles så der ikke foretages en test af specifik energi både i en fyldt og en tom brønd. "Maks. offset under startniveau" er afstanden under startniveauet til der hvor testen af specifik energi skal være aktiv. Hvis vandstanden falder under dette niveau under testen for specifik energi, fortsætter resten af testen ikke før startniveauet er nået igen. "Maks. offset under startniveau" sørger for en realistisk test.

Testen af specifik energi kan med fordel bruges i forbindelse med installation (idriftsætning) for at få et fingerpeg om "Økonomifrekvens" og "Min. frekvens" for den aktuelle applikation. Når funktionen er aktiv, kører der kun en enkelt pumpe for at give et pålideligt resultat. Når testen startes, bruges 50 Hz som reference, og pumpen ramper ned med 2 Hz pr. 2 x "Måleudligningstid". Se figur 5



Figur 5: Test af specifik energi i Dedicated Control

På basis af målingerne laves et diagram der kan ses ved at trykke på [ok] i linjen "Diagram for specifik energi". Den aktuelle testfrekvens og den aktuelle specifikke energi vises i displaybilledet, se figur 6.

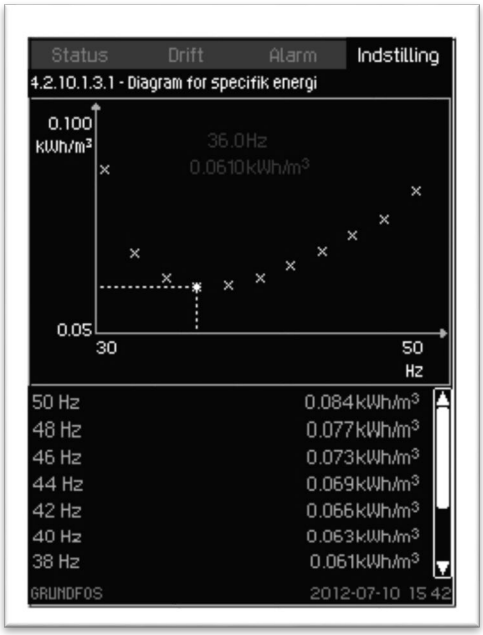


Figur 6. Skærmbillede fra Dedicated Control til test af specifik energi

Specifik energi er et mål for pumpevirkningsgraden målt som energiforbrug [kWh] pr. pumpet volumen [m3].

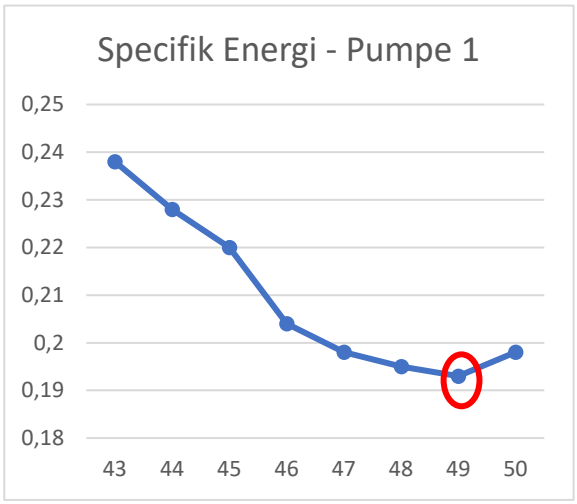
Dette displaybillede bruges til at få vist "Test af specifik energi".

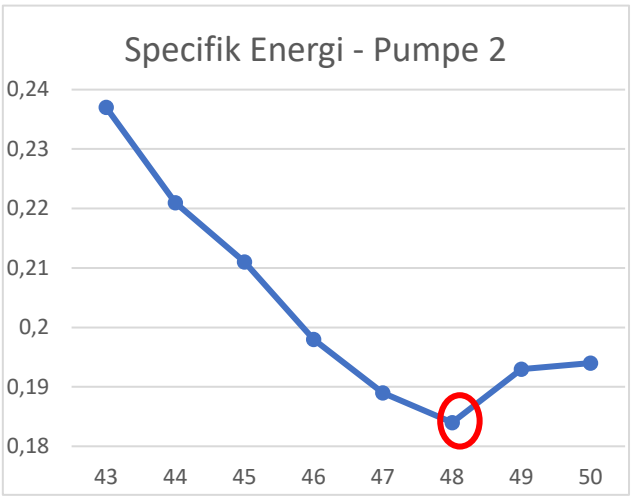
Den frekvens som repræsenterer det laveste specifikke energi- forbrug vises når testen er færdig. Denne frekvens kan bruges som reference i funktionen "Automatisk energioptimering" eller indstilles som fast frekvens.



Figur 7. Skærmbillede fra Dedicated Control med diagram for specifik energi

På PST Voldtofte er der efterfølgende målt følgende for de 2 nye pumper, som illustreret i figur 8 og 9:





Figur 8. Specifik energi fra pumpe 1

Figur 9. Specifik energi fra pumpe 2

Tabel 1. Specifik energi fra Voldtofte ved frekvensdrift.

	Pumpe 1:	Pumpe 2:
50 Hz	0,198 kWh/m3	0,194 kWh/m3
49 Hz	0,193 kWh/m3	0,193 kWh/m3
48 Hz	0,195 kWh/m3	0,184 kWh/m3
47 Hz	0,198 kWh/m3	0,189 kWh/m3
46 Hz	0,204 kWh/m3	0,198 kWh/m3
45 Hz	0,220 kWh/m3	0,211 kWh/m3
44 Hz	0,228 kWh/m3	0,221 kWh/m3
43 Hz	0,238 kWh/m3	0,237 kWh/m3

Med et flow i Voldtofte i juni 2019 på 421 m3 kan man få en besparelse på hele 3 kWH per månede. Dette giver ikke energi besparelser, hvilket skyldes pumpe valget

I forbindelse med etablering af Voldtofte pumpestation var der planlagt etablering af den nyudviklede pumper med løbehjul til spildevand. Desværre blev lanceringen af pumpernes løbehjul udskudt flere gange, derfor installereres pumper med fristrøms løbehjul uagtet at dette ikke ville give energioptimeret pumping. Valget skulle sikre problemfri drift og valide data til Krüger´s flowmåling og afslutte HEPWAT inden for den estimerede tid. Virkningsgraden ved anvendelse af fristrømsløbehjul er væsentlig lavere i forhold til det nye løbehjul.

Ved at skiftet til den nye pumpe med løbehjul vil dette betyde et energi besparelse på 29% ift den nuværende pumpe løsning

Ved en fremtidig renovering af Voldtofte anbefales at der etableres en ny større trykledning som kan sikre økonomisk pumpedrift med en p2 på ca. 65% Det eksisterende tilløbs bassin kan formentlig med fordel udskiftes til f.eks. et rørbassin der sikrer minimal fremtidig vedligeholdelse.

Datapakker

Der er ingen datapakke til dette bilag

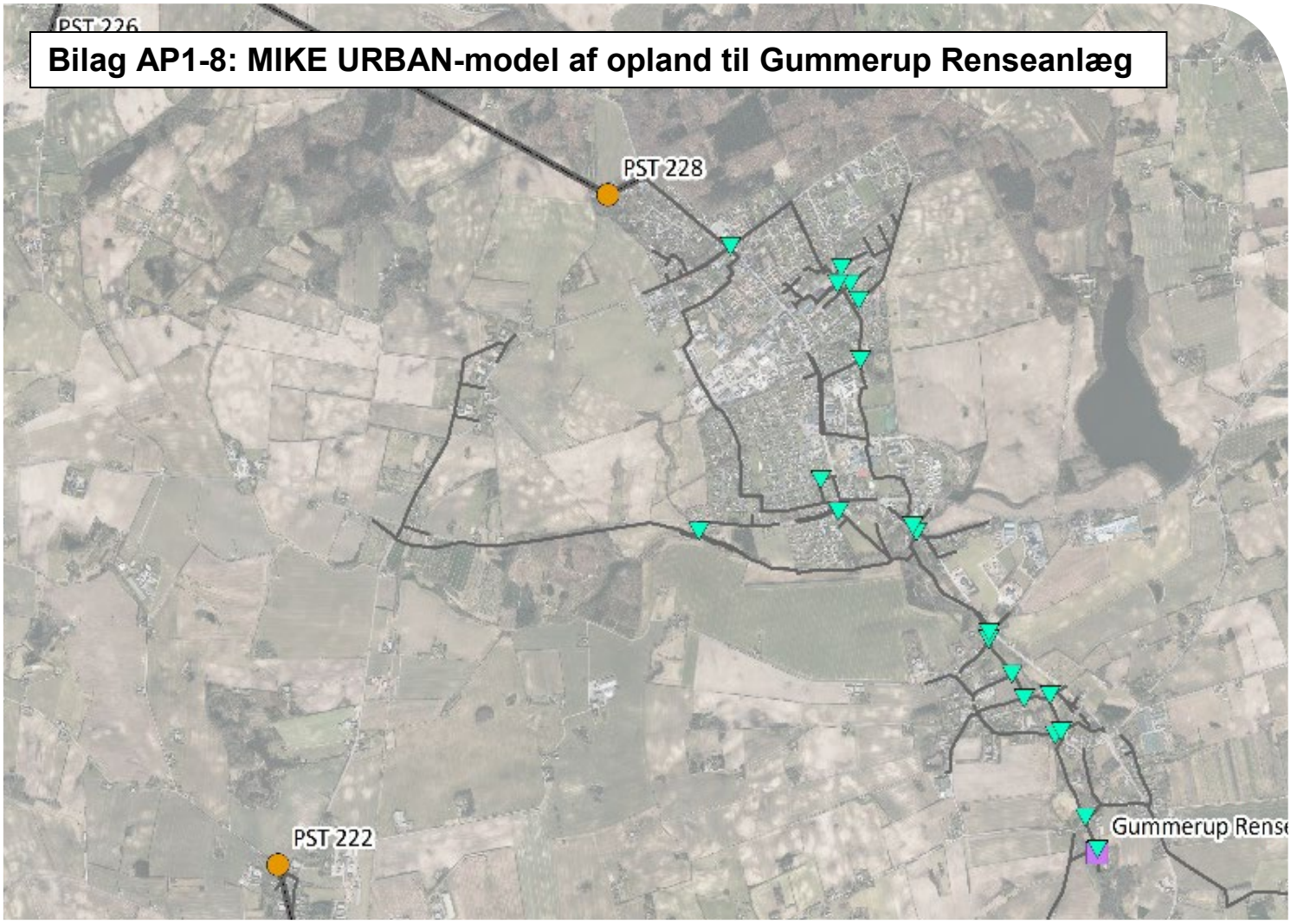
Kontakt

Finn Dalsgaard Nielsen, sælger i Grundfos Danmark.
fdnielsen@grundfos.com
Mobil telefon: +45 30 53 67 73

Ulrik Faaborg Glerup, Styrings ekspert i Grundfos Danmark.
uglerup@grundfos.com
Mobil telefon: +45 51 44 95 12

Christian Schou, Applikations manager i Grundfos Holdning
cschou@grundfos.com
Mobil telefon: +45 24 85 57 44

Bilag AP1-8: MIKE URBAN-model af opland til Gummerup Renseanlæg



KRÜGER VEOLIA

HEPWAT

Bilag, AP1-8

MIKE URBAN-model af opland til Gummerup Renseanlæg

August 2019

WATER TECHNOLOGIES

HEPWAT

Bilag, AP1-8

Udarbejdet af: Lisbet Sneftrup Hansen

Kontrolleret af: Steen O. Petersen / Alex Torpenholt Jørgensen

Udgave: 0

Ordrenummer:

Krüger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

SØBORG
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AALBORG
Indkildevej 6C
DK-9210 Aalborg SØ
T +45 9818 9300
kruger@kruger.dk

AARHUS
Haslegårdsvænget 18
DK-8210 Aarhus V
T +45 8746 3300
kruger@kruger.dk

GLOSTRUP SERVICE
Fabriksparken 35
DK-2600 Glostrup
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AQUACARE
Fabriksparken 50
DK-2600 Glostrup
T +45 4345 1676
aquacare@kruger.dk

ISO 9001 CERTIFIED CVR 57446412 www.kruger.dk

Indholdsfortegnelse

1. Baggrund 2

2. Sammenligning af fremsendte modeller med DANDAS 3
2.1 Glamsbjerg 3
2.1.1 Bundkoter 3
2.1.2 Dækselkoter 3
2.1.3 Brønddiameter 4
2.1.4 Inaktive brønde 4
2.1.5 Indsatte brønde 4
2.1.6 Ledningsdimension 4
2.1.7 Ledningslængder 5
2.1.8 Inaktive ledninger 5
2.1.9 Indsatte ledninger 5
2.2 Flemløse 6
2.2.1 Bundkoter 6
2.2.2 Dækselkoter 6
2.2.3 Brønddiameter 6
2.2.4 Inaktive brønde 7
2.2.5 Indsatte brønde 7
2.2.6 Ledningsdimension 7
2.2.7 Ledningslængder 7
2.2.8 Inaktive ledninger 8
2.2.9 Dobbeltledning 8
2.2.10 Indsatte ledninger 8
2.3 Modeldata 9
2.4 Brønde, bassiner, udløb og pumpestationer 9
2.5 Overløb 12
2.6 Oplandsstørrelser 12
2.7 Spildevandsmængder 13

3. Kontrolberegninger 15
3.1 Tørvejrskørsel 15
3.2 Kasseregn 16

4. Anvendelse af model 17

1. Baggrund

I forbindelse med HEPWAT-projektet, med deltagelse af blandt andet Assens Spildevand A/S og Krüger, er det planlagt, at der opstilles en MIKE URBAN-model af oplandet til Gummerup Renseanlæg. MIKE URBAN-modellen skal indeholde fælleskloakerede og spildevandsoplande. Endvidere skal regnvandsoplande, der stadig er koblet på fællessystemet, være indeholdt i modellen.

Denne MIKE URBAN-model skal bruges til at planlægge tørvejrsstyringen af Voldtoftebassinet og tilhørende pumper. Denne styring beskrives senere i et andet notat. Udover at undersøge styringsstrategier kan modellen også bruges til overløbsberegninger fra fællessystemet til regnvandssystemet og lokale recipienter.

MIKE URBAN-modellen er opbygget af to tidligere MIKE URBAN-modeller fra oplandet til Gummerup Renseanlæg. Disse to modeller er lagt sammen og opdateret med DANDAS-data. Der er modtaget et udtræk af DANDAS-databasen for oplandet til Gummerup Renseanlæg fra Assens Spildevand i februar 2017. MIKE URBAN-model for Glamsbjerg og MIKE URBAN-model for Flemløse-Voldtofte er begge modtaget i februar 2017.

DANDAS-databasen og MIKE URBAN-modellerne er importeret til Flora, Krügers modeldokumenteringsprogram. Flora er brugt til at generere modellen for oplandet til Gummerup Renseanlæg.

I perioden mellem den oprindelige opbygning af modellerne for Glamsbjerg og Flemløse-Voldtofte og den modtagne DANDAS-database har der været separatkloakeringsprojekter i området. Assens Forsyning har derfor i juni 2017 valideret hvilke oplandsarealer der stadig bidrager til vandføringen til Gummerup Renseanlæg.

MIKE URBAN-modellen afspejler systemets udseende i februar 2017.

2. Sammenligning af fremsendte modeller med DANDAS

I dette afsnit sammenlignes et udtræk fra DANDAS-databasen for oplandet til Gummerup Renseanlæg fra Assens Forsyning den 16. februar 2017 med MIKE URBAN-modeller for Glamsbjerg og Flemløse-Voldtofte modtaget fra Envidan henholdsvis den 10. februar 2017 og den 24. februar 2017. MIKE URBAN-modellerne er umiddelbart ikke opdateret siden 2013, hvor de blev brugt til oversvømmelsesberegninger. Sammenligningen foregår automatisk og foretages ved hjælp af Flora, Krügers modeldokumenteringsprogram.

2.1 Glamsbjerg

MIKE URBAN-modellen for Glamsbjerg indeholder 1236 knuder, 1201 ledninger, ingen pumper, 20 overløb og 41 udløb. Modellen er både for fælles- og regnvandssystemet.

2.1.1 Bundkoter

699 brønde har fået ændret bundkoten i forhold til DANDAS. Tabellen beskriver, hvor mange brønde der har manglet en bundkote i DANDAS, samt afvigelsen imellem DANDAS og MIKE URBAN for hver brønd hvor bundkoten er ændret. Tabellen angiver, hvor meget bundkoten i modellen er sænket eller hævet i forhold til oplysningerne fra DANDAS.

Cirka halvdelen af brøndene i modellen mangler en bundkote i DANDAS. For de resterende har de fleste fået ændret bundkoten med mindre end 10 cm.

Tabel 1: Ændringer i bundkote fra DANDAS til model.

		Antal ændret
Mangler BK		354
Hævet	**>0,5 m**	32
	0,1-0,5 m	30
	-0,0-0,1 m	177
Sænket	**>0,5 m**	24
	0,1-0,5 m	26
	0,0-0,1 m	56
I alt		699

2.1.2 Dækselkoter

1015 brønde har fået ændret dækselkote i forhold til DANDAS. For 245 brønde er der hverken registreret en terrænkote eller en dækselkote i DANDAS-databasen.

Ved import af MIKE URBAN-modellen til Flora er sammenligning af modellens terrænkote med ledningsdatabasens terrænkoten vægtet højest, hvis der ikke er en værdi for terrænkoten i ledningsdatabasen er dækselkoteværdien blevet brugt til sammenligningen i stedet.

2.1.3 Brønddiameter

1156 brønde har fået ændret diameter i modellen.

Tabel 2: Ændringer i brønddiameter fra DANDAS til model.

Brønddiameter i DANDAS [mm]	Antal ændret
0 eller mangler	124
200 til 900	520
1000 til 2000	512

Af de 1156 brønde har 1151 fået ændret diameteren til 999 i MU. Der er dog 5 brønde som har haft en diameter på 600 og fået den ændret til henholdsvis Ø1000 (114OB02 og 113OB01), Ø1200 (114OB01 og 114OB03) og Ø1400 (114OB03).

2.1.4 Inaktive brønde

Der er 170 brønde med i modellen som ifølge DANDAS er inaktive, heraf er 8 projekterede brønde.

Denne aktivgørelse skyldes sandsynligvis ændringer af systemet mellem 2013 og 2017.

Tabel 3: Ændringer i statuskode for brønde fra DANDAS til model.

Statuskode	Betydning	Antal gjort aktive
2	Ikke i brug	15
4	Opfyldt	67
6	Projekteret/planlagt	8
8	Fjernet	80
I alt		170

2.1.5 Indsatte brønde

Der er indsat 79 brønde i modellen, hvoraf 2 er udløb.

I modellen er der er 28 brønde, hvis navn indeholder ordet TEST.

Der er 4 indsatte brønde, hvis MIKE URBAN ID stemmer overens med det tidligere knudenavn i DANDAS-databasen. Dette skyldes sandsynligvis at systemet er ændret mellem 2013 og 2017.

2.1.6 Ledningsdimension

I modellen har 295 ledninger fået ny diameter. De 47 ledninger manglede en dimension i DANDAS og de fleste af de andre er ændret med under 5 cm enten op eller ned. 38

ledninger har dog fået en dimensionsændring, der er større end 10 cm i diameter i forhold til DANDAS.

Tabel 4: Ændringer i ledningsdiameter fra DANDAS til model.

Forskel i diameter (MIKE URBAN – DANDAS)	Antal ændret
Mangler dimension	47
>10 cm	8
5 cm – 10 cm	12
-5 cm – 5 cm	177
-10 cm – -5 cm	21
<- 10 cm	30
I alt	295

2.1.7 Ledningslængder

973 ledninger har fået defineret en specifik ledningslængde i modellen. For de fleste længder er den definerede næsten lig den i MIKE URBAN beregnede værdi. Der er dog 8 ledninger, hvor forskellen er på over 1 m, af disse 8 er 3 i fællessystemet. Forskellen mellem defineret og beregnet for de tre ledninger i fællessystemet er mellem 1,5 m og 165 m. Det vides ikke, hvorfor der er denne forskel.

2.1.8 Inaktive ledninger

Der er 70 ledninger der i forhold til DANDAS er gjort inaktive og 153 ledninger der er gjort aktive i modellen. Denne aktivgørelse skyldes sandsynligvis ændringer af systemet mellem 2013 og 2017.

Tabel 5: Ændringer i statuskode for ledninger fra DANDAS til model.

Statuskode	Betydning	Antal gjort aktive
2	Ikke i brug	8
3	Afproppet	4
4	Opfyldt	72
6	Projekteret/planlagt	7
8	Fjernet	62
I alt		153

2.1.9 Indsatte ledninger

Der er indsat 226 ledninger i modellen, som ikke findes i DANDAS. Der er umiddelbart en stor forskel mellem hvor mange ledninger der er indsat og hvor mange knuder der er indsat. Der er forskellige årsager til dette, blandt andet at nogle ledningsstræk ikke var

med i DANDAS, men også at flere små ledningsstræk er fjernet i modellen, og der er i stedet indsat et langt stræk.

2.2 Flemløse

MIKE URBAN-modellen for Flemløse og Voldtofte indeholder 245 knuder, 240 ledninger, ingen pumper, 1 overløb og 10 udløb. Modellen er både for fælles- og regnvandssystemet.

2.2.1 Bundkoter

I modellen har 197 brønde fået ændret bundkoten i forhold til DANDAS. Tabellen beskriver, hvor mange brønde der har manglet en bundkote i DANDAS, samt afvigelsen imellem DANDAS og MIKE URBAN for hver brønd hvor bundkoten er ændret. Tabellen angiver hvor meget bundkoten i modellen er sænket eller hævet i forhold til oplysningerne fra DANDAS.

Over halvdelen af brøndene i modellen har manglet en bundkote i DANDAS. For de resterende har de fleste fået ændret bundkoten med under 10 cm.

Tabel 6: Ændringer i bundkote fra DANDAS til model.

		Antal ændret
Mangler BK		102
Hævet	**>0,5 m**	4
	0,1-0,5 m	5
	-0,0-0,1 m	48
Sænket	**>0,5 m**	8
	0,1-0,5 m	11
	0,0-0,1 m	19
I alt		197

2.2.2 Dækselkoter

I modellen har 225 brønde fået ændret dækselkote i forhold til DANDAS. For 65 brønde er der hverken registreret en terrænkote eller en dækselkote i DANDAS-databasen.

Ved import af model til Flora er sammenligning af modellens terrænkote med ledningsdatabasens terrænkoten vægtet højest, hvis der ikke er en værdi for terrænkoten i ledningsdatabasen er dækselkoteværdien blevet brugt til sammenligningen i stedet.

2.2.3 Brønddiameter

146 brønde har fået ændret diameter til Ø1000.

Tabel 7: Ændringer i brønddiameter fra DANDAS til model.

Brønddiameter i DANDAS [mm]	Antal ændret
0 eller mangler	47
315 til 900	96
1000 til 2000	3

2.2.4 Inaktive brønde

Der er 2 brønde, 700OB02 og 700R070, med i modellen, som begge er inaktive i DANDAS. De to brønde har begge statuskode 2, hvilket betyder 'ikke i brug'. Dette tyder på, at der bygget om i systemet mellem 2013 og 2017.

2.2.5 Indsatte brønde

Der er indsat 18 brønde i modellen, hvoraf 1 er et bassin, Kærvang.

Der er 7 brønde, hvis MIKE URBAN ID stemmer overens med det tidligere knudenavn i DANDAS-databasen, dette skyldes sandsynligvis forskellen mellem hvornår modellen er opbygget og hvornår DANDAs er fra.

2.2.6 Ledningsdimension

92 ledninger i modellen har fået ny diameter. Heraf mangler de 18 ledninger en dimension i DANDAS. Langt de fleste, 50 ledninger, har en forskel i dimension der er mindre end 5 cm.

Forskel i Diameter (MIKE URBAN – DANDAS)

Tabel 8: Ændringer i ledningsdiameter fra DANDAS til model.

Forskel i Diameter (MIKE URBAN – DANDAS)	Antal ændret
Mangler dimension	18
>10 cm	12
5 cm – 10 cm	3
-5 cm – 5 cm	50
-10 cm – -5 cm	8
<- 10 cm	1
I alt	92

2.2.7 Ledningslængder

172 ledninger har fået defineret en specifik ledningslængde i modellen. Det vides ikke, hvorfor dette er blevet defineret.

2.2.8 Inaktive ledninger

Der er 17 ledninger, der er gjort inaktive og 1 ledning, der er gjort aktiv i modellen i forhold til deres status i DANDAS.

Ledningen, der er gjort aktiv løber fra 700OB02 til 700R070. Dette er ledningen som løber mellem de to brønde, der er gjort aktive, se afsnit 0. Dette skyldes højst sandsynligt, at systemet er blevet bygget om i perioden 2013 til 2017.

2.2.9 Dobbeltledning

En dobbeltledning der findes i DANDAS, findes ikke i modellen. Ledningen løber fra 702F400 til 700F364.

2.2.10 Indsatte ledninger

Der er indsat 68 ledninger i modellen, som ikke findes i DANDAS.

2.3 Modeldata

Kort gennemgang af den genererede MIKE URBAN-model.

2.4 Brønde, bassiner, udløb og pumpestationer

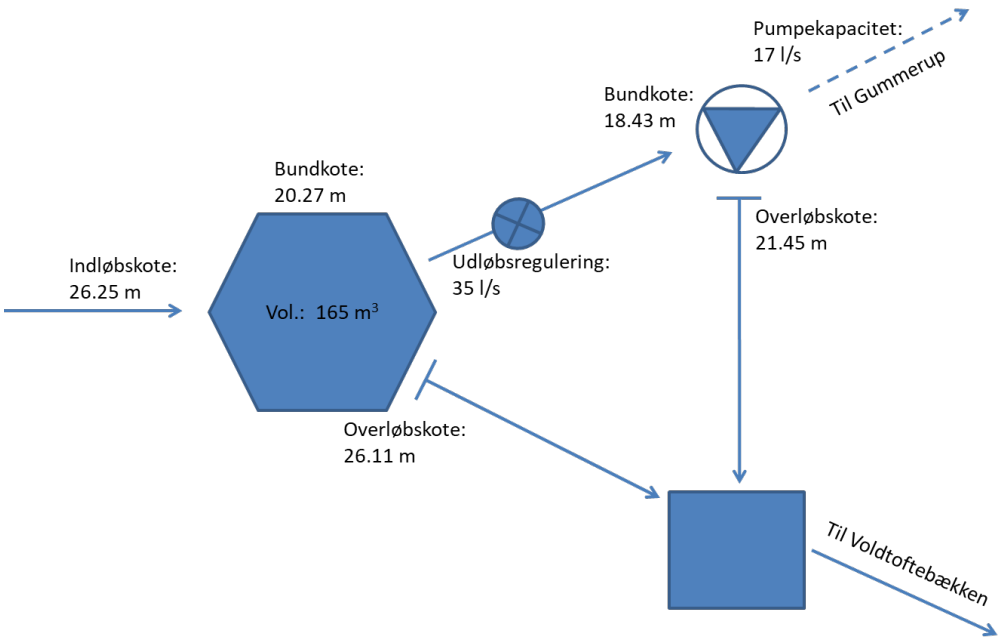
Tabel 9 indeholder en oversigt over brønde, bassiner, udløb og pumper i MIKE URBAN-modellen for oplandet til Gummerup Renseanlæg. Det kan ses, at de fleste brønde i modellen er defineret som tilhørende fællessystemet. Derudover er der 37 brønde, som tilhører regnvandssystemet, men stadig er med i modellen. Dette skyldes, at disse områder stadig leder tilbage på fællessystemet.

Tabel 9: Typer af opland, som er med i MIKE URBAN-model og hvor mange brønde, bassiner, udløb, pumper og pumpestationer der er i hvert system.

Type opland	Brønde	Bassiner	Udløb	Pumper	Pumpestationer
Spildevand	95	0	0	10	5
Regnvand	37	1	1	0	0
Fælles	601	1	1	5	2
Ialt	**733**	**2**	**2**	**15**	**7**

Af tabel 9 ses det, at der er et bassin, der tilhører regnvandssystemet. Dette bassin ligger i Flemløse og hedder Kærvang. Det var beskrevet i den udleverede model for Flemløse-Voldtofte og er ikke undersøgt videre. Der ligger et fællesbassin på Voldtoftevej, hvorfra vandet fra Flemløse og Voldtofte bliver pumpet mod Gummerup Renseanlæg. Voldtofte bassinet var ikke beskrevet i MIKE URBAN-modellen for Flemløse-Voldtofte eller for Glamsbjerg. Dette skyldes, at den er placeret uden for modellernes randbetingelser.

Oplysninger om koter og systemet på Voldtoftevej 48 er indhentet hos Assens Spildevand. Figur 1 viser en skitse af systemet.



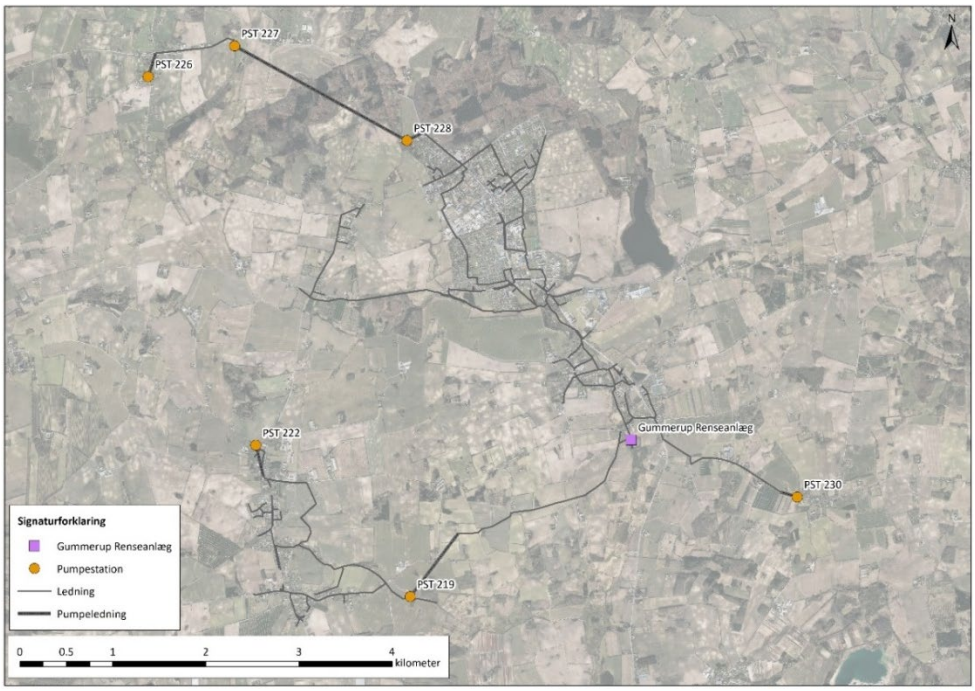
Figur 1: Skitse af systemet omkring bassinet på Voldtoftevej 48.

Der er indsat to overløb i systemet ved Voldtoftevej 48 i MIKE URBAN-modellen. Der er ét overløb fra bassinet og ét fra pumpestationen. I overløbet fra bassinet er der antaget en overløbskantslængde på 1 m og i overløbet fra pumpestationen er den sat til 30 cm. Bassinet efter overløbene er indsat som en brønd i MIKE URBAN-modellen. Herfra løber overløbsvandet til et udløb.

Der er to udløb med i modellen, begge kommer efter en overløbskant. Udløbene ligger henholdsvis nedstrøms overløbene fra bassinet på Voldtoftevej og efter overløbet ved Gummerup Renseanlæg. Ved Voldtoftebassinet bliver der udledt overløbsvand til Voldtoftebækken og ved Gummerup Renseanlæg er der overløb til Hårby Å. Voldtoftebækken leder videre til Hårby Å. Der er ingen begrænsning på udløbene i modellen ud over ledningernes dimension. Ledningsdimensionen for overløbsledningen ved Gummerup Renseanlæg er Ø400 og for overløbsledningen ved Voldtoftebassinet er Ø200.

Oplysninger om koter på overløbet fra indløbet på Gummerup Renseanlæg er fra Assens Spildevand. Koten på overløbet er 17,58 m. Dette er rettet til i MIKE URBAN-modellen.

Der er 7 pumpestationer med i modellen. De fleste tilhører spildevandssystemet. Vi har modtaget data omkring estimerede start- og stopkoter samt pumpeydelser fra Assens Spildevand. Pumpeydelser for pumpestation 227 – Søllestedvej 4 og 226 – Stængelrisvej 1 har Krüger estimeret på baggrund af nedstrøms pumpeydelse, pumpestation 228, og antallet af adressepunkter til hver pumpestation. I figur 2 ses en oversigt over placeringen af pumpestationer der er med i MIKE URBAN-modellen.



Figur 2: Oversigt over pumpestationer der er med i MIKE URBAN-modellen for Gummerup Renseanlæg (orange prikker). Endvidere kan ledninger og pumpeledninger der er med i modellen ses med gråt.

Error! Not a valid bookmark self-reference. indeholder en oversigt over pumpernes ydelse samt start- og stopkoter.

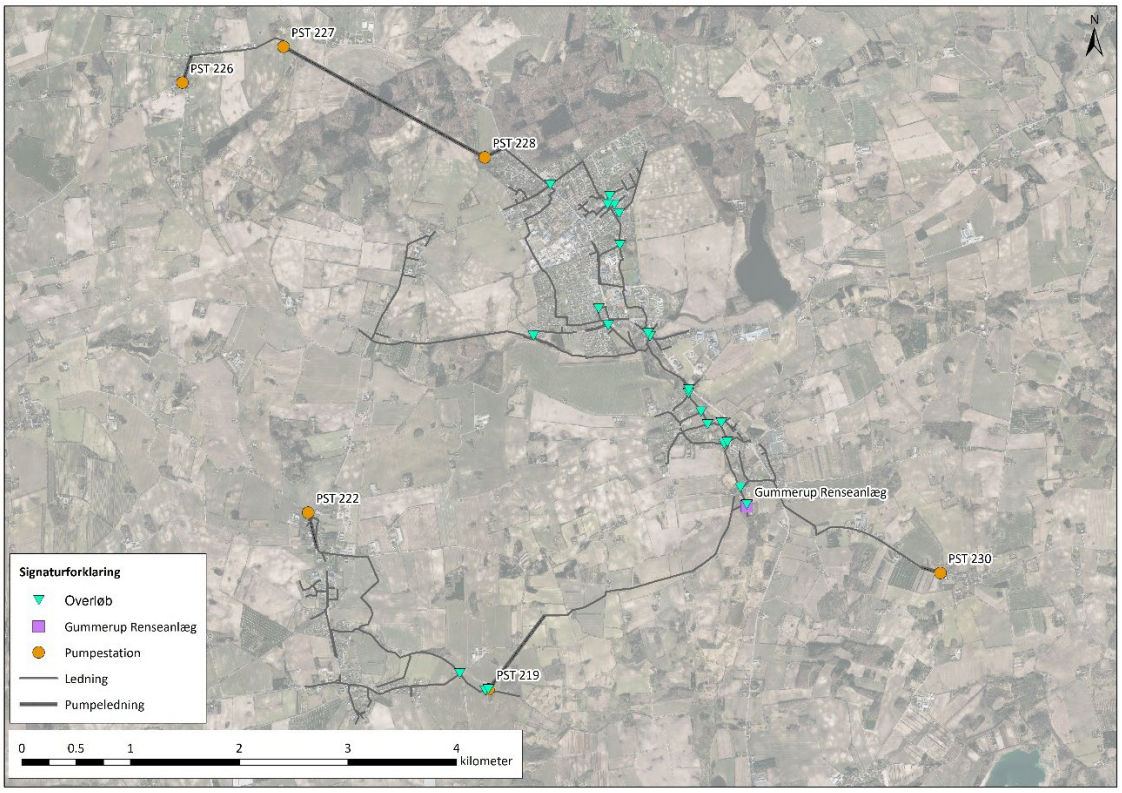
Tabel 10: Oversigt over pumpeydelser samt start- og stopkoter for pumpestationer der er med i MIKE URBAN-modellen.

Pumpestation	Pumpenummer	Ydelse l/s	Startkote m	Stopkote m
Gummerup Renseanlæg	1	50	15,7	15,3
	2	50	15,75	15,3
	3	130	15,85	15,3
219	1	8,5	19,23	18,93
	2	8,5	19,28	18,93
222	1	0,9	56,23	55,98
	2	0,9	56,33	55,98
226	1	0,6	76,74	76,59
	2	0,6	76,79	76,59
227	1	2,1	68,44	68,04
	2	2,1	68,49	68,04
228	1	2,5	69,01	68,81
	2	2,5	69,01	68,81
230	1	1,5	48,52	48,22
	2	1,5	48,57	48,22

Samspillet mellem pumperne på Gummerup Renseanlæg er sat ned til tre trin i stedet for fem, grundet modelteknisk årsager. Pumperne antages at kunne køre samtidig.

2.5 Overløb

Der er 23 overløb med i MIKE URBAN-modellen. De 20 af disse overløb er i byerne Glamsbjerg, Køng og Gummerup og er interne overløb til regnvandssystemet. De sidste tre overløb er i Voldtofte. Af disse tre er de to overløb er ved bassinet på Voldtoftevej 48 og det sidste er et overløb ca. 300 meter før bassinet. En oversigt over overløbene i MIKE-URBAN-modellen kan ses i figur 3.



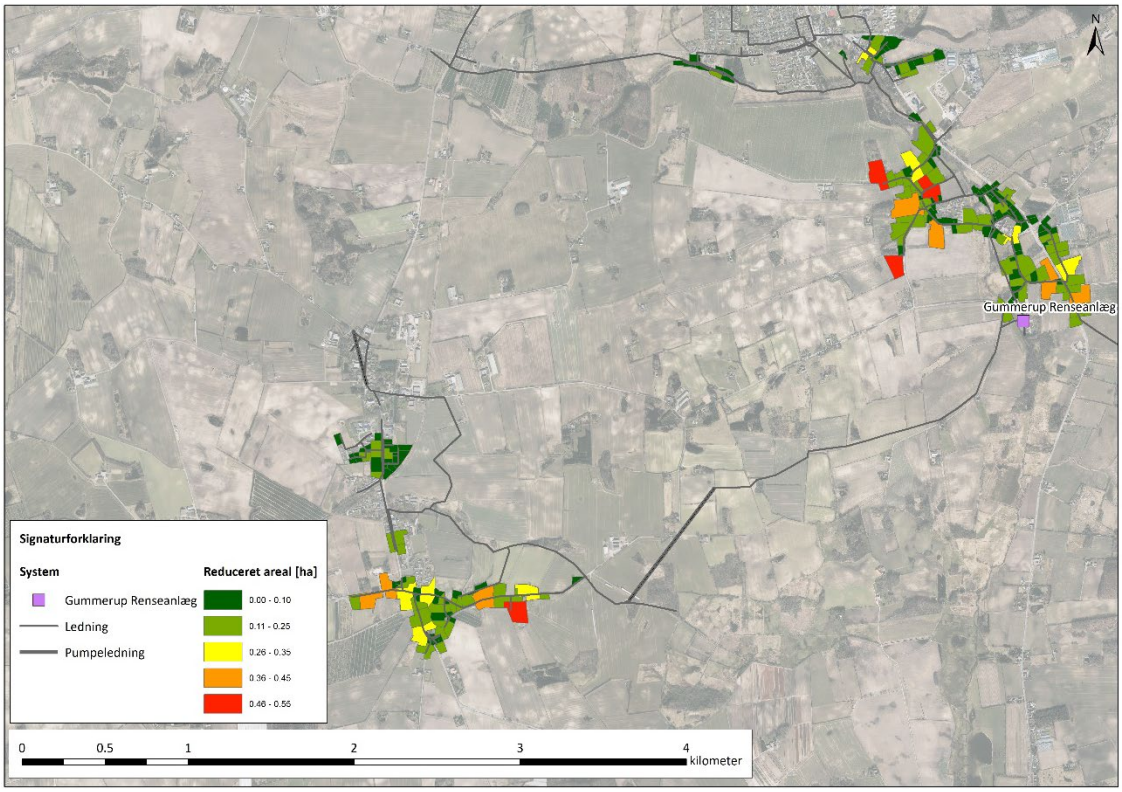
Figur 3: Oversigt over overløb i MIKE URBAN-modellen for Gummerup Renseanlæg (grønne trekanter). Endvidere ses pumpestationer (orange prikker) samt ledninger og pumpeledninger (grå streger).

2.6 Oplandsstørrelser

Af tabel 11 ses de arealer, der er med i MIKE URBAN-modellen. Det kan ses, at der er 7 hektar regnvandsopland, der stadig er koblet på fællessystemet og derfor stadig er med i modellen. Figur 4 viser hvor der er koblet areal på systemet i MIKE URBAN-modellen, samt hvad disse oplandes reducerede areal er. Det samlede reducerede areal i modellen er 30 hektar.

Tabel 11: Total areal, befæstet areal og reduceret areal for henholdsvis regnvands- og fælleskloakerede oplande, som er med i modellen for oplandet til Gummerup Renseanlæg.

Type opland	Total areal	Befæstet areal	Reduceret areal
	hektar	hektar	hektar
Regnvand	7	4	3
Fælles	94	33	27



Figur 4: Oversigt over tilknyttede oplandes reducerede arealer i MIKE URBAN-modellen.

I notatet 'Oversvømmelseskortlægning i kloakoplande' fra Envidan den 24. oktober 2013 er der skrevet, at reduktionsfaktoren i MIKE URBAN-modellerne er 0,8, hvilket bliver brugt i den opstillede model for oplandet til Gummerup Renseanlæg.

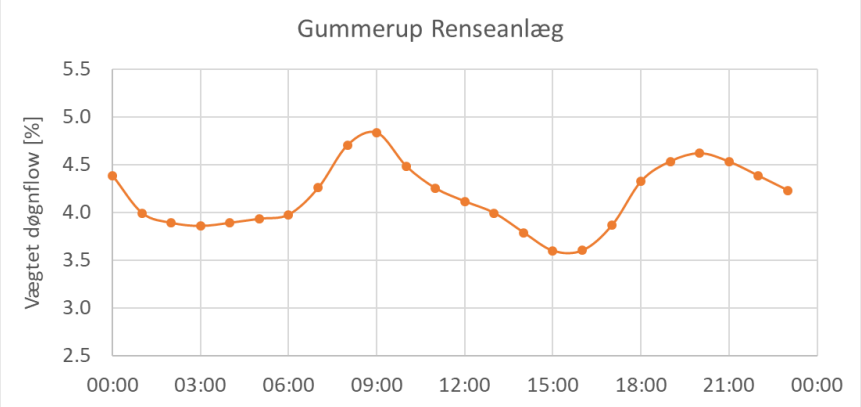
2.7 Spildevandsmængder

Til at bestemme spildevandsmængderne i modellen er der brugt adressepunkter fra Danmarks Adressers Web API - DAWA.aws.dk og spildevandsmængder fra projekt 'Assens Å Strandoplandet – Screening af pumpedata' udarbejdet af Krüger, januar 2016. Dette har betydet, at forbruget per adressepunkt i alle oplande er på 0,22 m^3/dag.

Der er udover husspildevandet to større virksomheder i Glamsbjerg, Kerry Ingredients og P.B. Foods, som bidrager med et større vandforbrug. De er sat til at bidrage med henholdsvis 164 m^3/dag og 25 m^3/dag. Udledningen fra Kerry Ingredients sker i intervaller, men da disse intervaller umiddelbart ikke er regelmæssige er udledningen i

MIKE URBAN-modellen sat til at være jævn over døgnet. Denne beskrivelse af udledningen fra Kerry Ingredients er ikke optimal, men er valgt da der ikke er nogen tilgængelige oplysninger om deres udledningsdistribution. Det anbefales at ændre beskrivelsen af denne udledning i MIKE URBAN-modellen når der vides mere om udledningen.

I forbindelse med projektet 'Assens Transportsystem' er der modtaget indløbsflow til Gummerup Renseanlæg. På baggrund af disse data er der estimeret en døgnvariation, som kan ses i figur 5. Der er kun brugt data fra juni, juli, august og september, det vil sige i de måneder hvor indsivningen er lav. I selve data kan det ses at der nogle gange forekommer et meget højt flow i aften- og nattetimerne, disse flows er blevet fra sorteret i døgnvariationen, figur 5, da det menes at stamme fra industrispildevand. Det drejer sig om flows på over 120 m^3/t.



Figur 5: Døgnvariation ved Gummerup Renseanlæg baseret på indløbsdata for månederne juni, juli, august og september fra årene 2015 til 2017.

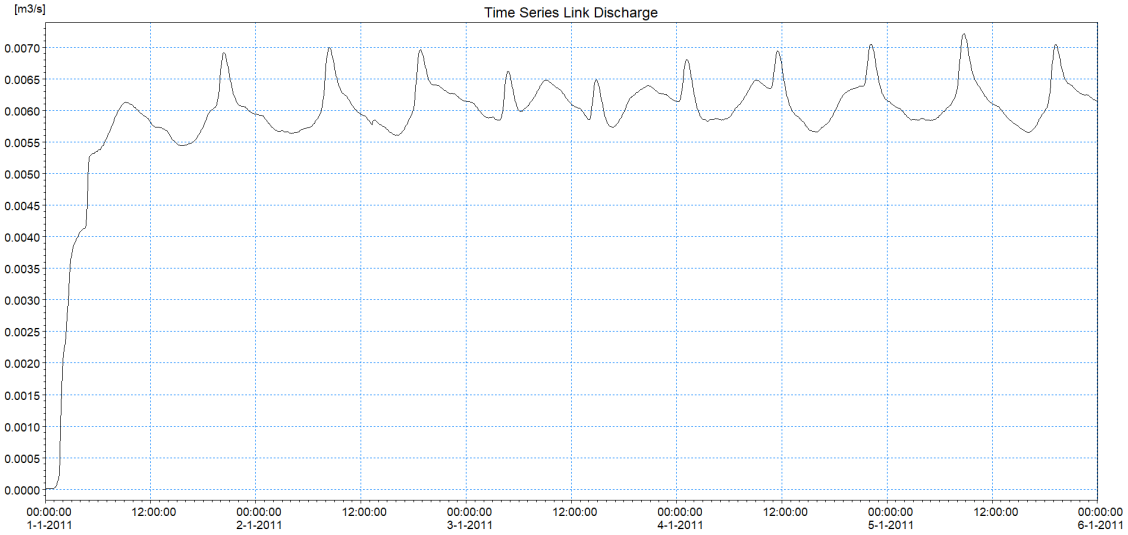
Døgnvariationen i figur 5 er brugt for almindeligt husspildevand i MIKE URBAN-modellen, dog er data blevet tidsforskudt to timer tilbage for at kompensere for transporttiden i afløbssystemet.

3. Kontrolberegninger

Der er udført kontrolberegninger, for at kvalitetssikre modellen. Resultaterne af disse er præsenteret i dette afsnit.

3.1 Tørvejrskørsel

Grundet pumpekapaciteterne i pst 228 og pst 227 bliver tørvejrsflowet til Gummerup Renseanlæg ikke stabilt, Figur 6. Det er flowet fra pst 227, der bliver bestemmende for variationen på Gummerup Renseanlæg i modellen. Det anbefales derfor at pumpekapaciteterne for både pst 227 og pst 228 bliver undersøgt nærmere.



Figur 6: Simuleret tørvejrsflow til Gummerup Renseanlæg.

3.2 Kasseregn

Modellen er kørt igennem med en 24 timers kasseregn med en intensitet på 0,1 µm/s. Dette svarer til en gentagelsesperiode på 0,05 år, det vil sige 20 gange årligt. Dette burde et afløbssystem kunne klare uden problemer.

Der er to overløb der giver overløb ved denne kasseregnsberegning. De to overløb er placeret i Byvejen 5 og Byvejen 58, se figur 7. Begge overløb er undersøgt nærmere i maj 2018 og det er sandsynligt, at de giver overløb ved små regnhændelser. Tabel 12 indeholder mere information om de to overløb.

Området hvor overløbene er placeret er i gang med at blive separatkloakeret og det forventes at disse to overløb fjernes når separatkloakeringen er færdig.

Figur 7: Placering af to overløb som giver overløb ved en lav intensitets kasseregn.

Tabel 12: Information om de to overløb hvor der forekommer overløb ved en lav intensitetsregn.

Navn	Enhed	Byvejen 5	Byvejen 58
X-koordinat	ETRS 1989 UTM 32N	571.316	571.530
Y-koordinat	ETRS 1989 UTM 32N	6.124.559	6.124.261
Bundkote	[m]	25,29	21,34
Overløbskote	[m]	25,43	21,38
Opstrømsdimension	[mm]	250	500
Nedstrømsdimension	[mm]	300	200
Tilknyttet areal	[ha]	5,6	10,7
Tilknyttet reduceret areal	[ha]	2,0	3,0

4. Anvendelse af model

Den opsatte MIKE URBAN-model for oplandet til Gummerup renseanlæg kan bruges til:

- At undersøge styringspotentialet i oplandet.
- At udføre overløbsberegninger fra systemet til regnvandssystemet og lokale recipienter.
- At undersøge stofbelastningerne fra fælles- og spildevandssystemet til regnvandssystemet samt lokale recipienter.

KRÜGER VEOLIA

Bilag AP2-1: Mobil renseanlæg – Forsøg med aktiv slam drift

HEPWAT - Mobilt renseanlæg

Forsøg med aktiv slam drift

Biosorption- & MBR-anlæg

Slut rapport August 2019

WATER TECHNOLOGIES

HEPWAT - Mobilt renseanlæg

Forsøg med aktiv slam drift

Biosorption- & MBR-anlæg

Udarbejdet af: Jesper Houbak Klitgaard

Kontrolleret af: Claus Poulsen Dahl

Udgave: 0

Ordrenummer: 1300 21011

Indholdsfortegnelse

1. Indledning 2

2. Modulopbygget mobilrenseanlæg 3
2.1 Overordnet opbygning 3
2.2 Online målere 3
2.3 Online styring og optimering 4
2.4 Biosorptionsanlæg 5
2.5 MBR-anlæg (Membran Bio Reaktor) 6
2.6 eXeno™ 6

3. Forsøg og resultater 7
3.1 Karakteristik af indløbsvandet 8
3.2 Biosorptionsanlæg 9
3.3 MBR-anlæg med aktiv slam drift 13

Bilagsliste

Bilag A
Informative illustrationer af HEPWAT mobilrenseanlæg

1. Indledning

Arbejdspakke 2 i HEPWAT projektet indeholder en række aktiviteter vedr. innovation indenfor spildevandsrensning, både for traditionelle parametre som N, P, COD/BOD og for miljøfremmede stoffer (lægemidler m.v.).

I arbejdspakken demonstreres et samlet koncept for integration af et nyt, fleksibelt og modulært system til spildevandsrensning. Systemet er kompakt og ressourceeffektivt, med et renere udløb end fra nuværende processer på Gummerup renseanlæg (C, N, P, miljøfremmede stoffer, patogener og mikroplast). Gummerup renseanlæg er den ideale placering af anlægget, da der ledes en større mængde industrispildevand sammen med husspildevandet til indløbet af anlægget, hvilket kan udnyttes til at optimere driften af anlægget og sænke driftsomkostningerne. Derudover er det også et mål at sænke etableringsomkostninger, samt at efterlade et mindre miljøaftryk.

Projektets mål	Succeskriterier
Miljømæssig forbedring i recipienter	Overløb sænkes med mindst 20 % Den samlede årlige belastning med N, P og COD sænkes med 50 %.
Miljømæssig forbedring vedr. lattergas.	Sænker N_2O emission med mindst 25 %.
Reduktion i udledningen af miljøfremmede stoffer (MFS)	Udledningen af lægemidler reduceres med minimum 50 %
CO_2-footprint sænkes markant	I forhold til traditionelt anlægsdesign og drift, sænkes det samlede CO_2 aftryk med mindst 20 % (eksklusiv lattergas emission)
Bedre anvendelse af industrispildevand	Industrispildevand modtages, når det kommunale renseanlæg har brug for det – uden forrensning hos industrien.
Reducerede omkostninger til anlæg	Udjævning af afløbsmængder sænker driftsomkostninger med 15-20 %
Driftsmæssige forbedringer	Lønomkostninger til drift sænkes med 20 %.
Øget sundhed hos medarbejderne.	Svovlbrinte-niveau (H_2S) under 10 ppm.

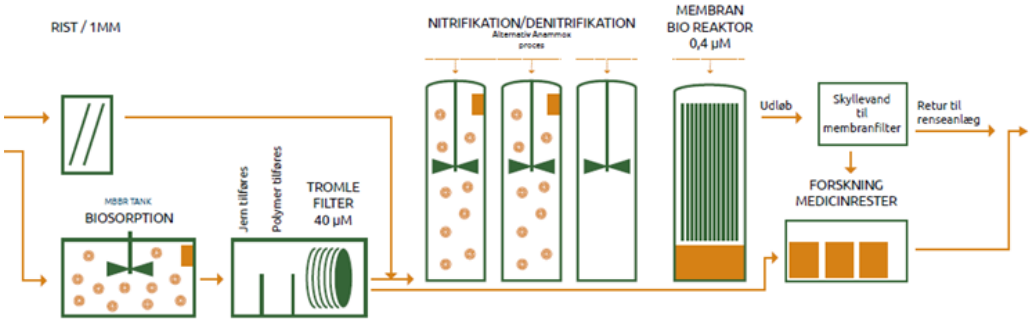
I denne rapport beskrives mobilrenseanlægget samt de resultater Krüger opnåede med biosorptionsanlægget og aktiv slam drift af MBR-anlægget. Der henvises til HEPWAT MUDP-rapporten og dets respektive bilag for restende resultater fra arbejdspakke 2.

2. Modulopbygget mobilrenseanlæg

2.1 Overordnet opbygning

Det modulopbyggede renseanlæg består overordnet af to systemer samt et efterfølgende ekstra rensetrin:

1. Biosorption (primært trin med MBBR og tromlefilter)
   Kulstofhøst til biogasproduktion
2. MBR (sekundært trin med biologiske tanke samt membraner til filtrering)
   N/DN (C, N, P, og mikroplast)
3. eXenoTM (tertiært trin med biologisk rensning i MBBR tanke)
   Biologisk fjernelse af miljøfremmede stoffer (lægemidler) og patogener



Figur 1: Opbygning af mobilrenseanlægget placeret på Gummerup renseanlæg

I HEPWAT projektet har Krüger designet, leveret og indkørt det modulopbyggede renseanlæg, som Assens Forsyning herefter har stået for driften af.

2.2 Online målere

Online målere er brugt i alle processer på mobilrenseanlægget for at maksimere kapaciteten af anlægget og gøre det mere robust overfor udsving i belastning.

Tabel 1 Liste over onlinemålere i Biosorptionsanlægget

Onlinemåler	Indløb	Biosorptionstank	Udløb
Turbiditet	1 stk	-	1 stk
Ilt + temperatur	-	1 stk	-

Tabel 2 Liste over onlinemålere i MBR-anlægget

Onlinemåler	Mellempumpe-station	N/DN tanke	MBR tank
COD	1 stk	-	-
Tørstof + temperatur	-	-	1 stk
pH	-	1 stk	-
Ilt + temperatur	-	1 stk	-
Ammonium	1 stk	2 stk	-
Lattergas	-	2 stk	-
Nitrit	-	1 stk	-
Nitrat	-	2 stk	-
Fosfat	-	1 stk	-

2.3 Online styring og optimering

Både på det eksisterende Gummerup renseanlæg og på det nye modulopbyggede renseanlæg er der installeret STAR online styring, hvor onlinemålinger fra anlæggene anvendes til at optimere driften, så processerne køres så energioptimalt som muligt og samtidig giver det bedst mulige renseresultat.

Tabel 3 Liste over STAR styringer på Gummerup Renseanlæg og mobilrenseanlæg

STAR styring	Gummerup Renseanlæg	Mobilt renseanlæg
Fase/ilt alternerende	X	
Returslam	X	
Fase / ilt recirkulerende		X
Metal (fosfor fældning)		X
Recirkulation		X
Slamalder		X
Kulstofstyring		X

2.3.1 Gummerup Renseanlæg

Der er etableret online STAR2 Utility Solutions™ styring af det eksisterende Gummerup renseanlæg. På renseanlægget er der implementeret Fase/ilt og Returslam modulbaserede STAR-styringer.

Fase/ilt alternerende

STAR fasestyring er en dynamisk styring af faselængder ud fra aktuelle koncentrationer af ammonium, nitrat og ilt. Med online måling af parametrene kan STAR løbende tilpasse fordelingen mellem nitrifikations- og denitrifikationstid i forhold til den aktuelle belastning døgnet rundt, hverdag og weekend, i tørvejr og regnvejr.

Returslam

STAR returslamstyring er en dynamisk styring af returslamsflowet ud fra aktuelle slamspejl niveau i efterklaringstank og SS koncentrationen i selve flowet. Styringen har som overordnede formål, at transportere slam tilbage til luftningstanke og at regulere slam beholdningen i efterklaringstanke.

2.3.2 Mobilrenseanlæg

Der er etableret online STAR2 Utility Solutions™ styring af mobilrenseanlægget. Der er implementeret Fase/ilt/IFAS, Metal, Recirkulation, Slamalder og udtag, Kulstofstyring modulbaserede STAR-styringer.

Fase/ilt recirkulation - Anammox IFAS

Som nævnt ovenfor, STAR fasestyring er en dynamisk styring af faselængder ud fra de aktuelle koncentrationer. Selvom begreberne “fase” og “faselængde” benyttes normalt ikke i denne sammenhæng, det har således vist sig fordelagtigt at kopiere styring fra alternerende anlæg til recirkulerende anlæg og benytte luftningssektionen til både nitrifikation og denitrifikation.

Metal

Formålet med styringen af metaldoseringen er at økonomisere brugen af fældningskemikalier samt at styrke en eventuelt biologisk fosforfjernelse mest muligt.

Recirkulation
Formålet med STAR-styring af recirkulation er at lave en dynamisk regulering af recirkulationsgraden, så N-fjernelsen optimeres og der kun recirkuleres det, der er nødvendigt for at opnå den ønskede udløbskvalitet.

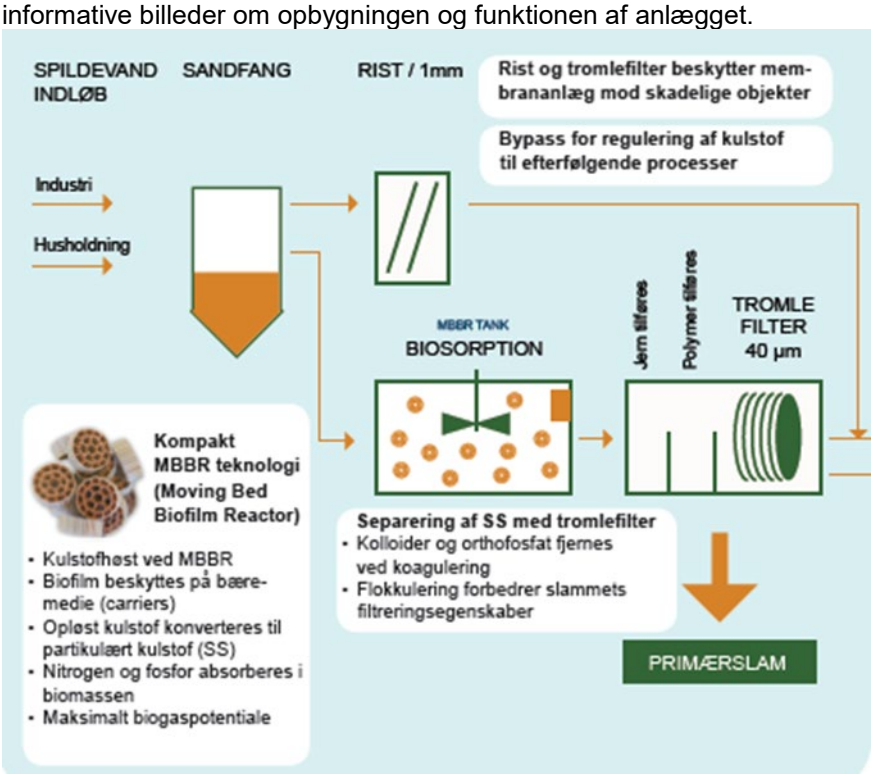
Slamalder og udtag
STAR slamalderstyring tilstræber, at slammet ikke ophobes i luftningstankene længere tid end højst nødvendigt. Dermed vil der altid være slam nok til at sikre en god rensning og samtidig undgås, at slammet stabiliseres i luftningstankene.

Ved at mindske slamstabilisering i luftningstankene spares der på energi til beluftningen og der produceres mere gas, når slammet stabiliseres i rådnetankene. Endvidere opnås en højere hydraulisk kapacitet af det biologiske anlæg.

Kulstofstyring for-filtrering
Formålet med STAR kulstofdosering er at opnå en bedre kvælstoffjernelse ved at sikre, at denitrifikationsprocessen kan forløbe tilfredsstillende samtidig med, at der ikke tilføres mere kulstof end højst nødvendigt.

2.4 Biosorptionsanlæg

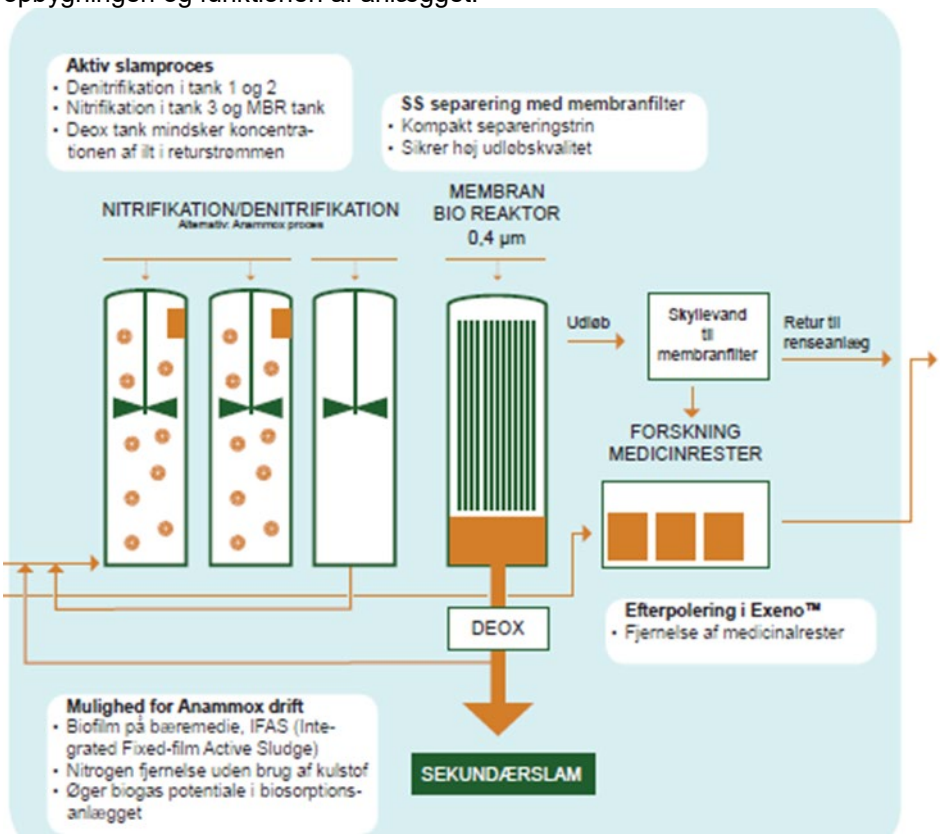
Biosorptionsanlægget består af en container med en MBBR-C proces, hvor opløst kvælstof, fosfor og kulstof omdannes til partikulært stof samt et efterfølgende tromlefilter til fjernelse af partikulært stof. Der er desuden et bypass af MBBR-tanken, som via en finrist kan ledes direkte til det sekundøre biologiske trin. Til sidst i rapporten findes større informative billeder om opbygningen og funktionen af anlægget.



Figur 1 Oversigt over biosorptionsanlægget. En forstørrelse af billedet findes bagerst i rapporten.

2.5 MBR-anlæg (Membran Bio Reaktor)

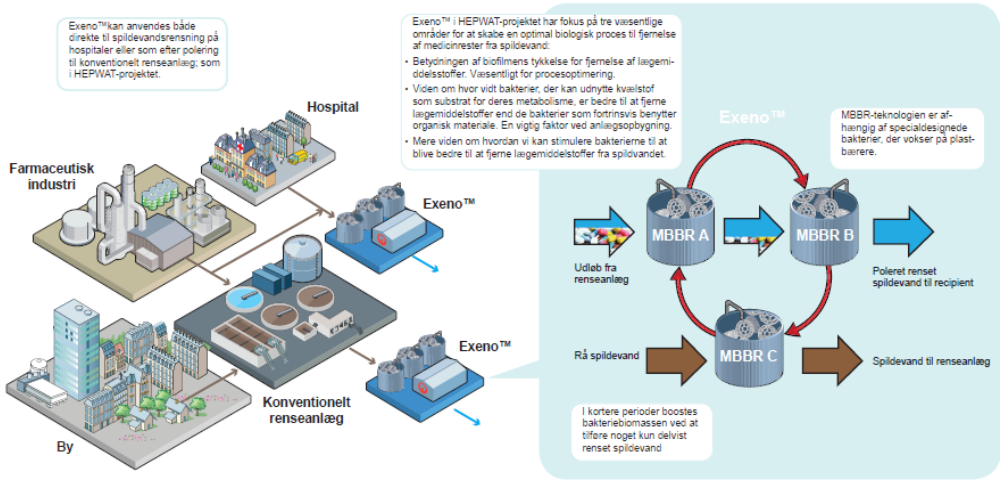
Modulanlæggets sekundære trin er et MBR-anlæg (Membran Bio Reaktor). MBR er en aktiv slamproces bestående af tre luftningstanke, (her med mulighed for drift med bærelegemer i, mainstream anammox drift - IFAS, Integrated Fixed film Activated Sludge), samt en membrantank. Til sidst i rapporten findes større informative billeder om opbygningen og funktionen af anlægget.



Figur 2 Oversigt over modulanlæggets sekundære, trin MBR-anlægget. En forstørrelse af billedet findes bagerst i rapporten.

2.6 eXeno™

Modulanlæggets tertiære trin er en biologisk efterpolering i en MBBR-proces for at fjerne miljøfremmede stoffer. For mere detaljeret beskrivelse se rapport i bilag.



Figur 3 Oversigt over eXeno™-anlægget og driftsprincip

3. Forsøg og resultater

Formålet er at kunne dokumentere et mobilt 5.000 PE renseanlæg med et bedre miljøaftryk, samt lavere etablerings- (mindre betonarbejde) og driftsomkostninger end et konventionelt renseanlæg.

Overløb til recipient

Aktiviteter i opland til udligning af flow (voldtofte bassin) udligner spidsbelastningen v. regn-hændelser og mobilrenseanlægget kan behandle halvdelen af Gummerups tørvejrsflow. Se bilag til Arbejdspakke 1.

Udledning af N, P og COD

Den overordnede renseeffektivitet samt endelige udløbskoncentrationer er målt og optimeret undervejs i projektet. Kulstof (C) høstes først vha. en MBBR med høj belastning, hvor der også optages store mængder kvælstof (N) og fosfor (P) som en del af den biologiske vækst. Kvælstof fjernes derefter ved enten en traditionel aktiv slam proces eller en ANAMMOX proces. ANAMMOX processen er især interessant, da den ikke benytter kulstof. Resterende fosfor fjernes ved kemisk fældning. For resultater på forsøg m. ANAMMOX se rapport i bilag.

Lattergas (N_2O) emission

Det biologiske trin (ANAMMOX) er optimeret baseret på erfaringer fra LaGAS projektet med henblik på at begrænse emissionen af lattergas. Emissionen blev kontrolleret via online målinger fra de biologiske tanke, samt udløb. For resultater på forsøg om Lattergas se rapport i bilag.

Svovlbrinte i arbejdsmiljø og reduceret vedligeholdelse

Det forventes at arbejdet udført i oplandet til Gummerup renseanlæg i arbejdspakke 1 har forbedret arbejdsmiljøet og reduceret behovet for vedligeholdelse på anlægget ved at mindske mængden af svovlbrinte i indløbet til anlægget. Se bilag arbejdspakke 1.

Udledning af miljøfremmede stoffer (MFS)

Mikroplast og patogene bakterier fjernes fra spildevandet ved filtrering gennem en mikrofiltreringsmembran (MF), hvor de tilbageholdes i slammet. Medicin rester fjernes derefter fra permeatet ved en MBBR-proces udviklet gennem MUDP-projektet MERMISS

(MFS fjernelse i hospitalsspildevand). For resultater på forsøg med eXeno™ og tilbageholdelse af patogene bakterier se rapporter i bilag.

Rensning af ubehandlet industrispildevand
Biosorptionsanlægget er designet til at kunne maksimere kulstofhøsten, ved kun at omsætte det opløste organiske materiale efterfulgt af fjernelse af suspenderet stof i et tromlefilter. Et kulstofstyringsmodul til STAR online styring er installeret for at balancere kulstofhøsten i biosorptionsanlægget ift. behovet for organisk stof til den efterfølgende biologiske kvælstoffjernelse i MBR-anlægget. Der er ikke installeret en separat tank til industrispildevandet fra Kerry under forsøgene, da det vil ændre på spildevandet i indløbet til Gummerup renseanlæg.

Driftsomkostninger
Mobilrenseanlægget er bygget med en høj grad af automation for at mindske driftsomkostningerne på anlægget. Tromlefilteret i biosorptionsanlægget og membranmodulet i MBR-anlægget kræver dog ugentlig rensning, hvor anlægget må stoppes. På et evt. fuldskala anlæg vil dette blive automatiseret og med parallelle proceslinjer, så anlægget kan fortsætte i drift under rensning.

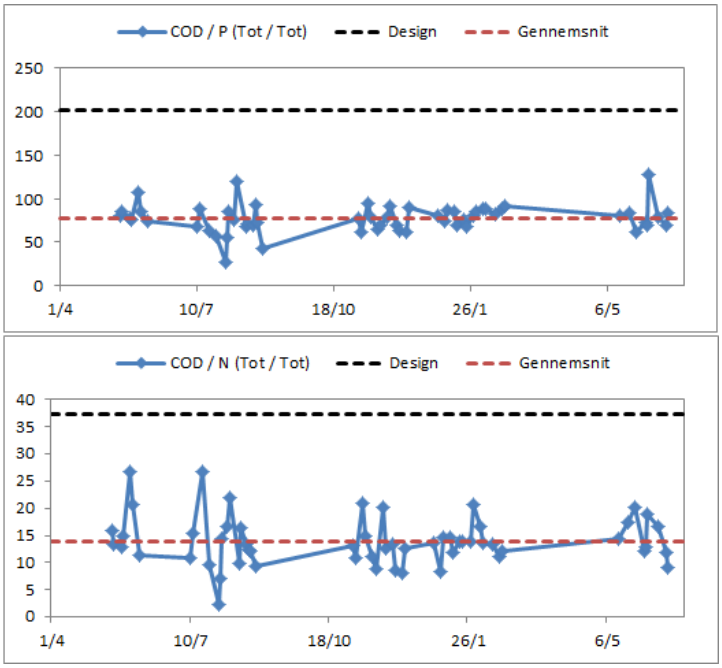
3.1 Karakteristik af indløbsvandet

Spildevandet i indløbet til modul renseanlægget blev pumpet ind fra sandfanget på det eksisterende Gummerup renseanlæg. Spildevandet havde følgende karakteristik:

Tabel 4 Oversigt over spildevandssammensætningen, designgrundlag og sammenligning af de to for mobilrenseanlæg i perioden 2018-04-01 til 2019-07-04

Parametre	Gennemsnit indløbskonc. til mobilrenseanlæg 2018-04-01 til 2019-07-04	Designgrundlag	Indløbskonc ift. designgrundlag
COD *total*	1100 mg/L	1350 mg/L	80 %
COD *opløst*	190 mg/L	490 mg/L	39 %
BOD *total*	380 mg/L	790 mg/L	48 %
BOD *opløst*	130 mg/L	300 mg/L	42 %
Suspenderet stof	670 mg/L	460 mg/L	150 %
P *total*	14 mg/L	6,7 mg/L	210 %
P *opløst (O-PO_4)*	2,7 mg/L	2,7 mg/L	99 %
N *total*	77 mg/L	36 mg/L	210 %
N *ammonium*	41 mg/L	25 mg/L	160 %

Under projektet er det observeret, at spildevandet i indløbet til modul renseanlægget afveg fra den forventede sammensætning. Dette udmærkede sig især ved den lavere koncentration af kulstof, samt fordoblingen af mængden af kvælstof og fosfor. Tilsammen betød det at C/N forholdet ændrede sig drastisk fra forventet 37 (COD_{tot}/TN) til 14 (COD_{tot}/TN), og C/P forholdet ændrede sig fra forventet 200 (COD_{tot}/TP) til 77 (COD_{tot}/TP).



Figur 4 C/N og C/P forhold i indløbet til mobilrenseanlægget i perioden 2018-04-01 til 2019-07-04. Baseret på analyser af døgnprøver (COD-total, P-total og N-total).

3.2 Biosorptionsanlæg

I løbet af projektet er mobilrenseanlægget blevet testet med forskellige konfigurationer og styringer af biosorption- og MBR-anlæg:

- Periode 1 (15. august - 27. august, 2018)
  Biosorptionsanlæg (m. polymer dos.) + MBR-anlæg med aktiv slam drift
- Periode 2 (13. maj - 24. juni, 2019)
  Biosorptionsanlæg (m. polymer dos.) + MBR-anlæg med aktiv slam drift + STAR online styring

I periode 1 blev HEPWAT mobilrenseanlæg testet ved fuld belastning med en kombination af biosorptionsanlæg (MBBR kulstofhøst) og MBR aktiv slam proces. Procesoptimering har været udført løbende gennem perioden. mobilrenseanlægget har i gennemsnit været belastet med 4.200 PE (85 % af design), hvoraf 2.500 PE blev tilført biosorptionsanlægget og 1.700 PE via bypass direkte til MBR-anlægget. PE belastningen er beregnet baseret på flowproportionelle døgnprøver. Suspenderet stof, total COD og total kvælstof udgjorde den største belastning af anlægget.

Tabel 5 Oversigt over renseresultater opnået under stabil drift for biosorptionsanlægget i testperioden 15 - 27. august 2018 (Periode 1)

Periode 1 **Parametre**	**Indløb biosorp.** **15 - 27. aug 2018**	**Udløb biosorp.** **15 - 27. aug 2018**	**% Reduktion** **15 - 27. aug 2018**
COD *total*	590 - 1300 mg/L	39 - 75 mg/L	89 - 96 %
COD *opløst*	67 - 330 mg/L	29 - 52 mg/L	57 - 88 %
BOD *total*	170 - 560 mg/L	5,0 - 14 mg/L	92 - 99 %
BOD *opløst*	27 - 200 mg/L	< 3,0 - 9,0 mg/L	94 - 98* %
Suspenderet stof	330 - 790 mg/L	3,0 - 8,0 mg/L	98 - 100 %
P *total*	8,6 - 20 mg/L	0,41 - 1,2 mg/L	93 - 97 %
P *opløst* ($O\text{-}PO_4$)	1,8 - 4,9 mg/L	< 0,30 - 1,1 mg/L	Ikke målbar **

N *total*	60 - 100 mg/L	36 - 62 mg/L	26 - 61 %
N *ammonium*	49 - 69 mg/L	28 - 47 mg/L	17-57 %

** En eller flere udløbsresultater er under detektionsgrænsen og medregnes derfor ikke i %reduktion*

*** Der er for få udløbsresultater over detektionsgrænsen og %reduktion kan derfor ikke udregnes*

I periode 2 blev mobilrenseanlægget igen testet ved fuld belastning med en kombination af biosorptionsanlæg (MBBR kulstofhøst) og MBR aktiv slam proces, efter forsøg med mainstream anammox var afsluttet i vinteren 2018-2019. Indkøring og optimering af online STAR styring har været udført løbende gennem perioden. Mobilrenseanlægget var i periode 2 i gennemsnit belastet med 4.100 PE (83 % af design), hvoraf 1.800 PE var tilført biosorptionsanlægget og 2.300 PE via bypass direkte til MBR-anlægget. Den gennemsnitlige belastning i periode 2 stiger til 4.500 PE (LiveLab), 2.000 PE (Biosorption) og 2.500 PE (Bypass), hvis der ses bort fra døgnprøven d. 19. juni, hvor stofkoncentrationen var markant lavere end alle andre målinger. Suspenderet stof, total COD og total kvælstof udgjorde den største belastning af anlægget lige som i periode 1.

Tabel 6 Oversigt over renseresultater opnået under stabil drift for biosorptionsanlægget i testperioden 13. maj - 24. juni 2019 (Periode 2)

Periode 2 Parametre	**Indløb biosorp 13. maj - 24. juni 2019**	**Udløb biosorp. 13. maj - 24. juni 2019**	**% Reduktion 13. maj - 24. juni 2019**
COD *total*	370 - 1400 mg/L	28 - 110 mg/L	90 - 98 %
COD *opløst*	43 - 260 mg/L	22 - 38 mg/L	37 - 92 %
BOD *total*	140 - 460 mg/L	4,5 - 12 mg/L	97 - 98 %
BOD *opløst*	28 - 230 mg/L	< 3,0 - 4,5 mg/L	93 - 98* %
Suspenderet stof	230 - 1000 mg/L	2,5 - 18 mg/L	97 - 100 %
P *total*	4,4 - 21 mg/L	0,64 - 2,6 mg/L	80 - 96 %
P *opløst (O-PO_4)*	0,88 - 3,6 mg/L	0,36 - 2,6 mg/L	28 - 87 %
N *total*	40 - 92 mg/L	25 - 41 mg/L	39 - 63 %
N *ammonium*	24 - 56 mg/L	2,0 - 35 mg/L	32 - 92 %

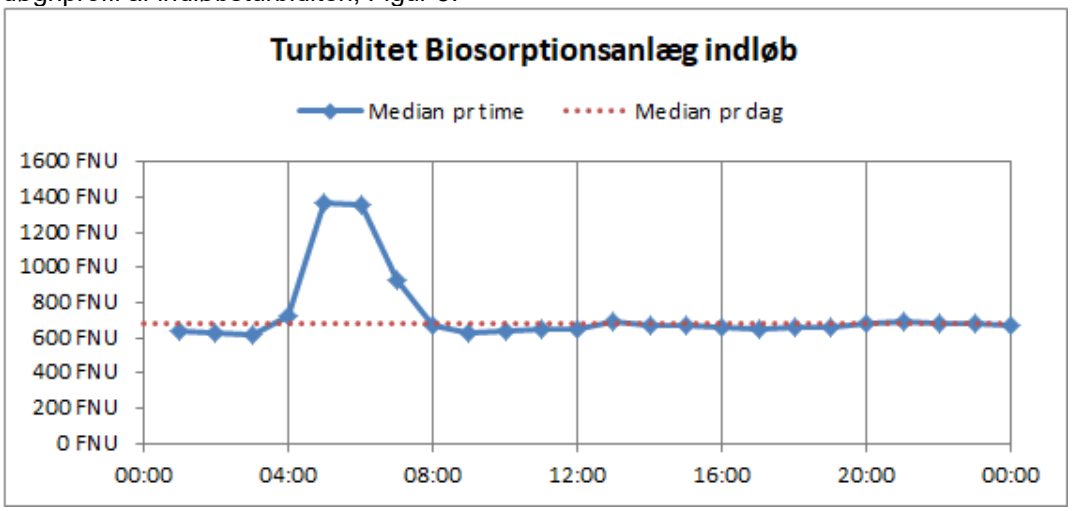
** En eller flere udløbsresultater er under detektionsgrænsen og medregnes derfor ikke i %reduktion*

For både periode 1 og 2 ses det, at koncentrationen af kulstof (COD, BOD og SS) var lav i udløbet fra biosorptionsanlægget uafhængig af svingende indløbskoncentrationer. Opløst bionedbrydeligt organisk stof blev reduceret med over 93 % uden dosering af koagulant som forbehandling til tromlefilteret. Reduktionen foregik derfor udelukkende ved biosorption i MBBR processen. 97-100 % af det partikulære og absorberede kulstof (suspenderet stof) blev høstet i tromlefilteret med brug af forflokkulering (anionisk polymer).

En del af fosfor og kvælstof fjernelsen på HEPWAT modul renseanlægget foregik ved absorption i biomassen i biosorptionsanlægget. Koncentrationen af opløst organisk stof i indløbet var i forsøgsperioden under halvdelen af designgrundlaget. Det betød at reduktionen af fosfor og kvælstof i biosorptionsanlægget var nedsat (se Tabel 5 og Tabel 6), hvilket gav en højere P- og N-belastning af MBR-anlægget.

Fosformangel i biosorptionsanlægget kan være begrænsende for biosorptionen ved høj omsætning af organisk stof. I periode 1 og 2 blev der ikke registreret nedsat renseeffekt pga. fosformangel. Det stemmer overens med det lavere end forventede indhold af opløst BOD og uændret indhold of orto-fosfat i indløbet til LiveLab, Tabel 4.

Gummerup RA blev valgt til placeringen af LiveLab pga. den belastning der er fra kulstofrigt industrispildevand. Under forsøgene blev det noteret, at turbiditeten ind i mobilrenseanlægget varierede kraftigt i løbet af døgnet. Det kan ses ved at beregne en døgnprofil af indløbsturbiditen, Figur 5.



Figur 5 Døgnprofil af indløbsturbiditeten til Biosorptionsanlægget, 2018-04-01 til 2019-06-27

Den almindelige peak timebelastning (1400 FNU) var dobbelt så høj som døgnbelastningen (680 FNU). Den markant højere timebelastning ift. døgnbelastningen var et af fokuspunkterne i projektet, hvor det meget kompakte LiveLab blev testet med store udsving i belastning. Kompakte processer som MBBR har en lav opholdstid og timeværdier er derfor vigtige i designet af processen. Det var især beluftningen i biosorptionsanlægget, som var en af udfordringerne i designet af mobilrenseanlægget, hvor der var begrænsninger for udformningen af procestanken. Brugen af en container til MBBR gør anlægget mobilt og gjorde det hydraulisk muligt at bruge et kompakt og effektivt tromlefilter efter procestanken. Traditionelt ønskes en dybere procestank for bedre overførsel af ilt til spildevandet ved bundbeluftning. Tilførsel af ilt kan derfor være begrænsende for omsætningen af organisk stof ved høj belastning. MBBR-tanken på mobilrenseanlægget var udstyret med en ilt-måler, som blev brugt til styring af bundbeluftningen og til at logge ilt-koncentrationen. Henover periode 2 ses det, at iltkoncentrationen dykkede fra sætpunktet på 3,0 mg/L kl. 7 til 1,5 mg/L kl 10. Herefter steg iltkoncentrationen igen, men kom først op på sætpunktet igen kl. 4. Denne trend viser, at biosorptionsanlægget til en vis grad var begrænset af tilførslen af ilt, men for samme periode viser døgnprøverne at opløst BOD ikke oversteg 4,5 mg/L (93-98 % reduktion, Tabel X), trods det lavere iltindhold. Erfaringerne fra LiveLab viser, at det er vigtigt at medtage udformningen af MBBR procestanken ift. udnyttelse af bundbeluftning i fremtidige design, og at biosorptionsprocessen også fungerer effektivt ved lavere end ideel iltkoncentration.

Udløbskoncentrationen af nitrat fra biosorptionanlægget adskilte sig i periode 2 fra periode 1. I begge perioder var koncentrationen af nitrat i indløbet lig nul, men udløbskoncentrationen steg fra 1,3 mg/L i periode 1 til 11 mg/L i periode 2. Den eneste

forskel i driftsparametre mellem de to perioder var indløbsflowet, 12 m^3/t (periode 1) og 8 m^3/t (periode 2). Den lavere hydrauliske belastning betød en lavere organisk belastning af biosorptionsanlægget, hvilket gjorde at nitrificerende bakterier kunne trives i biofilmen og er dermed bidrage til nitrifikationsprocessen på mobilrenseanlægget. Tilstedeværelsen af nitrifikation i biosorptionsanlægget i periode 2 kunne også ses i udløbskoncentrationen af ammonium, som faldt fra 28-47 mg/L (periode 1) til 2,0-35 mg/L (periode 2).

3.3 MBR-anlæg med aktiv slam drift

Aktiv slam drift af MBR-anlægget blev testet under fuld belastning samtidig med biosorptionsanlægget i periode 1 og 2, se første del af afsnit 3.2. Indløbskoncentrationen til MBR-anlægget er beregnet baseret på døgnprøver af udløb fra biosorptionsanlægget og bypass af biosorptionsanlægget.

Tabel 7 Oversigt over renseresultater opnået under stabil drift for MBR-anlægget i testperioden 15-27. august 2018 (Periode 1)

Periode 1 Parametre	Beregnet Indløb MBR-anlæg 15 - 27. aug 2018	Udløb MBR-anlæg 15 - 27. aug 2018	% Reduktion 15 - 27. aug 2018
COD *total*	250 - 590 mg/L	16 - 24 mg/L	90 - 97 %
COD *opløst*	44 - 160 mg/L	17 - 20 mg/L	62 - 89 %
BOD *total*	68 - 240 mg/L	< 1,0 - 3,4 mg/L	Ikke målbar **
BOD *opløst*	11 - 89 mg/L	< 1,0 - < 3,0 mg/L	Ikke målbar **
Suspenderet stof	120 - 330 mg/L	< 0,60 - < 2,0 mg/L	Ikke målbar **
P *total*	3,4 - 8,8 mg/L	0,063 - 0,94 mg/L	97 - 99* %
P *opløst (O-PO_4)*	0,63 - 2,6 mg/L	< 0,33 mg/L	Ikke målbar **
N *total*	49 - 80 mg/L	4,7 - 13 mg/L	74 - 92 %
N *ammonium*	42 - 56 mg/L	< 0,10 - 3,7 mg/L	93 - 100* %
N *nitrat*	0,21 - 0,64 mg/L	4,0 - 12 mg/L	-

** En eller flere udløbsresultater er under detektionsgrænsen og medregnes derfor ikke i %reduktion*

*** Der er for få udløbsresultater over detektionsgrænsen og %reduktion kan derfor ikke udregnes*

Tabel 8 Oversigt over renseresultater opnået under stabil drift for MBR-anlægget i testperioden 13. maj - 24.juni 2019 (Periode 2)

Periode 2 Parametre	Beregnet Indløb MBR-anlæg 13. maj - 24. juni 2019	Udløb MBR-anlæg 13. maj - 24. juni 2019	% Reduktion 13. maj - 24. juni 2019
COD *total*	230 - 850 mg/L	16 - 23 mg/L	93 - 98 %
COD *opløst*	33 - 180 mg/L	< 15 - 22 mg/L	56 - 90* %
BOD *total*	86 - 280 mg/L	< 1,0 - < 3,0 mg/L	Ikke målbar **
BOD *opløst*	17 - 140 mg/L	< 1,0 - 4,3 mg/L	Ikke målbar **
Suspenderet stof	140 - 560 mg/L	< 0,60 - < 2,0 mg/L	Ikke målbar **
P *total*	2,9 - 12 mg/L	< 0,050 - 0,30 mg/L	94 - 98* %
P *opløst (O-PO_4)*	0,67 - 3,2 mg/L	< 0,33 - 0,36 mg/L	Ikke målbar **
N *total*	34 - 70 mg/L	3,9 - 15 mg/L	67 - 91 %
N *ammonium*	15 - 47 mg/L	0,12 - 1,6 mg/L	95 - 100 %
N *nitrat*	0,33 - 11 mg/L	1,7 - 13 mg/L	-

** En eller flere udløbsresultater er under detektionsgrænsen og medregnes derfor ikke i %reduktion*

*** Der er for få udløbsresultater over detektionsgrænsen og %reduktion kan derfor ikke udregnes*

BOD-total, BOD-opløst, og suspenderet stof var ikke detekterbart i udløbet fra MBR-anlægget i periode 1 og 2 på nær i to døgnprøver (3,4 mg BOD-total / L og 4,3 mg BOD-opløst / L), hvor der var opnået henholdsvis 99 og 97 % reduktion. Samme høje reduktion kan genfindes for COD resultaterne, hvor opløst og total COD blev reduceret konsekvent til et niveau på 15 - 24 mg/L uafhængig af indløbskoncentrationen (33 - 850 mg/L). Det var tydeligt, at alt partikulært stof blev tilbageholdt i membranfiltreringen, da

koncentrationen af opløst og total COD i udløbet fra MBR-anlægget var identisk. Dette var også at forvente, da forskellen på analyser for opløst og total stof i spildevand ofte er filtrering af prøven med et membranfilter lig det der var installeret på mobilrenseanlægget. Sammenligning af analyseresultater for total og opløst stof (f.eks. COD og BOD) kan derfor være en simpel metode til at eftervise integriteten af membranfilteret.

Den overskydende fosfor fra aktiv slam processen blev fældet med jernklorid i deox-tanken. I periode 1 var fosfor fældningen styret med fast doseringssætpunkt, mens der i periode 2 blev styret ved STAR online styring. Introduktionen af online styringen mere end halverede den gennemsnitlige udløbskoncentration fra 0,83 til 0,35 mg/L. Alle analyser af opløst fosfor i udløbet fra MBR-anlægget i periode 1 og 2 var under detektionsgrænsen (0,33 mg/L) på nær én enkelt prøve i periode 1 (0,42 mg/L).

Indtrimning af nitrifikation- og denitrifikationsprocessen var udfordret af den uventede sammensætning af spildevandet i indløbet til mobilrenseanlægget (COD-total = 80 %, COD-opløst = 39 %, N-total = 210 %, N-ammonium = 160 %). Den reducerede mængde opløst kulstof i indløbet betød, at biosorptionsanlægget absorberede en reduceret mængde kvælstof. Derudover betød den forhøjede koncentration af ammonium i indløbet, at der skulle bypasses en større end forventet mængde spildevand forbi biosorptionsanlægget for at have nok kulstof til denitrifikationen. Det øgede kvælstof belastningen af MBR-anlægget, da biosorptionsanlægget ikke var med til at behandle, det spildevand som blev bypasset. I periode 2 ses det dog, at online kulstofstyringen favoriserede en større mængde af indløbet til bypass af biosorptionsanlægget end der blev manuelt indtrimmet til i periode 1. Det resulterede i, at biosorptionsanlægget ikke høstede samme mængde kulstof som i periode 1, men også at biosorptionstanken fungerede som nitrifikationsvolumen. I periode 1 var den gennemsnitlige udløbskoncentration af ammonium fra biosorptionsanlægget 39 mg/L med en reduktion på 28 %. Det faldt til 18 mg/L i periode 2 med en reduktion på 57 %. Så ved at sænke belastningen til biosorptionsanlægget med 33 % blev ammonium koncentrationen sænket med 54 %, hvilket samlet gav en mindre belastning af MBR-anlægget. Dette er et eksempel på hvordan online styringen aktivt er med til at forbedre udløbskvaliteten på mobilrenseanlægget. I stedet for faste regler, valgte den dynamiske styring, hvornår og hvor meget kulstof man kunne høste, baseret på den ønskede udløbskvalitet. Det gjorde, at daglige ændringer i spildevandet, som store udsving fra industriafløb, bedre kunne udnyttes uafhængig af, hvornår det blev tilført.

Et af fokuspunkterne med LiveLab var ”*Miljømæssig forbedring i recipienter*” hvor målet var, at ”*Den samlede årlige belastning med N, P og COD sænkes med 50 %* “.

Tabel 9 Oversigt over gennemsnitlige renseresultater opnået under stabil drift for mobilrenseanlægget i periode 1 og 2 ift. den gennemsnitlige udledning fra Gummerup RA 2014 - 2017.

Parametre	Gummerup RA udløb 2014 - 2017	LiveLab udløb Periode 1	LiveLab udløb Periode 2	% For-bedring Periode 1	% For-bedring Periode 2
COD *total*	27 mg/L	19 mg/L	18 mg/L	30 %	35 %
BOD *total*	3,7 mg/L	< 2,4** mg/L	< 2,8** mg/L	> 34** %	> 24** %
Suspenderet stof	14 mg/L	< 0,83** mg/L	< 0,91** mg/L	> 94** %	> 94** %
P *total*	0,94 mg/L	0,83 mg/L	0,35* mg/L	35 %	> 45* %
N *total*	3,6 mg/L	9,2 mg/L	7,7 mg/L	- 160 %	- 120 %
N *ammonium*	0,38 mg/L	0,25* mg/L	0,21 mg/L	> 11* %	63 %

** En eller flere udløbsprøver er ikke målbar og detektionsgrænsen bruges derfor i udregningen*

*** Der er for få udløbsprøver som er målbare og detektionsgrænsen bruges derfor i udregningen*

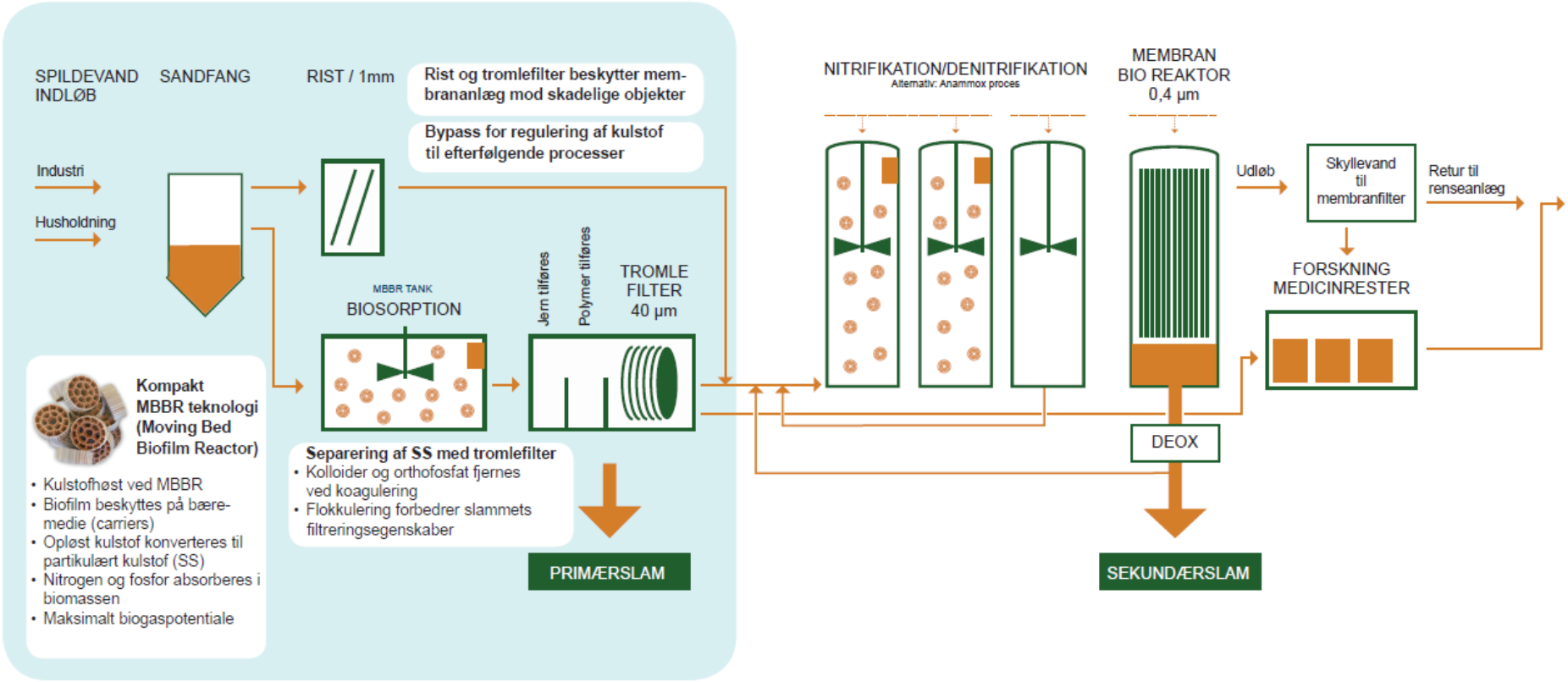
Den gennemsnitlige udledning fra Gummerup renseanlæg i årene 2014-2017 sammenlignes i Tabel 9 med den gennemsnitlige udledning fra LiveLab i periode 1 og 2. Der blev i de to perioder opnået 30 og 35 % bedre fjernelse af COD i LiveLab end på Gummerup RA. Den resterende mængde COD på 16-24 mg/L var opløst inert COD, som ikke kan fjernes ved konventionelle metoder.
Alle på nær 1 af total BOD analyserne var under detektionsgrænsen, og den ene døgnprøve, som var målbar, var kun lige over detektionsgrænsen. Det var derfor ikke muligt at dokumentere præcis, hvor stor en forbedring, der var opnået, men baseret på detektionsgrænsen, var det minimum 24 til 34 %.
Samme gjaldt for udledning af suspenderet stof, hvor ingen af døgnprøverne havde detekterbart indhold. Samme beregning blev derfor brugt for suspenderet stof som for BOD, hvilket gav en forbedring på minimum 94 % sammenlignet med den gennemsnitlige udledning fra Gummerup RA. Her ses effekten af membranfilteret, der fungerede som en absolut barriere for partikler.
Udledningen af fosfor afhang direkte af hvor effektiv en styring der var på den kemiske fældning. For mobilrenseanlægget ses det, at der blev opnået en 35 % forbedring ved fast dosering og minimum 45 % forbedring med online styring.
Kvælstof belastningen af anlægget var over dobbelt så stor som beskrevet i designgrundlaget, Tabel 4. Det betød, at procesvolumen for den biologiske kvælstof fjernelse var halv så stor ift. den belastning der blev ført til mobilrenseanlægget. Det var derfor ikke muligt at opnå en 50 % forbedring af udledningen, men med STAR online-styring (periode 2) var den gennemsnitlige udledning (7,7 mg/L) under udledningskravet for Gummerup RA (8,0 mg/L). Det var også muligt med online styringen i periode 2 at opnå en 63 % forbedring af udledning af ammonium, ved at benytte biosorptionsanlægget som en del af nitrifikationsprocessen.

Bilag A

Informative illustrationer af HEPWAT mobilrenseanlæg

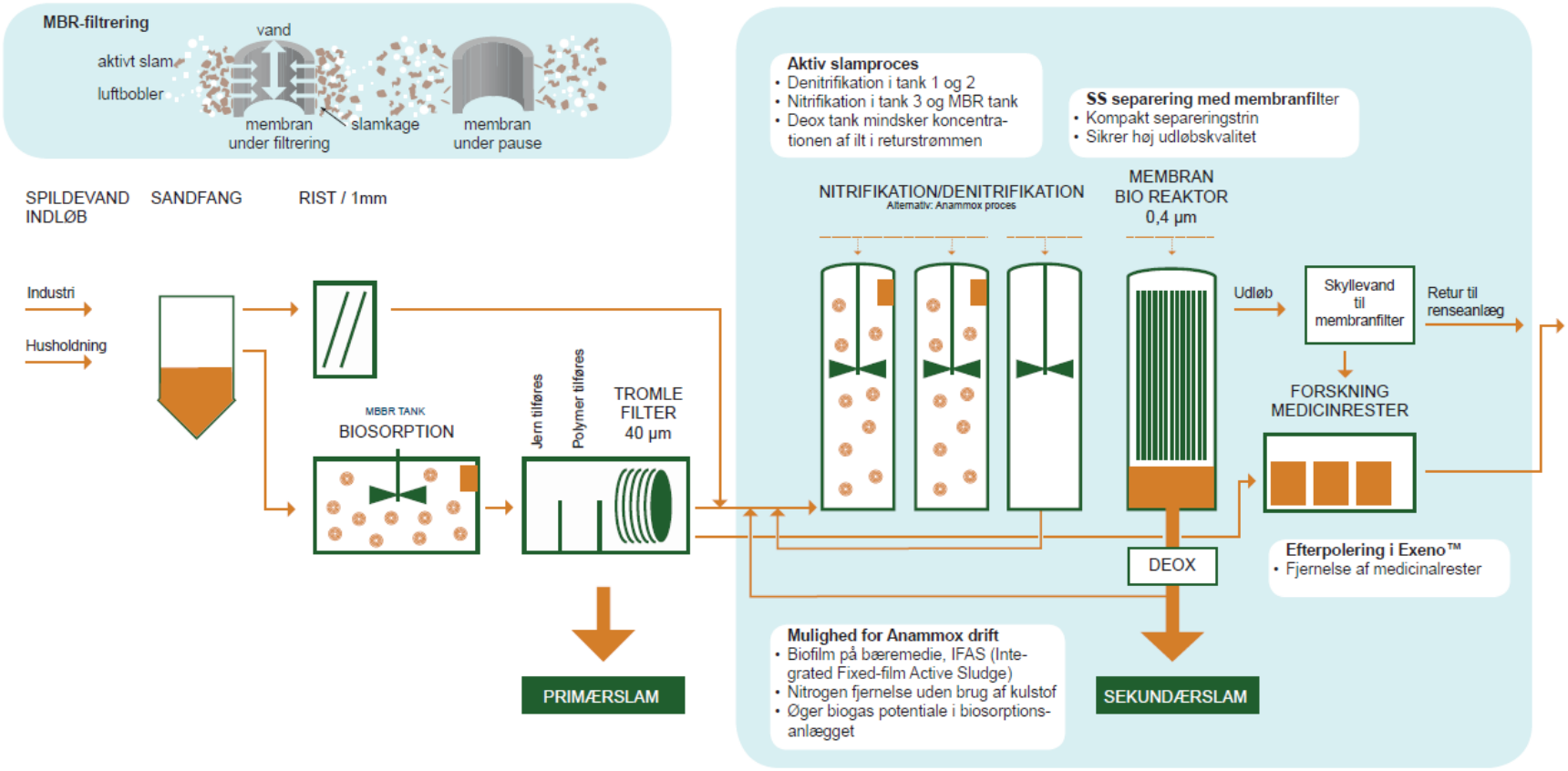
Biosorptionsanlæg

HEPWAT
Smart spildevand



MBR-anlæg

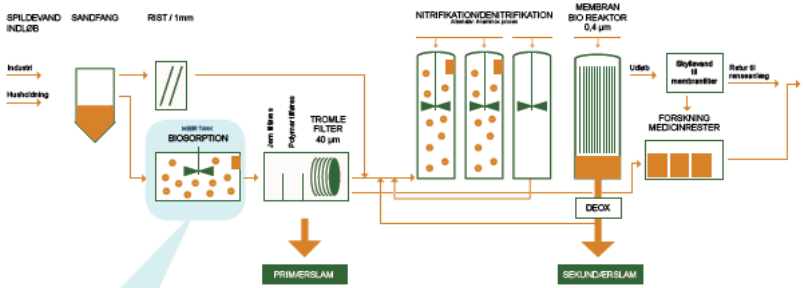
HEPWAT
Smart spildevand



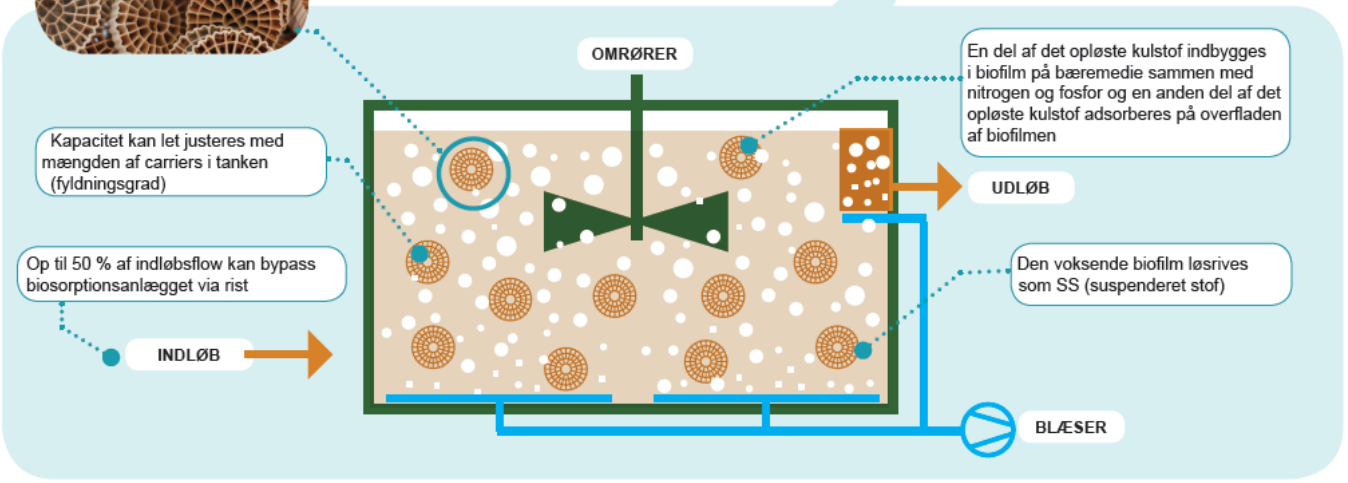
HEPWAT
Smart spildevand

Biosorptionstank (MBBR)

- MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)
- Kompakt og alsidig teknologi
- Designet til kulstof eller kvælstof fjernelse



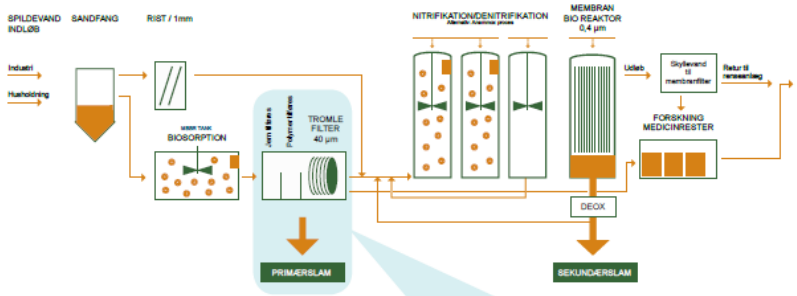
Biofilm-bæremedie kaldes "carries"
Carrier type: K5 (800 m2/m3)



HEPWAT
Smart spildevand

HYDROTECH Tromlefilter

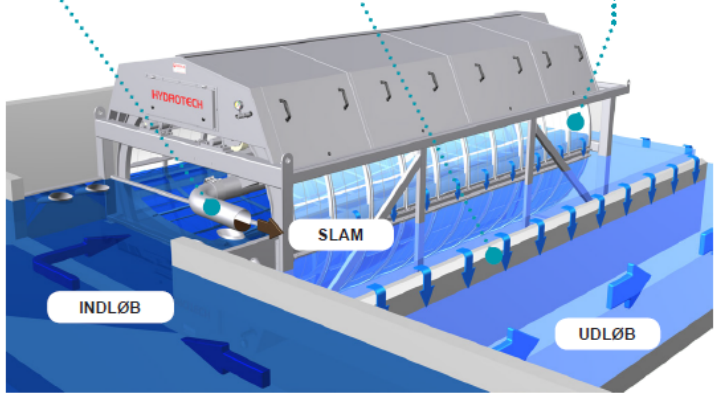
- Kompakt og effektiv slamseparation
- Driftssikker og velkendt teknologi



Gravitation driver flowet gennem dugen

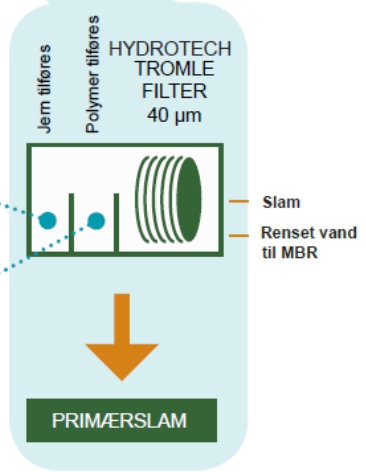
Automatisk skyllesystem holder stabilt niveauforskel gennem filteret

40 µm dug anvendt for størst fjernelse med minimum kemikalieforbrug – Beskytter membrananlægget for skadelige objekter



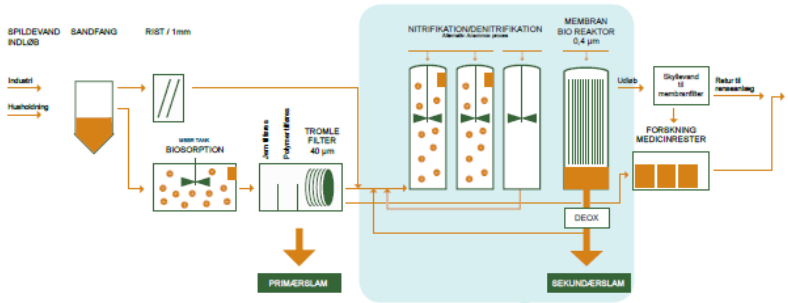
Dosering af koagulant foran filteret forbedrer fjernelsen af fosfor og kulstof

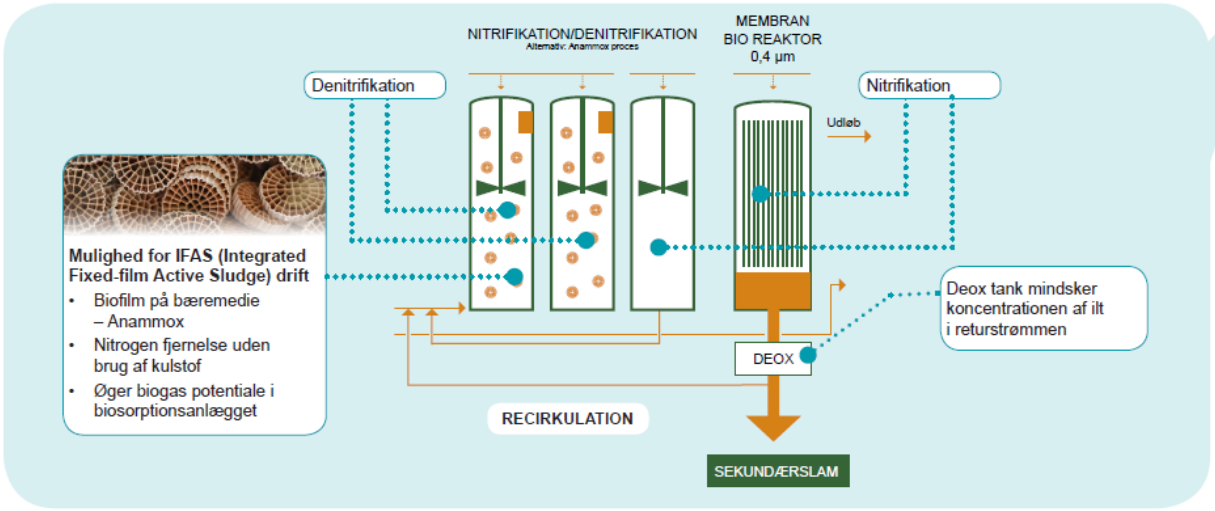
Dosering af polymer (flokkulering) foran filteret øger kapaciteten af filteret



HEPWAT
Smart spildevand

N/DN tanke – Aktiv slamproces

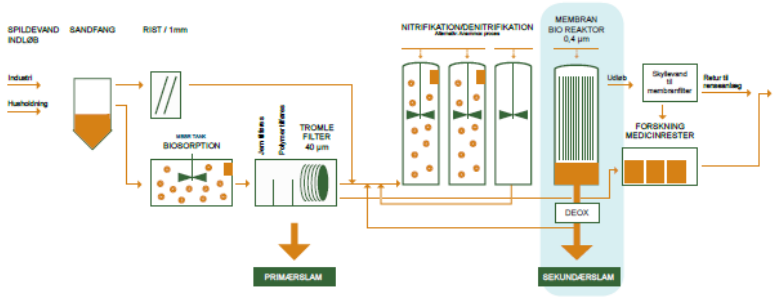




HEPWAT
Smart spildevand

Membran filtrering (MBR)

- Kompakt og effektiv slamseparation
- Tilbageholder suspenderet stof (SS) og bakterier

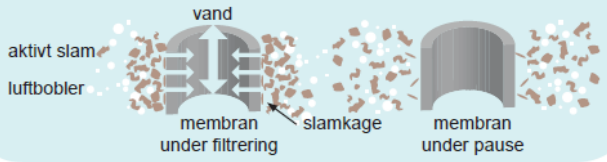


Membranenheden er bygget som en kassette med moduler af hollow fiber membraner (0,4 µm mikrofiltrering, MF)

Teknisk info

- Gravitation driver filtreringen og styres med reguleringsventil
- Luft system renser kontinuerligt membranerne på ydersiden
- Backwash (negativ flow) benyttes periodevis til at mindske fouling
- Klor og syre tilsættes for optimal rensning af membranen
- Det rensede vand (permeat) bruges til backwash
- Afgasseren fjerner luft som suges gennem membranen og sikrer at trykket holdes stabilt på permeat-siden af membranen

Pause-drift kørsel – Relaktionsintervaller mindsker fouling af membran



Bilag AP2-2: Autotrof kvælstoffjernelse i hovedstrømmen

Kontakt
Carlos Domingo-Félez, Post Doc på DTU Miljø.
cadf@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251617

Barth F. Smets, Professor på DTU Miljø.
bfsm@env.dtu.dk
Telefon: +45 45252230

Marlene Mark Jensen, Seniorforsker på DTU Miljø.
mmaj@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251551

Introduktion
Kulstofhøst fra spildevand kræver en efterfølgende behandling af spildevand med et lavt C/N forhold (den relative mængde af kulstof (C) i forhold til kvælstof (N)). Konventionelle teknologier ved brug af nitrifikation-denitrifikationsprocessen til kvæstoffjernelse bruger omkring 4 gange så meget energi i forhold til de nye teknologier, der gør brug as autotrof kvælstoffjernelse (aerob ammonium oxidation koblet med anammox processen). For eksempel, ved at skifte fra konventionel kvælstoffjernelse til autotrof kvælstoffjernelse forsvinder behovet for kulstof til denitrifikation (omdanner nitrat/nitrit til frit kvælstof) (Lackner et al. 2014). For at kunne gøre brug af anammoxprocessen (anaerob ammonium oxidation med nitrit) i hovedstrømmen, skal anammox bakterier fastholdes i biofilm på bæremateriale, idet deres vækstrate er for lille til at kunne fastholdes uden udvaskning på danske renseanlæg med normale slam-opholdstider (Kamp et al. 2019). Anammox aktivitet trives under høje koncentrationer af nitrit (NO_2^-) og ammonium (NH_4^+) og lave iltforhold (Lackner et al. 2014). Anammox bakterier udviser højest aktivitet under relative høje temperaturer (se forneden). En hæmning/udvaskning af nitrit-oxiderende bakterier (NOB, oxiderer nitrit til nitrat) under konventionel kvælstoffjenelse uden anammox processen vil stadig kunne nedbringe kulstofbehovet med 40%.

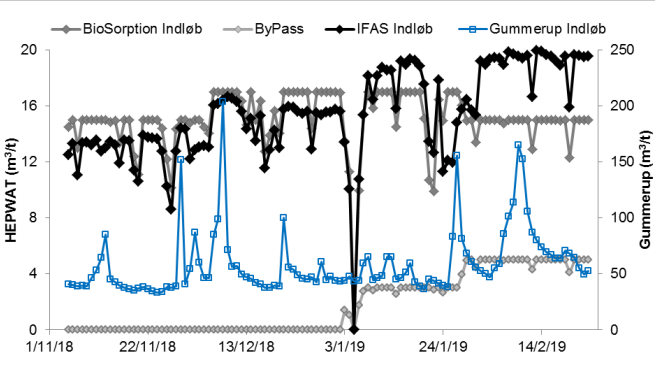
Formål
Formålet var i dette del-projekt at øge andelen af den autotrofe kvælstoffjernelse i det sekundære trin for at favorisere kulstofhøsten i biosortionsdelen (primært trin) på mobilrenseanlægget

Driften på mobilanlægget blev i perioden fra den 5. november 2018 til 24. februar 2019 reguleret for at øge den autotrofe del af kvælstoffjernelsen i forhold til den konventionelle kvælstoffjernelse, således at en effektiv kulstofhøst stadig muliggjorde en effektiv kvælstoffjernelse.

To sideløbende strategier blev implementeret:
1) Muligheden for at undertrykke aktiviteten af NOB blev testet med formålet at nedsætte kulstofbehovet for kvælstoffjernelse (kaldt nitrit-shunt, hvor ammonium-oxiderende bakterier (AOB) oxiderer ammonuim til nitrit og nitrit reduceres af de denitrificerende bakterier til frit kvælstof, der frigives til atmosfæren).
2) Muligheden for autotrof kvælstoffjernelse i hovedstømmen ved lave temperaturer i vintermånederne blev testet ved at tilsætte anammox biomasse på bæremateriale til det sekundære trin.

Drift strategier

Indløb til mobilrenseanlægget varierede fra 15 til 20 m^3/h i ovennævnte periode. Indløb til biosorptionsanlægget (primært trin) var 15-17 m^3/h, mens der blev ledt op til 5 m^3/h forbi biosorptionsanlægget direkte ind i den biologiske del (sekundært trin) (Figur AP 2-1-1). I 2 måneder (uge 45 i 2018 til uge 1 i 2019, se Figur AP 2-1-1) var indløbet til biosorptionsanlægget sat til 100%. Den begrænsede mængde af COD i indløbet til de biologiske tanke favoriserer væksten af autotrofe bakterier og øger dermed biomassen af disse bakterier. Senere i samme periode blev målt en lav fjernelse af total kvælstof (TN), og op til 25% af spildevandsindløbet blev derfor ledt forbi biosorptionsanlægget for at øge den total kvælstoffjernelse.



	Flow distribution (m^3/t)		
Uge	**Bypass**	**BioSorption**	**Total**
45 - 47	0	15	15
48 - 01	0	17	17
02 - 04	3	17	20
05 - 08	5	15	20

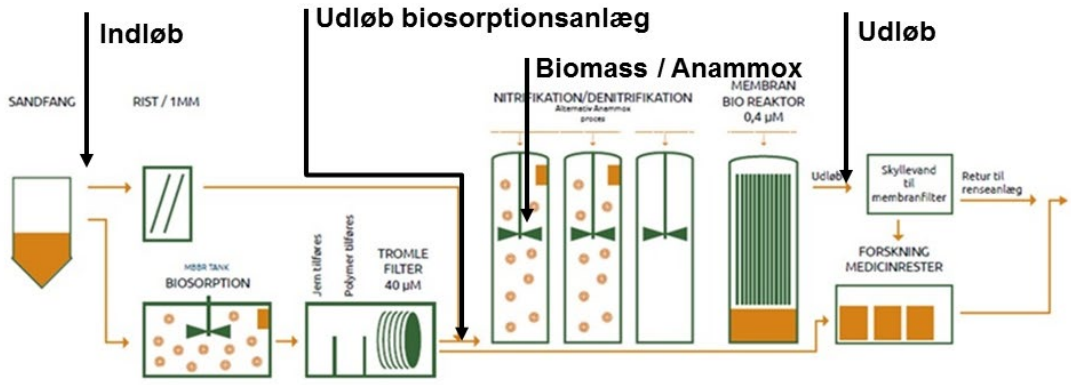
Figure AP 2-1-1. Flowhastighed (døgn-vægtet gennemsnit). Indløb til Gummerup renseanlæg (lyseblå) og mobilanlægget (grå og sort)

Idet autotrof kvælstoffjernelse har et lavere beluftningsbehov, blev DO setpunktet reduceret til 0.5 mg/L og blæserne blev indstillet til intermitterende beluftning, dvs. beluftningen i de nitrificerende reaktorer blev slukket og tændt med specifikke intervaller). Begge disse strategier har i bl.a. laboratorieforsøg på DTU vist sig som effektive styringsparametre til at fjerne NOB. Mængden af biomasse i systemet blev yderligere reduceret i den biologiske del af anlægget i forhold til set-punktet i typiske aktiv-slam anlæg (TSS blev ændret fra 8 g/L til 4.5 g/L i sekundært trin).

Resultater

Karakterisering af spildevandet og rensekapacitet/renseeffekt

Driften af mobilanlægget blev undersøgt ved at analysere forskellige parametre på prøver udtaget i indløb og udløb hver anden uge (Fig. 2-1-2). Analyse blev hovedsageligt foretaget af AgroLab, Tyskland).



Figur AP 2-1-2. Opbygning af modulrenseanlæg og prøvetagningspunkter

Karakterisering af spildevandet kan ses i Tabel AP 2-1-1 og AP 2-1-2.

Tabel AP 2-1-1. Spildevandsanalyseparametre i indløb (5. Nov 2018 – 24. Feb 2019).

Parametre	**Indløb anlæg (mg/L)**			**Afvigelse fra designgrundlag**		**Indløb anlæg (mg/L)**		
COD *total*	958	±	333	-29%	$COD_{tot}/COD_{opløst}$	8.3	±	5.1
COD *opløst*	179	±	151	-63%	$BOD_{tot}/BOD_{opløst}$	4.9	±	3.9
BOD *total*	344	±	183	-56%	COD_{tot}/TN	13	±	3.0
BOD *opløst*	117	±	95	-61%	$COD_{opløst}/TN$	2.3	±	1.6
Suspenderet stof	600	±	240	31%	BOD_{tot}/TN	4.5	±	1.4
P *total*	12	±	4.3	84%	$BOD_{opløst}/TN$	1.5	±	1.1
P *opløst* (O-PO4)	7.4	±	3.3	173%	COD_{tot}/TP	78	±	10
N *total*	74	±	21	105%	BOD_{tot}/TP	27	±	8
N *ammonium*	35	±	12	39%				
N *nitrat*	0.3	±	1.0					

Tabel AP 2-1-2. Spildevandsanalyseparametre i udløb fra biosorptionsanlæg og udløb mobilanlægget (5. nov 2018 – 24. Feb 2019). Alle parametre er angivet i mg/L.

Parametre	**Udløb biosorptionsanlæg**			**Udløb anlæg**			**Indløb anlæg (PE)**			
COD *total*	109	±	92	21	±	14	COD_{tot} (PE)	2794	±	738
COD *opløst*	67	±	63	19	±	13	BOD_{tot} (PE)	2086	±	838
BOD *total*	41	±	47	16	±	15	SS (PE)	2571	±	733
BOD *opløst*	20	±	32	14	±	12	TN (PE)	1547	±	377
Suspenderet stof	18	±	13	2.1	±	0.0	TP (PE)	2336	±	459
P *total*	1.9	±	0.8	1.2	±	0.8	COD:BOD:SS:TN:TP = 130:60:87:12:5			
P *opløst* (O-PO4)	3.7	±	1.9	3.4	±	2.0				
N *total*	36	±	13	28	±	12				
N *ammonium*	27	±	13	0.3	±	0.4				
N *nitrat*	1.1	±	1.2	25	±	11				

Overordnet set fjernede mobilanlægget over 98% af total COD, total BOD og suspenderet stof (Figur AP 2-1-3).

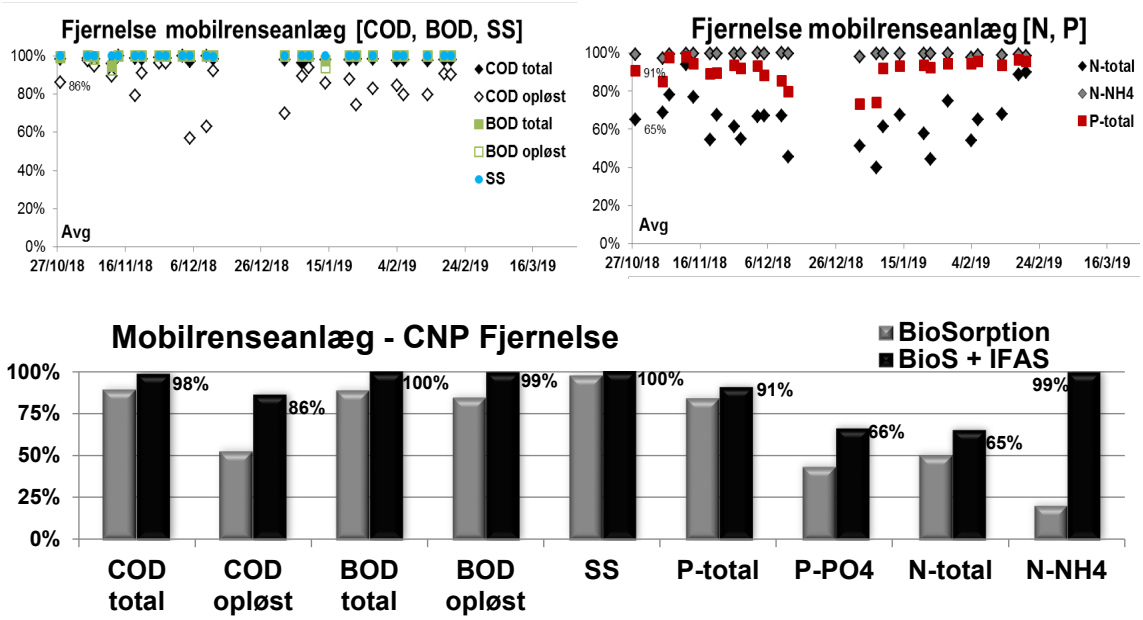


Figure AP 2-1-3. Rensekapacitet i mobilanlægget

Den største fjernelse af kulstof og suspenderet stof foregik i Biosorptionsanlægget (89% COD, 88% BOD, 97% suspended stof). 51% af total-kvælstof (TN) blev fjernet i Biosorptionsanlægget og op til 65% af TN blev fjernet med det biologiske trin (sekundært trin). Det er således Biosorptionsanlægget, der fjerner den største mængde total kvælstof, mens kun 21% af den samlede ammonium (NH_4^+) fjernelse (99%) skete i biosoptionsdelen. Ved gradvis at øge bypass flowet til 15% og derefter 25% (svarer til 3 og 5 m^3/h), blev der også fjernet mere TN (op til 89% for hele anlægget) i løbet af den sidste uge.

2-1-1. Strategi 1: Undertrykkelse af NOB aktivitet

Laboratorieanalyser af NOB og AOB aktivitet
I offline aerobe incubationer, blev iltforbrugsrater af 3 forskellige processer målt med formålet at overvåge NOB aktivitet/undertrykkelse (= hæmning) over tid.

De 3 forskellige processer i laboratorie inkubationerne er:
1) Endogen respiration (dvs. ingen tilsætning af substrate)
2) NOB aktivitet (inkubationer tilsat nitrit (NO_2^-))
3) AOB + NOB aktivitet (inkubationer med tilsat ammmonium (NH_4^+))

Selvom resultaterne viste, at NOB stadig var tilstede i de biologiske reaktorer, var den maksimale NOB aktivitet lavere end AOB aktiviteten (Figur AP 2-1-4, venstre).

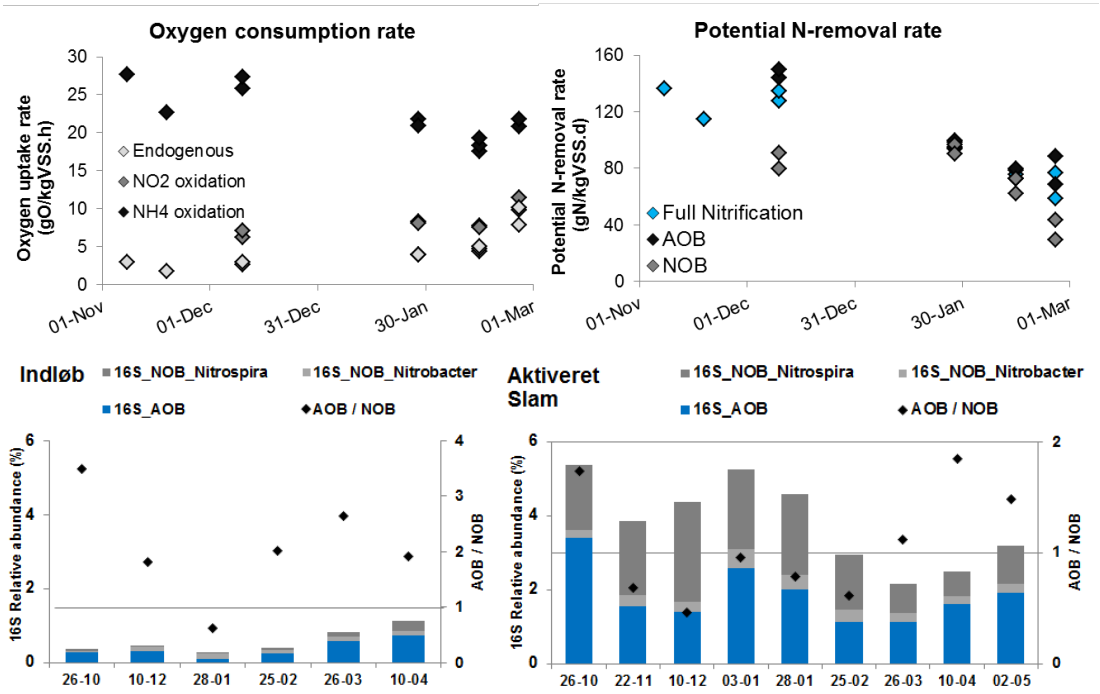


Figure AP 2-1-4. Øverste panel: Til venstre: Iltforbrugsrater under laboratorie respirationstest. Intet substrate tilsat (lysegrå), tilsat nitrit (grå) og tilsat ammonium (sort). Til højre: Potentielle rater for kvælstoffjernelse beregnet ud fra målte iltforbrugsrater og typiske stokiometriske vækst parametre. Nederste panel: Det relative antal af AOB, NOB (*Nitrobacter sp.* og *Nitrospira sp.*) i forhold til det totale antal bakterier samt det releative antal AOB i forhold til NOB (*Nitrobacter sp.* og *Nitrospira sp*) i indløbet (til venstre) og aktivt slam i beluftningstank (til højre). Resultater er baseret på qPCR data og antager at der er et 16S-rRNA gen pr. celle.

Potentielle nitrifikationsrater (gN/kgVSS/d) faldt med tid, da bypass flowet blev øget i takt med større mængder COD i indløbet til de biologiske reaktorer (Figur AP 2-1-4, højre). Biomasse concentrationen forblev constant over tid, og imens den autotrofe del af biomassen faldt (AOB, NOB rater), steg den heterotrofe del (endogen) (Figur AP 2-1-4, øverst til venstre). Kapaciteten for ammonium fjernelse var høj, med potentielle AOB og NOB ammoniumfjernelserater, der var højere end spildevandstilførslen (gN/d, Figur AP 2-1-4, nederst til højre). Stigningen i bypass flowraten øgede kapaciteten for fjernelsen af total kvælstof i mobilanlægget, således at der var en lavere koncentration af nitrat (NO_3^-) i udledningen fra anlægget. Antallet af NOB i forhold til AOB var højere i perioden, hvor all spildevandet blev ledt ind i Biosorptionsdelen af anlægget, mens antallet af AOB i forhold til NOB var højere i perioder med Bypass udenom Biosorptionsdelen.

Konklusion og perspektivering

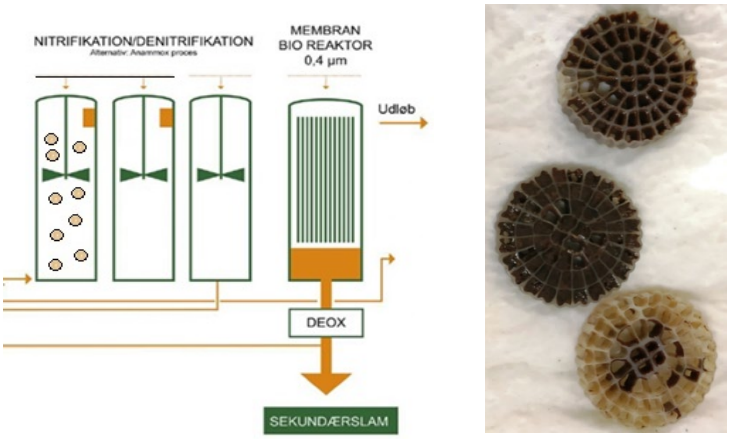
- Under de meget dynamiske ammonium (NH_4^+) belastninger kunne kontrollen af beluftningssystemet ikke skabe et stabilt iltsetpunkt, hvilket begrænser udviklingen af autotrof kvælstoffjenelse. Beluftningen i beluftningstankene blev i perioder med konstant beluftning styret efter et iltsetpunkt. Pga. den måde beluftere er konstrueret (begrænset kapacitet), var det ikke muligt at imødekomme det høje iltbehov i det indkommende spildevand i løbet af dagen (Målt koncentration af opløst ilt ($DO_{bioreaktor}$) < iltsetpunkt), mens der blev tilført for meget ilt om natten, hvor iltbehovet var lille ($DO_{bioreaktor}$ > iltsetpunkt). Set i bagspejlet kunne man have ændret perioderne for beluftning/uden beluftning, hvilket især om natten kunne have afhjulpet det lave iltbehov ved at øge perioden uden beluftning. Effekten af dette på udvaskningen af NOB burde undersøges i fremtidige studier.

- Ud fra laboratorieforsøg var kapaciteten for ammoniumfjernelse høj, selv under lave iltsetpunkter og intermitterende beluftning, sammenlignet med behovet for ammoniumfjernelsen i indløbet.
- En god renseffekt af kvælstof, kulstof og suspenderet stof (COD, BOD, SS, TP and TN fjernelseseffektivitet) opnås ved et indløbsflow på 20 m^3/h og et procentforhold på 25-75 imellem bypass og indløb til Biosorptionreaktor.
- Resultaterne peger på at et forhold på 30:70 i bypass og biosorptionsflowet øger fjernelsen af TN, hvilket teoretisk også ville nedsætte frigivelsen af lattergas (N_2O), idet øget mængde kulstof favoriserer reduktion af nitrate til N_2 via denitrifikationsprocessen (NO_3^- → NO_2^- → NO → N_2O → N_2)
- MBR reaktoren fungerer som en nitrifikationsreaktor pga. høj beluftning samtidig med at MBR reaktoren også adskiller slam fra renset spildevand. Det høje iltsetpunkt fører til frigivelse af alle gasarter, der akkumulere i væskefasen (for eksempel lattergas, N_2O, da denne gas er meget opløselig i vand og føres med spildevandet fra de biologiske reaktorer til MBR reaktoren). De høje iltforholdi MBR reaktoren (DO > 4 mg/L) vanskeliggør også hæmningen af NOB aktivitet og dermed udvaskning, da MBR-delen af anlægget fungerede som en ekstra nitrifikationsreaktor. En ændring i konstruktionen af fremtidige anlæg med MBR kan overvejes.

2-1-2. Strategi 2: Anammox

Resultater

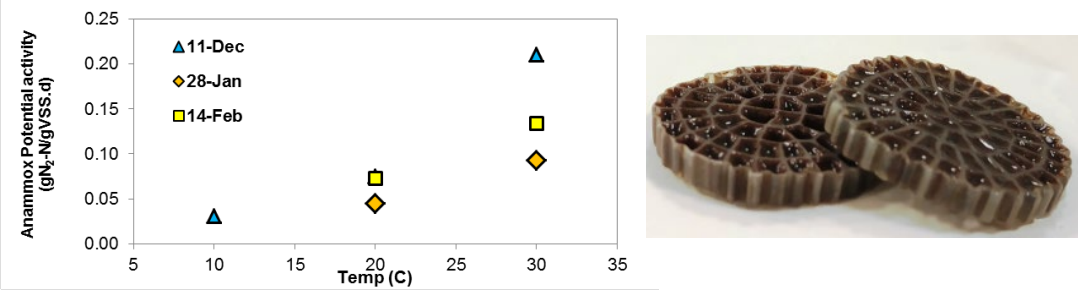
Den hydrauliske konfiguration af mobilanlægget blev ændret i september 2018 for fremme anammox aktivitet i hovedstrømmen. Efter driften på anlægget var stabilt, blev 9 m^3 anammox bæremedie tilsat den ene reaktor (AnoxKaldness^{TM} MBBR, Sweden, Figur AP 2-1-5).



Figur AP 2-1-5. Venstre: Skitse af det sekundære trin af mobilanlægget med anammox bæremedie. Højre: Bæremedie med forskellige mængde af anammox bakterier. Billedet er taget på dagen, hvor anammox bæremedie (K5) blev tilsat reaktoren i mobilanlægget (26. oktober 2018)

Anammox bæremedie blev tilført til en af de to parallelle beluftningstanke (den 26. oktober 2018). Fyldningsgraden på mobilanlægget var 9%, hvilket er betydeligt lavere end konventionelle biofilm systemer (30-40%) (Agrawal et al. 2018). Dette skete af økonomiske grunde og havde ingen effekt på gennemførligheden af dette del-studie. To forskellige driftsformer blev afprøvet for at fremme anammox aktivitet, begge associeret med en øgning i nitritkoncentration: A) Hæmme aerobe nitrit-oxiderende bakterier, der ellers ville konkurrere med anammox bakterier om nitrit, ved at ændre iltforholdene i reaktoren fra konstant beluftning til intermitterende beluftning. B) Nedsætte opholdstiden for slam for at udvaske NOB, mens AOB bliver tilbageholdt pga. deres forskellige vækstrate. Disse to strategier blev implementeret i slutningen af oktober 2018 og frem til februar 2019. På grund af den lave anammox

biomasse i forhold til aktivt slam (9% fyldningsgrad) er det svært at opgøre bidraget af anammox i den totale kvælstoffjernelse. Aktivitetstest i laboratoriet blev kørt ved forskellige temperatur (10, 20, 30 °C) i samme driftsperiode for at overvåge ændringer i den potentielle anammox aktivitet. Anammox bacterier var altid aktive i disse test under hele perioden og udviste intet signifikant tab i den specifikke aktivitet (gN/gVSS/d) i løbet af de 4 måneder. Der var en positiv sammenhæng imellem potentiel anammox aktivitet og temperatur, med en fordobling i aktvitet for hver stigning i temperatur på ~10 °C (Figur AP 2-1-6. En effektiv rensning med anammox bakterier kræver således enten høje temperaturer, dvs. brug i sidestrømsanlæg, eller større mængder af anammox biomasse. Sammensætningen af bakterier på bæremedie ændrede sig ikke i perioden uden betydelig biomasse tab. De gennemsnitlige værdier for relative mængden af anammox og nitrificerende bakterier viste et signifikant højere antal af anammox bakterier (Anammox bakterier: 51,8 ± 6,0%, AOB: 1,5 ± 1,0% og NOB 0,3 ± 0,1%).



Figur AP 2-1-6. Potentiel anammox aktivitet som funktion af temperatur (10, 20 og 30 °C)

Konklusion og perspektivering

- Laboratorieforsøg med anammox fra mobilrenseanlægget påviste anammox aktivitet ved 10 °C og en signifikant positiv sammenhæng med omgivelsestemperaturen, hvor anammox aktiviteten fordobles for hver stigning i temperatur på ~10 °C
- Indholdet af tørstof pr K5 anammox bæremedie faldt fra 98 ± 63 mgTAS/K5 (n = 8) på dag 0, hvor de blev tilsat reaktoren, til 42 ± 34 mgTAS/K5 (n = 17) i slutningen af februar (dag ~120). Biomasse tabet (57% tab i vægt) kan skyldes den høje mekaniske opblanding i de biologiske reaktorer.
- Baseret på laboratorie aktivitetsanalyser vil 12% af kvælstoffet i indløbet kunne fjernes af anammox bakterier (ved en spildevandstilførsel på 20 m^3/h).
- Brugen af MBR som seperationsteknik vanskeliggør undertrykkelse og hæmning af NOB, og dermed fremmelse af anammoxbakterier
- En favorisering af autotrof kvælstoffjernekse (f.eks. ved hjælp af nitrit-shunt og nitritation-anammox via AOB-anammox bakterier) ville kunne muliggøre større kulstofhøst i det primære trin.
- MBR reaktoren, der adskiller fast fra opløst stof, vanskeliggjorde udvaskningen af NOB fra mobilanlægget, hvilket reducerede muligheden for en NO_2^- shunt under konventionel kvælstoffjenelse samt øgede konkurrancen for NO_2^- imellem NOB og anammox bakterier. Driften i MBR er karakteriseret af højt luftflowrate og høje concentrationer af fast stof, som begge er faktorerer, der øger NOB aktivitet og tilbageholdelse i systemet. Således skal enhver teknologi, der har til formål at fremme aktiviteten af AOB-anammox bakterier eller nitrit-shunt, undgå brugen af MBR til adskillelse af slam og renset spildevand, eller ændre i designet af anlægget.

Referencer

(1) Lackner S, Gilbert EM, Vlaeminck SE, Joss A, Horn H, van Loosdrecht MCM: Full-scale partial nitritation/anammox experiences - An application survey. *Water Res* 2014, 55:292–303. (2) Agrawal S, Seuntjens D, Cocker P De, Lackner S, Vlaeminck SE: Success of mainstream partial nitritation/anammox demands integration of engineering, microbiome and modeling insights. *Curr Opin Biotechnol* 2018, 50:214–221.

Bilag AP2-3: Dynamik og emission af lattergas

Kontakt
Carlos Domingo-Félez, Post Doc på DTU Miljø.
cadf@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251617

Barth F. Smets, Professor på DTU Miljø.
bfsm@env.dtu.dk
Telefon: +45 45252230

Marlene Mark Jensen, Seniorforsker på DTU Miljø.
mmaj@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251551

Introduktion

Lattergas (N_2O) er en *drivhusgas* og med et drivhusgaspotentiale 300 gange højere end CO_2 kan udledning af selv relativt små mængder af lattergas have stor betydning for den samlede udledning af klimagasser målt i CO_2-ækvivalenter. Yderligere er lattergas nu en af de største trusler mod ozonlaget. Lattergas dannes som et biprodukt af biologisk kvælstoffjernelse. Biologiske renseanlæg har i stort omfang kvælstoffjernelse, som kan resultere i dannelse af N_2O. Både nitrifikation og denitrifikation vil producere N_2O i varierende omfang. Under forhold med høje iltkoncentrationer danner ammonium-oxiderende bakterier (AOB) lattergas, og når ilt bliver begrænsende, kan selvsamme bakterierne omdanne noget af det nitrit, som de selv har produceret, til lattergas. I denitrifikationsprocessen er lattergas et velkendt mellemprodukt, som udgør et af trinnene i omdannelsen af nitrat til frit kvælstof, og altså forbruges igen af de denitrificerende bakterier. Således er det de selvsamme bakterier, der renser vores spildevand for kvælstof, der producere lattergas. En reduktion af lattergas udledning vil mindske renseanlæggets samplede CO_2-fodaftryk, men viden om og målinger af lattergas produktion og frigivelse fra danske renseanlæg er begrænset. Målet med mobilrenseanlægget var - ud over et renere udløb end fra nuværende teknologi på Gummerup renseanlæg - at kunne nedbringe lattergas udledningen fra de biologiske processtanke.

Formål.

Formålet med dette delprojekt er at bestemme lattergas emissionsfaktor (%N-N_2O emission af N-kg fjernet i renseprocessen per døgn) på det nuværende Gummerup Renseanlæg for at kunne sammenligne med mobilrenseanlægget

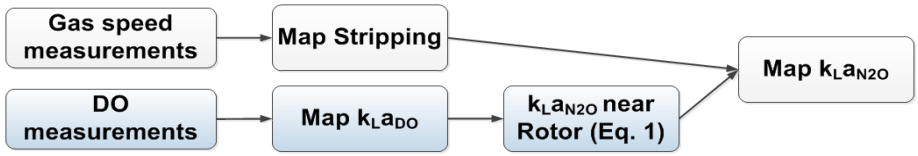
2-2-1. Gummerup Renseanlæg: Lattergas dynamik og emission

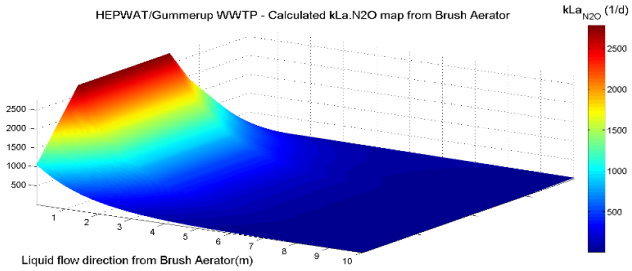
Metoder

Målekampagne

Målekampagnen varede i 110 dage (April – August 2018). Statistiske analyser af data fra online sensorrer (DO, NH_4^+, NO_x^- og fase skift og fordeling) målt i de biologiske processtanke på Gummerup Renseanlæg

viste at driften i den pågældende periode var representativ for hele året. De 2 Biodenitro-tanke kan anses som tvillinger, således at lattergas målingerne er uafhængige af den valgte procestank, da de to processtanke er kemisk, biologisk og fysisk ens. Lattergas koncentrationer blev målt i væskefasen ved overfladen på 3 forskellige steder i den biologiske procestank (Biodenitro). Lattergas emissioner blev beregnet ud fra lattergaskoncentrationen i væskefasen samt gasoverførselsmålinger foretaget lige over væskeoverfladen. Gasoverførselshastigheden blev målt på forskellige steder i procestanken med et flydende kammer.

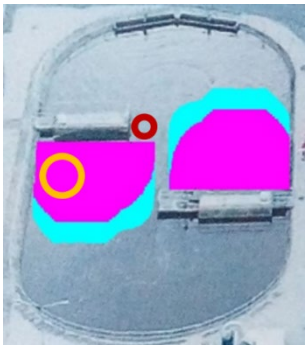




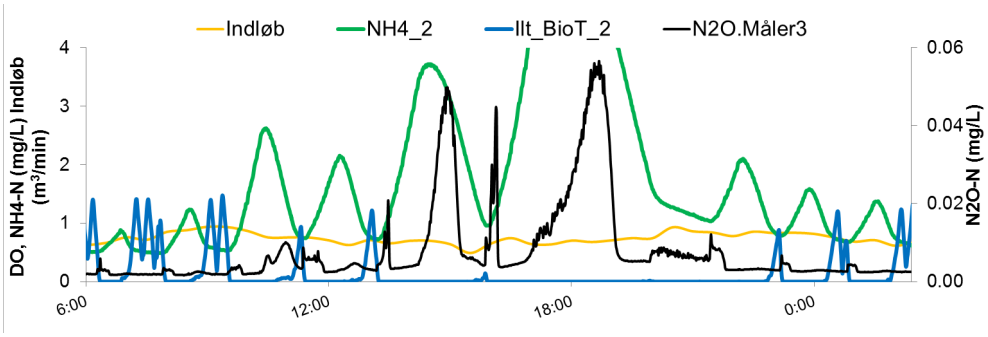
Figur AP 2-2-1. Øverst: Skematisk oversigt over udregninger af gasoverførselshastigheden (k_La_{N2O}, min^{-1}) for den ene rotor. Nederst til venstre: Flydende kammer med gasopsamlingsudstyr. Nederst til højre: Kort over beregnet gasoverførselshastigheden for lattergas (k_La_{N2O}) for den ene rotor.

Resultater

Gummerup renseanlæg modtager spildevand med et højt C/N indhold (12.5 ± 5.6), hvilket resulterer i en god fjernelse af TN i Biodenitro tankene, der fjerner more end 90% af organisk materiale (BOD, COD), suspenderet stof, totalkvælstof og totalfosfor i indløbet. Lattergas emissioner er beregnet ud fra N_2O koncentrationer i væskefasen målt med en lattergassensor (Unisense Environment A/S) og gasfrigivelsen fra væske til luft forårsaget af rotorer (> 99% af den totale lattergas frigivelse). Lattergas frigives også fra væskefasen i efterklaringstanken og lagunen før udløbet, dog udgjorde begge steder mindre end 1% af den total N_2O emission fra de biologiske procestanke. De laveste og højeste N_2O koncentrationer i væskefasen blev målt foran og parallelt med rotorhovederne/overfladeluftere (Figur AP 2-2-2). Variationen i N_2O koncentrationer skyldes store gradienter i iltkoncentrationer i væskefasen. Lattergas emissionsfaktor for Gummerup renseanlæg rangerer imellem 0.4 ± 1.1% og 1.2 ± 1.6%. Det store konfidensinterval for N_2O koncentrationerne er typiske for faseopdelte procestanke med stor substrate dynamik (Figur AP 2-2-3). Lattergas emissionsfaktorer på 0.4 – 1.2% er typiske for faseopdelte procestanke (BIO-DENITRO) i Danmark (Baresel et al. 2016, Gustavsson et al. 2011). Yderligere ligger emissionsfaktorerne fra Gummerup Renseanlæg i samme område som publicerede værdier fra andre teknologier (0.01 – 1.6% $N_2O/TN_{indløb}$) (Ahn et al. 2010). Vores målte lattergas emissonsfaktor er meget højere end den angivet i retningslinjerne fra det "Intergovernmental Panel on Climate Change" i USA, hvor man foreslår en meget lavere emissionsfaktor på 0.014 – 0.055% $N_2O/TN_{influent}$. Denne emissionsfaktor er dog også kun baseret på et studie på et renseanlæg, der ikke havde kvælstoffjernelse (Czepiel et al. 1995).



Figur AP 2-2-2. Fordeling af de totale lattergas emissioner i Gummerup Renseanlæg. Lilla svarer til 90% og turkis svarer til 95% af den totale lattergas emission. Den røde cirkel illustrerer placering af ammonium, nitrate og iltsensorer. Orange cirkel illustrerer den optimale placering af lattergas sensor.

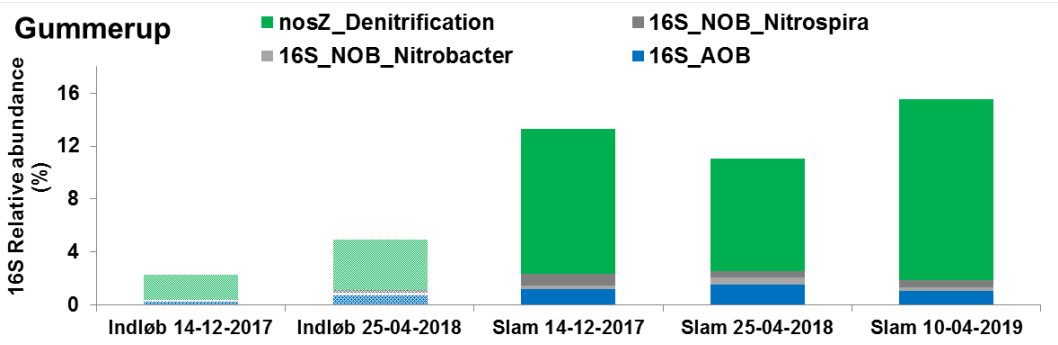


Figur AP 2-2-3. Koncentrationer af ilt, ammonium og lattergas i væskefasen i Biodenitro reaktor, Gummerup Renseanlæg. Flowrate i indløbet til Biodenitro reaktor. Data er fra 22.-23. Maj 2018.

Processer der driver lattergas produktionen på Gummerup Renseanlæg

For at kunne forstå de processer, der danner lattergas, udførte vi laboratorietest med spildevand fra Gummerup Renseanlæg (resultater beskrevet i tekstform, ikke vist i nogen figur). Ud fra specifikke iltoptagelsesrater har vi beregnet nitrifikationsrater og maximum N_2O forbrugsrater (= reduktionsrater til N_2). En stigning i N_2O koncentrationer blev målt under beluftning af spildevandet og ammonium (NH_4^+) koncentrationer var højere end ~2 mgN/L, hvilket øgede iltbehovet og nedsatte iltbalancen). Når beluftningen stoppes (anoxisk, ingen O_2), akkumulerede N_2O hurtigt i væskefasen, men blev herefter forbrugt (reduceret til N_2) før beluftningen startede igen. Selvom lattergasreduktionsraten blev betydelig mindre under iltede forhold, stoppede processen aldrig helt. Dette indikerer muligheden for at der i systemet kan ske en lattergas produktion og forbrug på samme tid under iltede forhold, hvilket kan skyldes iltfrie mikro-nicher. Det kræver dog yderligere kemiske og mikrobiologiske undersøgelser at kortlægge dette. Jo længere spildevandet blev udsat for iltfrie forhold og jo mere organisk kulstof (højere BOD) blev tilsat, des mere steg N_2O reduktionsraten. Alt i alt, har spildevandet i Gummerup Procestanke et større potentiale for N_2O forbrug end mængden der kan produceres via nitrifikation, hvilket også forklarer de lave N_2O emissioner målt i det biologiske procestrin.

Det relative antal af N_2O-reducerende bakterier (reducerer/forbruger N_2O og omdanner det til N_2) i aktiv slam i beluftningsreaktoren var 11,0 ± 2,6%, hvilket er højere end 2,8 ± 1,4% i indløbet (Figur AP 2-2-4). Dette indikerer at der er sket en berigelse af N_2O-reducerende bakterier i biomassen, hvilket fører til lave N_2O emissioner.



Figur AP 2-2-4. De relative antal af ammonium oxiderende bakterier (AOB), nitrificerende bakterier (*Nitrobacter sp.* og *Nitrospira sp.*) og denitrificerende bakterier i forhold det totale antal bakterier i indløbet og aktivt slam i beluftningstanken. Der antages at der er et 16S rRNA samt *nosZ* gen pr. bakterie. Denitrificerende baktirier bærer *nosZ* genet.

Konklusion og perspektivering

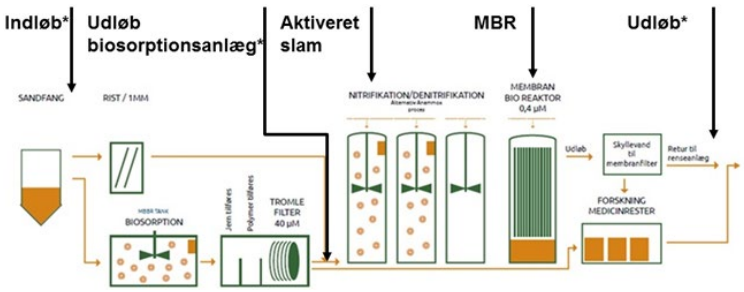
- I faseopdelte aktiv slam systemer kan lattergas i væskefasen udvise stor heterogenitet, som fører til uensartede lattergas frigivelser til atmosfæren. I systemer med overfladebeluftere, er zonen lige foran rotor det område med størst N_2O emission (Figur AP 2-2-2).
- Baseret på målingerne på Gummerup Renseanlæg og LaGas projektet, anbefaler vi at tjekke heterogeniteten i N_2O koncentrationen i væskefasen i begyndelsen af en lattergas målekampagne for at opspore den bedste lokalitet til lattergas sensoren for at kunne beregne repræsentative og nøjagtige lattergas emissionsfaktorer.
- Lattergas emissionsfaktor for Gummerup Renseanlæg er 0.4 ± 1.1%
- Lattergas produktion er drevet vha. nitrifikationsprocessen (høj NH_4^+ og lav DO)
- I beluftningsfaserne, sker der både nitrifikation og denitrifikation pga. den store heterogenitet i opblandingen i de biologiske procestanke, og således forekommer der både en lattergas produktion og et lattergas forbrug.
- Baseret på de forskellige forsøgs- og måle-kampagne, kan man reducere lattergas emissionen ved at ændre de alternerende faser. For eksempel, ville et hyppigere skift i faserne forhindre høje ammonium koncentrationer. Med en forlængelse af beluftningsperioderne eller stigning i beluftningsintensitet (mere energi) ville man kunne forhindre høje ammonium belastninger og lave ilt koncentrationer. Yderligere fuldskaleforsøg er dog nødvendige for at teste disse tiltag.

2.2.2. Mobil renseanlæg – Dynamik og emission af lattergas

Metoder

Målekampagne

Under lattergas målekampagnen på mobilanlægget (260 dage fra 4. november 2018 til 22. juli 2019) blev der afprøvet forskellige driftstrategier for kulstofhøst. I perioden, hvor lattergas emissioner er kvantificeret, var der hovedsageligt 2 parametre, der varierede: Den totale mængde (flow) spildevand behandlet i mobilanlægget samt fraktionen af spildevand, der ledes ind i og forbi Biosorptionsanlægget.
Lattergas blev målt i væskefasen med en lattergas sensor (Unisense Environment A/S) i 2 af de 3 biologiske tanke, hvor den ene konstant beluftes (oxisk) og den anden ikke beluftes (anoxisk) (Figur AP 2-2-5). Lattergas i væskefasen blev også målt i indløbet, udløbet fra Biosorptionsanlægget og udløbet fra mobilanlægget i begrænsede perioder (Figur AP 2-2-5). Da N_2O koncentrationen var under detektionsgrænsen for lattergassensoren i indløbet, udløbet fra Biosorptionsanlægget og udløbet, mens den gennemsnitlige koncentration in biologiske tanke var 0,032 ± 0,024 mgN/L, antager vi at der ikke var nogen betydningsfuld lattergas emisison fra indløbet, udløbet fra Biosorptionsanlægget og udløbet.



Figur AP 2-2-5. Målepunkter for lattergas målinger i væskefasen. * markerer steder, hvor N_2O koncentrationer er under detektionsgrænsen for lattergassensor.

Beregning af lattergasemission

I de beluftede og MBR reaktorer forårsager beluftningen en frigivelse af N_2O fra væskefasen til atmosfæren. Dette sker proportionalt med frigivelsesraten for ilt fra beluftere til væskefasen. Idet er ikke forefindes nogen information mht. gasoverførselshastigheden for ilt (k_La_{O2}) som funktion af beluftere´s ventil åbning (% åben/lukket) fra leverandøren, blev k_La_{O2} beregnet ud fra online O_2 data og åbningsprocenten af ventilen i beluftere. DO data er korrigeret for reaktionstiden af den online DO sensor. I perioder med konstant beluftning og stabil DO koncentration i den biologiske tank, når beluftere er slukket, er iltforbrugsraten lige med iltfrigivelse fra beluftere, hvilket muliggør en beregning af k_La_{O2} ud fra åbningen af de specifikke ventiler. Vi har beregnet individuelle k_La_{O2} værdier for perioder med og uden beluftning. Disse k_La_{O2} værdier kan omregnes til k_La_{N2O} ved at korrigere for diffusivitetskoefficienter (Figur AP 2-2-6).

Figure AP 2-2-6. Beregnede gasoverførselskoefficient for N_2O (blå diamanter) og regression model som en funktion af forskellige ventilåbninger på belufter i den biologiske tank

Grundet den meget høje beluftningsrate i MBR samt ikke målelige N_2O koncentrationer i udløbet fra MBR antager vi at der sker en frigivelse af al den lattergas der transporteres med spildevandet fra de biologiske tanke til MBR (Lattergas er meget opløselig i vand).

Resultater

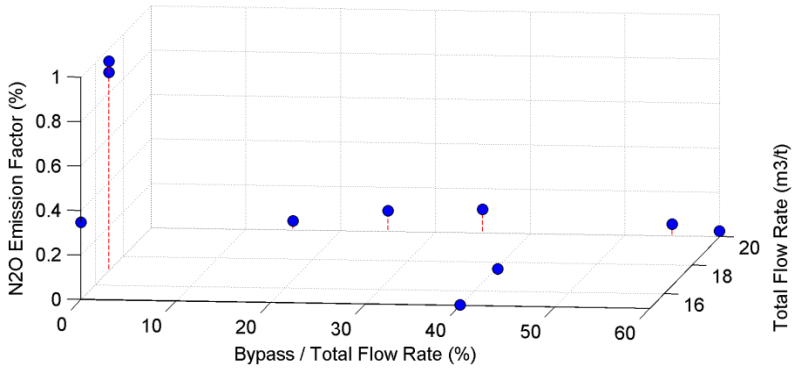
Under hele måleperioden var der en en betydelig fluktuation i N_2O emissioner (beregnet som døgngennemsnit). Lattergasemissionsfaktoren varierede fra ~0% (under detektionsgrænsen) til 8,3% i perioder med driftforstyrrelser i MBR delen. Den gennemsnitlige værdi ± standardafvigelse for N_2O koncentrationen i væskefasen var 0,015 ± 0,074 gN/m^3, hvilket indikerer de store fluktationer i lattergaskoncentrationen over tid. Disse store variationer i lattergas koncentrationen skyldes de store fluktuationer i ammonium tilførsel til de biologiske tanke og den intermitterende beluftningsstrategi. På omkring 41% af dagene var N_2O emissionen højere i MBR delen end i de biologiske reaktorer, hvilket indikerer at - modsat efterklaringstanke (se foregående afsnit) - er MBR'er hotspots for N2O frigivelse til atmosfæren.

Spildevandetsstrømmen, der behandles i mobilanlægget, ledes igennem Biosorptionsdelen eller fordi i varierende grad (se også foregående afsnit). En høj fraktion af bypass i forhold til total tilførsel (Total = tilførsel til og forbi Biosorptionsdelen) giver en mindre kulstofhøst. Vi har analyset N_2O koncentrationerne og emissioner i 10 forskellige perioder (168 dage), hvor driften var stabil. I disse 9 perioder varierede mængden af spildevand behandlet (15 – 20 m^3/t) samt fraktionen af spildevandet ledt udenom Biosorptionsreaktoren (Bypass / Total = 0 – 60%) (Tabel AP 2-2-1). Selve fraktionen af Bypass/Total flowet er en anslået indikator for C/N forholdet i indløbet til de biologiske reaktorer.

Tabel AP 2-2-1. Repræsentative perioder med lattergas emissionsmålinger. Dato, flow fordeling (Bypass/Total, mængde over tid), N_2O emissionsfaktor i de biologiske tanke, MBR og samlet emission, gennemsnitlige tilførsel af total kvælstof (TN), fjernelsesrater og fjernelseseffektivitet

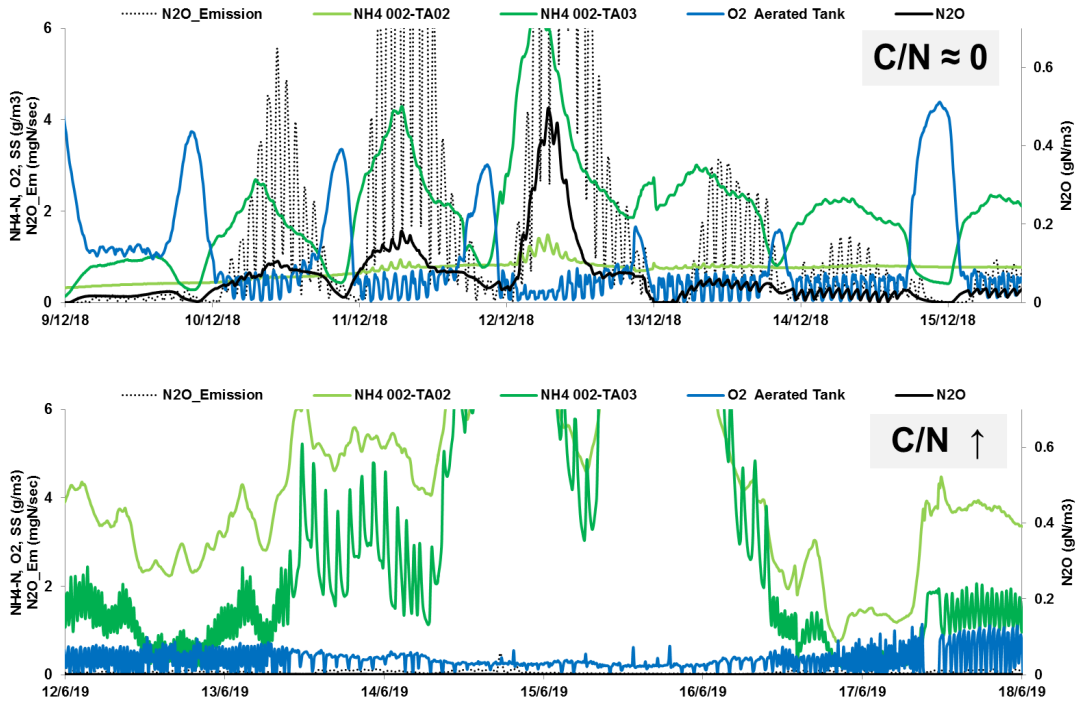
Start date	End date	Duration (dage)	Bypass / Total flow	Total Flow (m3/t)	EF_ifas (%)	stdv (%)	EF_mbr (%)	stdv (%)	EF_tot (%)	stdv (%)	TN load (gN/t)	TN removal (gN/t)	TN removal efficiency
05-11	26-11	21	0.00	15	0.24	0.72	0.10	0.26	0.35	0.97	1353	990	73%
26-11	17-12	21	0.00	17	0.62	1.14	0.32	0.44	0.94	1.57	1172	699	60%
17-12	07-01	21	0.00	17	0.41	0.47	0.48	0.22	0.89	0.62	1042	508	49%
07-01	28-01	21	0.15	20	0.03	0.05	0.01	0.02	0.04	0.07	1078	708	66%
28-01	25-02	28	0.25	20	0.07	0.14	0.03	0.06	0.09	0.20	1117	839	75%
24-06	03-07	9	0.35	20	0.06	0.07	0.03	0.04	0.09	0.11	1461	1189	81%
17-05	24-05	7	0.40	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1244	990	80%
10-07	22-07	12	0.41	17	0.03	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	1426	1153	81%
26-05	04-06	9	0.55	20	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	1266	1177	93%
04-06	24-06	20	0.60	20	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	1261	1283	102%

Lattergas emissionsfaktor på 0,35 – 0,89% var signifikant højere, når indløbet til de biologiske reaktorer var kulstoffattigt, i forhold til 0,01 – 0,09% under bypass af råt spildevand udenom Biosorptionsdelen (Tabel AP 2-2-1). Således er der en sammenhæng imellem høj spildevandtilførsel (høj fraktion af råt spildevand ledt udenom Biosorptionsdelen) og høje emissionsfaktorer (Figur AP 2-2-7). Der var yderligere en overenstemmelse imellem høje N_2O emissionsfaktorer og perioder med lav kvælstof fjernelse. Det er således vigtigt at finde en balance imellem effektiv kulstofhøst og lav N_2O frigivelse.



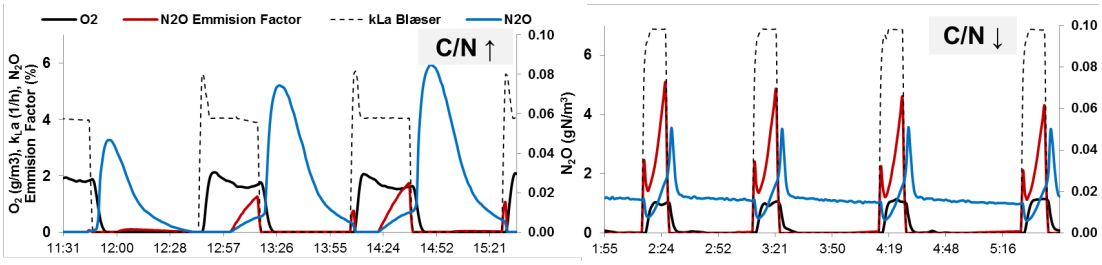
Figur AP 2-2-7. Gennemsnitlige N_2O emissionsfaktor for mobilanlægget i testperioder med forskellige forhold imellem Bypass og Total tilførselsrate (%) og den totale flowrate (m^3/t).

Processer der driver lattergas produktionen på Gummerup Renseanlæg
Baseret på datamålingerne fra de online sensorer kan N_2O produktionen skyldes aerob ammonium oxidation. Under perioder med høje NH_4^+ tilførsler observere en høj N_2O produktion og emission, og denne observation skærpes under lave C/N forhold i det tilførte spildevand sammenlignet med høje C/N forhold (Figur AP 2-2-8). Mere specifikke målinger med for eksempel ^{15}N-mærkede isotoper er nødvendige for at kunne verificere en N_2O produktion under aerob ammonium oxidation.



Figur AP 2-2-8. Ammonium, opløst ilt og lattergas koncentrationer samt lattergas frigivelse fra væskefase til gasfase i beluftningstank i perioder med ingen Bypass (C/N ≈ 0%) og 35% Bypass (Bypass/Total tilførsel).

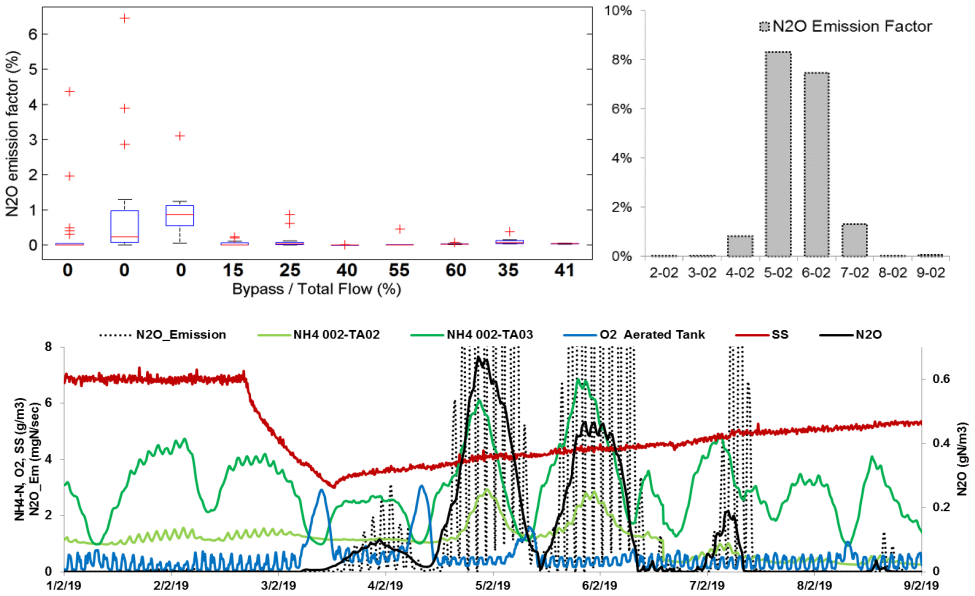
Et højt C/N forhold i indløbet sammen med højt ydevene for kvælstoffjernelse indikerer høje denitrifikationsrater i reaktoren, hvilket ville fjerne den N_2O, der produceres af AOB. Selv om N_2O produceres under høj NH_4^+ tilførsel, reducerer de heterotrofe denitrificerende bakterier N_2O med det samme til N_2 (Figur AP 2-2-9, venstre). Denitrifikationsraten afhænger af tilgængeligheden af organisk materiale, som er på et minimum, når C/N forholdet er tæt på 0, og N_2O produktionen overstiger N_2O forbruget (Figur AP 2-2-9, højre). Den højere kapacitet for N_2O reduktion hænger fint sammen med det relative antal af bakterier i det aktive slam fra beluftningstanken, da det gennemsnitlige relative antal af N_2O-reducerende bakterier (bærer genet *nosZ*) er en størrelsesorden højere end det reletive antal af AOB, der kun producere N_2O (14,8 ± 2,0% i forhold til 1,9 ± 0,7%) (se Figur AP 2-2-4).



Figur AP 2-2-9. N_2O og DO koncentrationer i væskefasen i beluftningstank, samt N_2O emissionsfaktor og gasoverførselskoefficient for O_2 (k_La_{O2}, beluftere) i en periode med høj (venstre) og lav (højre) Bypass (Bypass/Total).

Fluktuationer i lattergas emissioner

N_2O emissioner viste stor variation, både indenfor 24 timer samt døgngennemsnit. I et boxplot med resultater fra alle 9 perioder ses store afvigelser for næsten hver periode (Figur AP 2-2-10). Disse afvigelser bidrager til de høje emissionsfaktorer. Hvis disse perioder ikke fanges under målekampagnen, undervurderer man emissionen af en proces. I denne undersøgelse var måleperioderne foretaget over en længere tidsperiode (gennemsnitlig 17 dage) for at effektivt kunne fange disse "ekstreme" begivenheder. En anden vigtig observation er associeret med tekniske problemer, for eksempel, forårsagede problemer med pumpen til overskudsslammet et tab i suspenderet stof i beluftningsreaktoren (Figur AP 2-2-10). Pga. den lave biomassekoncentration falder de volumetriske fjernelsesrater, NH_4^+ akkumulerer og N_2O produktionen og emissionen stiger til høje værdier (Figur AP 2-2-10, den 4. til 7. februar), hvilket overstiger N_2O forbruget observeret dagene forinden (den 1.-2. februar). Høje fjernelseseffektivitet samt lave N_2O emissioner blev generhvervet efter et par dage. Under denne periode på 4 dage var lattergas emissionsfaktoren 0,72% sammenlignet med 0,09% i resten af den 23 dages periode.



Figur 2-2-10. Boksplot med N_2O emissionsfaktor (døgngennemsnit) som funktion af forskellige Bypass/Total tilførsler (øverst, venstre). N_2O emissionsfaktor i løbet af en kort periode i februar. NH_4^+, N_2O, DO koncentrationer i beluftningstank, N_2O emissioner og suspenderet stof (SS) koncentration i perioden med driftsforstyrrelser i pumpen, der transporterer overskudslam.

Konklusion og perspektivering

- I mobilrenseanlægget er der målt en lattergasfrigivelse fra de biologiske tanke samt MBR, mens den var ubetydelig i indløbet, udløbet fra biosorptionsanlægget og udløbet fra mobilrenseanlægget. Døgn-gennemsnitlig N_2O emissionfaktor (N_2O-N frigivet/TN fjernet) varierede fra ubetydelig til 8.3%.
- Lattergas emissioner var større i MBR delen end i de biologiske reaktorer i 41% af dagene (i alt en måleperiode på 260 dage). Til sammenligning er N_2O emissioner signifikant lavere i konventionelle bundfældningstanke. Dette skal tages med i overvejelserne, når man designer nye renseanlæg.
- 9 perioder med forskellige flowrater (15 – 20 m^3/t) og realtive flowrater til Biosorptionsreaktor med kulstofhøst (Bypass/total flow på 0-60%). Den gennemsnitlige længde af disse perioder var 17 dage. Lattergas emissionfaktor var 0,01 ± 0,01% - 0,94 ± 1,57% i de 9 perioder, hvor kvælstoffjernelseseffektivitet var i området 50-100%.
- Uafhængigt af den totale flowrate behandlet i den primære del af det mobile anlæg, så resulterede et forhold på mere end 30% imellem Bypass og det total flow i høje kvælstoffjernelser (>80% af TN i indløbet) samt lave N_2O emissionsfaktorer (< 0.1%).
- Høje tilførsler af kvælstof (TN i kg/d) ind i mobil anlægget fører til høje N_2O emissionsfaktorer. Ud fra analyser af online data ser det ud til at lattergas hovedsageligt producere under aerob ammonium oxidation.
- Problemer med driften, såsom tab af biomasse eller pludselige ændringer i tilførsel, som perioder med intens regn, fører til en ubalance i kvælstoffjernelsesprocesser og med det højere N_2O produktionsrater.
- Et højt C/N forholdet i spildevandstilførsel understøtter denitrifikationsprocessen, som forbruger al den N_2O, der produceres under nitrifikationsprocessen

2.2.3. Mobilrenseanlægget i forhold til Gummerup Renseanlæg

Når tilførselsraten til mobilanlægget var 15-20 m^3/t, og forholdet imellem spildevandet, der føres udenom Biosorptionsdelen og det totale tilførsel (Biosorption + Bypass) var omkring 30%, var den gennemsnitlige N_2O emissionsfaktor mindre end 0,1%. Under normal drift på Gummerup Renseanlæg var emissionsfaktoren lig med 0,4%. Dermed var den gennemsnitlige emissionsfaktor lavere på mobilanlægget end Gummerup rensenanlæg.

I begge anlæg, var N_2O frigivelsen mere følsom end den totale kvælstoffjernelse ved pludselige stigninger i tilførslen af kvælstof (TN). Således kan en stigning i kvælstoftilførsel (TN) føre til betydeligt højere N_2O frigivelser, hvilket giver en dramatisk stigning i den gennemsnitlige N_2O emissionsfaktor.

For at reducere N_2O frigivelse i mobilanlægget anbefales det at at lede mere end 30% af indløbet udenom Biosorptionsdelen. Dette øger forbruget af den N_2O, der er produceret af AOB, ved st stimulere denitrifikationsprocessen. Således fungerer dette bypass som en buffer for N_2O frigivelser, og nedsætter følsomheden af lattergas frigivelser over for stigninger i kvælstoftilførsel (TN i det indkommende spildevand).

Referencer

Ahn JH, Kim S, Park H, Rahm B, Pagilla K, Chandran K: N2O emissions from activated sludge processes, 2008-2009: results of a national monitoring survey in the United States. *Environ Sci Technol* 2010, 44:4505–11.

Baresel C, Andersson S, Yang J, Andersen MH: Comparison of nitrous oxide (N2O) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations. *Adv Clim Chang Res* 2016, 7:185–191.

Czepiel P, Crill P, Harriss R: Nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment. *Environ Sci Technol* 1995, 29:2352–6.

Gustavsson DJI, la Cour Jansen J: Dynamics of nitrogen oxides emission from a full-scale sludge liquor treatment plant with nitritation. *Water Sci Technol* 2011, 63:2838.

Bilag AP2-4: Patogene bakterier

Kontakt
Ravi Kumar Chhetri, Forsker på DTU Miljø.
rakc@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251692

Barth F. Smets, Professor på DTU Miljø.
bfsm@env.dtu.dk
Telefon: +45 45252230

Marlene Mark Jensen, Seniorforsker på DTU Miljø.
mmaj@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251551

Introduktion

Der mangler i dag stadig konkrete og effektive tekniske løsninger til at håndtere potentielle patogene bakterier i spildevandet. I dette delprojekt var formålet at kvantificering af patogene bakterier (Coliforme, *E. coli*, *Enterococcus spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Legionella sp., Salmonella sp.*) og parasitter (*Cryptosporidium spp.* og *Giardia Intestinalis*) på Gummerup Renseanlæg og mobilrenseanlægget med henblik på at effektivisere fjernelsen af patogene bakterier.

Metode

Spildevandsprøver blev taget som stikprøver forskellige steder på Gummerup rensningsanlæg og mobilerenseanlægget (Tabel AP 2-3-1) (for mobilrenseanlægget se også figur 2-1-1).

Tabel AP 2-3-1: Prøvetagning på Gummerup Rensningsanlæg og mobilrenseanlægget. Prøvetagning på rensningsanlægget blev foretaget kort før transport tilbage til DTU. Prøver taget den 25.02.2019 blev kun brugt til qPCR (se forneden).

Dato	Prøvetagningssted
23-02-2018	Gummerup renseanlæg Indløb til Biodenitro tanke
	Gummerup renseanlæg Udløb fra Biodenitro tanke
	Udløb fra Gummerup renseanlæg
16-04-2018	Gummerup renseanlæg Indløb til Biodenitro tanke
	Gummerup renseanlæg Udløb fra Biodenitro tanke
	Gummerup renseanlæg Udløb fra klaringstanke
	Udløb fra Gummerup renseanlæg
25-02-2019	Indløb til mobilanlæg
	Udløb mobil biosorptionsanlæg

	Mobil Bioproces tank (nitrifikation/denitrifikation/anammox)
	Udløb fra mobil MBR
26-03-2019	Indløb til mobilanlæg
	Udløb mobil biosorptionsanlæg
	Mobil Bioproces tank (nitrifikation/denitrifikation/anammox)
	Udløb fra mobil MBR
	Udløb mobil Exeno

Prøverne blev enten opbevaret nedkølet eller nedfrosset i sterile beholdere under transporten til DTU Miljø. Både kultiveringsbaseret og ikke-kultiveringsbaseret metoder blev brugt til bestemmelse af patogene bakterier. Ved ankomst til laboratoriet, startede kultiveringen af bakterier, mens prøver til qPCR (se forneden) blev centrifugeret, dekanteret, hvorefter pellet blev nedfrosset til -80 °C indtil DNA ekstraktion.

Kultiveringsbaseret metode
Coliforme og E. coli
Antallet af coliforme and *E. coli* bakterier blev bestemt ved hjælp af MPN metoden (APHA 2012, 9308-2 ISO, 2010). Afhængigt af prøvetagningsstedet, blev colilert-18 reagens blandet med 100 ml ufortyndet eller fortyndet prøve (1:10, 1:100, 1:10.000 eller 1: 100.000) ved brug af et 97-brønde Quanti-Tray. Efter inkubation ved 35 ± 0.5 °C i 18 timer, blev gule brønde talt som positive coliforme bakterier, mens fluorescerende brønde under UV lys indikerede tilstedeværelsen af *E. coli*. Antallet af coliforme og *E. coli* bakterier udtrykt per 100 ml bestemmes ud fra antallet af positive brønde og MPN tabellen fra IDEXX (IDEXX laboratories, Maine, United States).

Enterococcus spp og Pseudomonas aeruginosa
Til bestemmelse af antallet af *Enterococcus spp.* samt *Pseudomonas aeruginosa* blev samme metode som nævnt foroven for coliforme og *E. coli* benyttet (1). De eneste afvigelser fra ovennævnte metode var brugen af Enterolert og Pseudalert reagenser med efterfølgende inkubation ved 41 ± 0.5 °C i 24 timer og 38 ± 0.5 °C i 24-28 timer til henholdsvis *Enterococcus spp.* og *Pseudomonas aeruginosa* bestemmelser. Antallet af *Enterococcus* og *Pseudomonas* bakterier udtrykt per 100 ml bestemmes ud fra antallet af fluorescerende brønde og MPN tabellen fra IDEXX (IDEXX laboratories, Maine, United States).

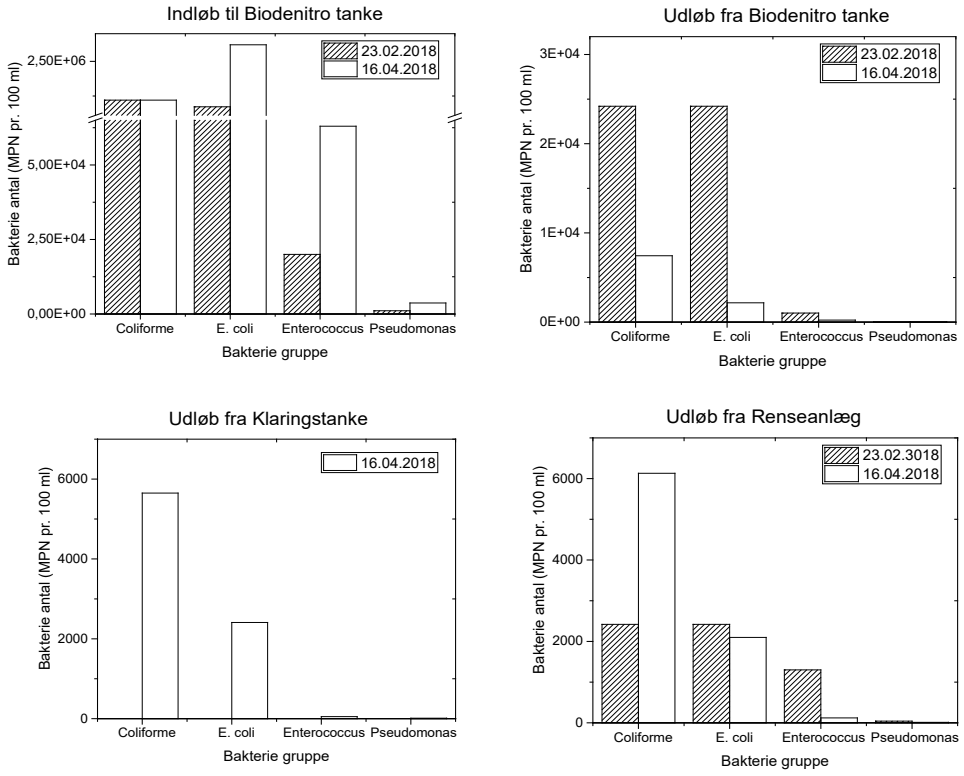
Ikke-kultiveringsbaseret metode
Den samlede bakteriemængde samt antallet af bakterierne *E. coli*, *Campylobacter spp.* og *Campylobacter jejuni* blev bestemt ved DNA ekstraktion på centrifugerede prøver, der lige efter hjemkomst til laboratoriet blev nedfrosset til -80 °C, efterfulgt af kvantitativ PCR (qPCR) med eubakterielle samt specifikke primer som følger:
Genomisk DNA blev ekstraheret med FastDNA™ SPIN kittet (MP Biomedical, Solon, USA), hvorefter mængden og kvalitet af DNA blev bestemt ved brug af nanodrop (ThermoFisher Scientific, Rockwood, USA). 16S rRNA-genkoncentration af total bakterier og de ovennævnte patogene bakterier blev bestemt ved brug af SYBR qPCR master mix kit (Roche) og dtec-qPCR kits (GPS™) samt qPCR maskine (LightCycler® 96, Roche Diagnostics) 16S rRNA genkopinummer blev sammenlignet med standardkurver af genomisk DNA fra *E. coli*, *Campylobacter spp.*, *Campylobacter jejuni, Legionella sp., Salmonella sp.* samt total bakterier.

Samme metode blev brugt til bestemmelse af parasitterne *Cryptosporidium spp.* og *Giardia Intestinalis* (dtec-qPCR kits, GPS™)

Resultater

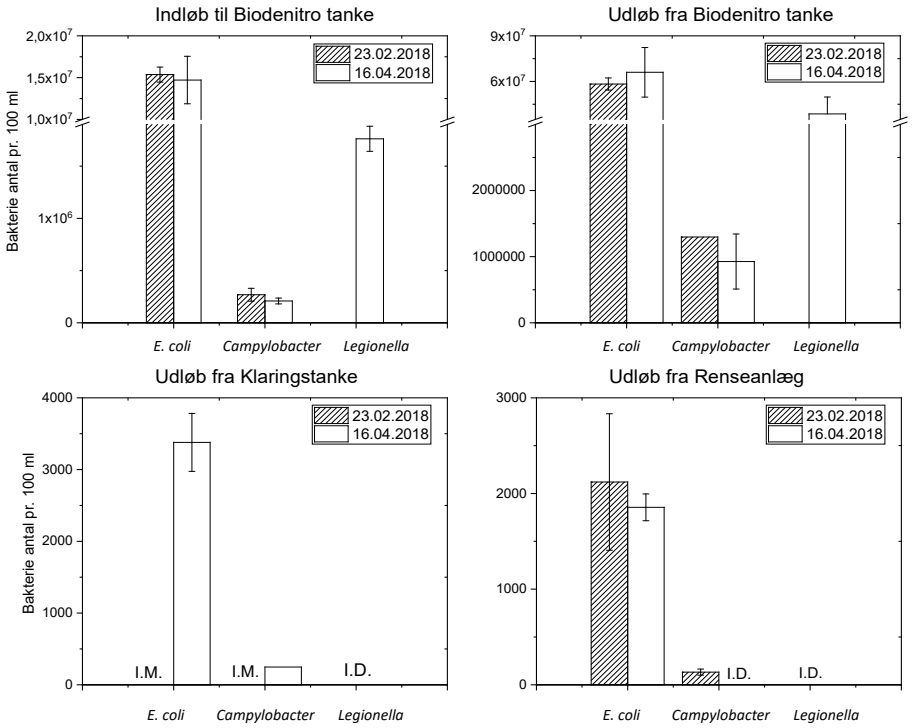
Gummerup Renseanlæg

Antallet af patogene bakterier i spildevandet falder fra Biodenitro tanke til udløb til recipienten idet de især oplagres i slammet (Figur 2-3-1). Det højere antal af *E. coli* i forhold til coliforme bakterier i tilløbet til Biodenitro tankene skyldes den høje usikkerhed associeret med disse målinger (resultater ikke vist).



***Figur 2-3-1**. Antallet af coliforme, E. coli, Enterococcus og Pseudomonas bakterier pr. 100 ml i indløb til biodenitro tanke og udløb fra Biodenitro, klaringstanke og fra Gummerup Renseanlæg til recipienten. Der blev ikke udtaget prøver fra udløb fra Klaringstanke den 23. februar 2018. Resultater stammer fra kultiveringsbaseret metode. I.M. betyder ikke målt, da der ikke blev taget prøver efter klaringstankene den 23. februar 2018.*

Overordnet falder antallet af *E. coli*, *Campylobacter spp*. og *Legionella spp.* fra de biologiske reaktorer og til udløbet (Fig. 2-3-2). Antallet af *E. coli* blev målt ved hjælp af begge teknikker. En sammenligning viser at tallene svarer nogenlunde overens.

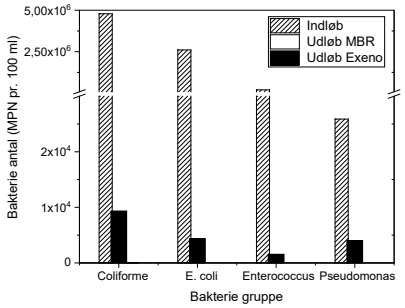


***Figur 2-3-2**. Antallet af E. coli, Campylobacter spp. og Legionella spp. bakterier pr. 100 ml i indløb til biodenitro tanke og udløb fra Biodenitro, klaringstanke og til recipienten. Der blev ikke udtaget prøver fra udløb fra Klaringstanke den 23. februar 2018 (I.M. = ikke målt). Resultater stammer fra den ikke-kultiveringsbaseret metode (qPCR). I.D. = ikke detekteret, dvs. under detektionsgrænsen for metoden. Der blev ikke fundet Giardia Intestinalis, Cryptosporidium spp. og Campylobacter jejuni.*

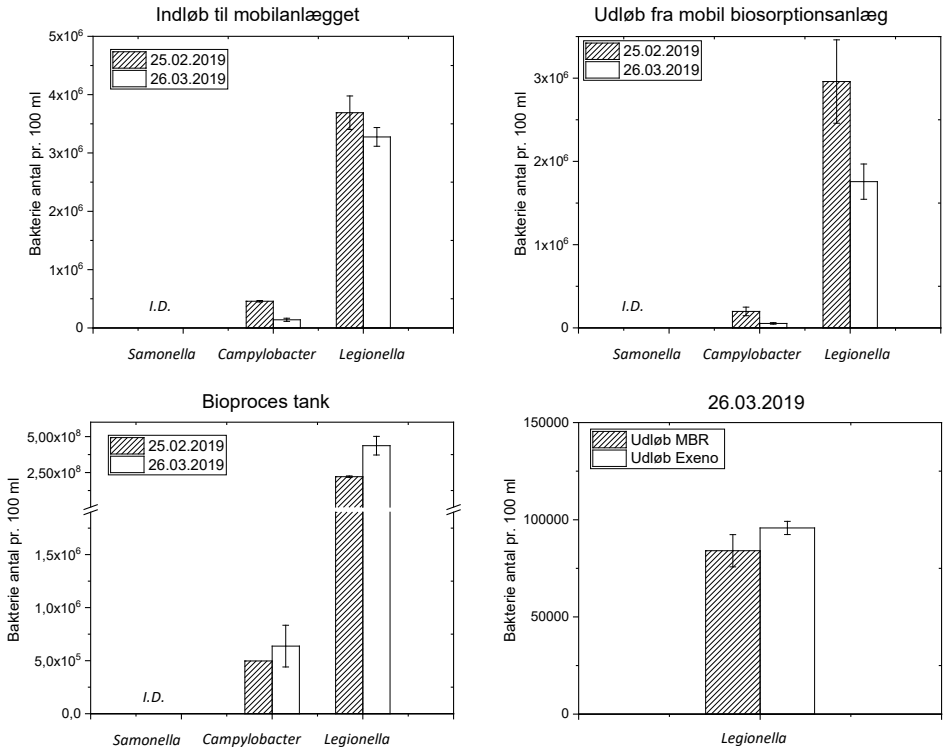
Antallet af både *E. coli* og *Campylobacter spp*. udgør kun en meget lille del af det samlede antal bakterier (< 0.05%). Parasitterne *Cryptosporidium spp.* og *Giardia Intestinalis* samt bakteriearten *Campylobacter jejuni* forekommer ikke på nogen af prøvestederne på Gummerup rensningsanlæg (resultater under detektionsgrænsen af metoden).

Mobilrenseanlægget

Antallet af patogene bakterier falder igennem mobilanlægget (Figur 2-3-3 og 2-3-4). Der blev ikke fundet nogen patogene bakterier i udløbet fra MBR delen, med undtagelse af *Legionella spp.* Som forventet yder MBR teknologien en effektiv fjernelse af patogene bakterier. På en eller anden måde formår *Legionella* bakterierne at passere membranen eller vokse i ledningerne efter MBR delen. Det kræver dog yderligere undersøgelser til at finde ud af hvorfor disse bakterier stadig er tilstede i udløbet af mobilanlægget.



***Figur 2-3-3**. Antallet af coliforme, E. coli, Enterococcus og Pseudomonas bakterier pr. 100 ml igennem mobilanlægget. Der blev ikke detekteret patogene bakterier i udløbet fra MBR. Der blev ikke udtaget prøver fra Bioproces tankene.*



***Figur 2-3-4.** Antallet af Salmonella spp., Campylobacter spp. og Legionella spp. bakterier pr. 100 ml i tilløb og udløb af forskellige dele af mobilanlægget. I begge udløb blev der ikke fundet Salmonella eller Campylobacter bakterier. Resultater stammer fra den ikke-kultiveringsbaseret metode (qPCR). I.D. = ikke detekteret, dvs. under detektionsgrænsen for metoden. N.B. mht. E. coli antal henvises der til den foregående figur.*

Fundet af patogene bakterier i udløbet fra Exeno anlægget skyldes tilførsel af ubehandlet spildevand under feast perioder.

Konklusion og perspektivering

- MBR delen af mobilrenseanlægget fjerner effektivt patogene bakterier i forhold til Gummerup Renseanlæg
- Kun *Legionella spp.* forekommer i udløbet af mobilanlægget, dog i forholdsvis små mængder. Grunden til dette fund kræver yderligere prøvetagninger i MBR tanken og alle trin efter MBR tanken
- Forekomsten af patogene bakterier i udløbet fra Exeno anlægget skyldes tilførsel af ubehandlet spildevand under feast perioder. Det kræver derfor yderligere behandling af udløbsvandet fra Exeno, f.eks. ved et tilbageløb til MBR tanken, for at reducere mængden af patogene bakterier.

References

APHA, Standard Methods for the Examination of water and wastewater (22nd Edition), American Public Health Association /American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA, 2012.
[9308-2 ISO, Water quality -- Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria -- Part 2: Most probable number method, 2012.

Bilag AP2-5: Industrispildevand fra Kerry

Kontakt
Carlos Domingo-Félez, Post Doc på DTU Miljø.
cadf@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251617

Barth F. Smets, Professor på DTU Miljø.
bfsm@env.dtu.dk
Telefon: +45 45252230

Marlene Mark Jensen, Seniorforsker på DTU Miljø.
mmaj@env.dtu.dk
Telefon: +45 45251551

Introduktion

Behandlingen af spildevandet fra ostepulverfabrikken Kerry (Kerry Ingredients & Flavours LTD) i Glamsbjerg foregår delvist ved fabrikken, hvor en del af kulstoffet i spildevandet genindvindes inden spildevandet udledes til behandling på Gummerup Renseanlæg. For at undersøge muligheden for at spildevandet ledes uden om forbehandling ved Kerry fabrikken og direkte til Gummerup Renseanlæg til kulstofgenindvinding, blev der udført en dybdegående statistisk og kemisk analyse spildevandssammensætningen.

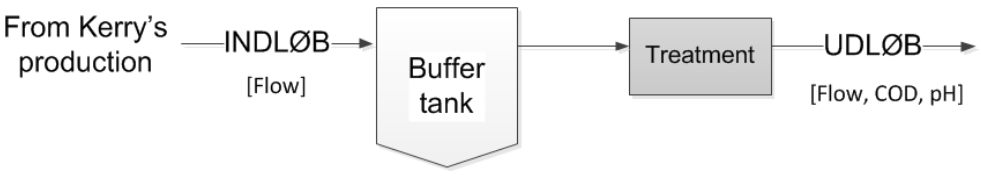
Formål

Formålet med delprojektet er undersøge industrispildevandet fra Kerry med henblik på kulstofgenindviding til biogas produktion i mobilanlægget.

Resultater

Statistisk analyse af variationen i kvalitet og mængde af Kerry spildevand

For at kunne planlægge prøvetagningen af spildevandet fra Kerry bedst muligt, udførte DTU en statistisk analyse for at forstå variationen i kvalitet (COD, pH) og mængde (flowmålinger) af Kerry´s spildevand. Denne statistiske analyse er baseret på målinger (flowrate, total COD, og pH på 247 døgnprøver) foretaget af virksomheden "Kerry Group" i perioden fra januar 2017 til september 2017 på udløbet fra den kemiske behandling (Fig. AP 2-4-1).



Figur AP 2-4-1. Diagram over spildevandsflowet ved Kerry. Behandling af spildevand består polymer og jern tilsætning.

Den statistiske analyse viste, at der ikke var nogen sammenhæng imellem flowraten og COD koncentrationen i udløbet (R^2 = 0.31). Man kan således ikke bruge flowmålinger i udløbet til at forudsige COD koncentrationen i udløbet. Baseret på den statistiske analyse, designede DTU en prøvetagningskampagne på 30 dage. Denne kampagne bestod af en kombination af 4-timers prøver og døgnprøver (indløb: n= 30, udløb: n = 12) foretaget fra den 4. december 2017 til den 14. januar 2018.

Karakterisering af spildevandet fra Kerry

Den kemiske analyse af spildevandprøver fra den 30 dage lange prøvetagningskampagne viser den samme variation i COD koncentration og flow over tid, som analysen baseret på data fra Kerry´s prøvetagning (247 dages døgnmålinger, se foroven). Den 30 dage lange prøvetagningskampagne repræsenterede den kemiske behandling ved Kerry. Variationen (standardafvigelse divideret med middelværdi) i flow og COD tilførsel i indløbet er meget højere end variationen på de samme parametre i udløbet. Dette skyldes buffertanken på Kerry, der har en hydraulisk opholdstid på ca. 1-2 dage (Figur AP 2-4-1). Tilførsel af COD til ledningsnettet varierer meget, for de fleste dage rangerede COD koncentrationen imellem 200 til 350 kgCOD/d, men på nogle dage kan COD koncentrationen nå op på 1000 kgCOD/d. En kort opsummering af COD analyserne:

- Indløb til Kerry anlægget (Figur AP 2-4-1): Meget store variationer med intet mønster i løbet af dagen (COD = 8730 ± 3880 mg/L, 69 samples).
- Udløb: Meget store variationer med intet mønster i løbet af dagen (COD = 3468 ± 2787 mg/L, 62 samples).
- COD_removal: Meget store variationer med intet mønster i løbet af dagen (COD removal = 46 ± 47%, 62 samples).

Omkring 60-80% af alt kulstof, kvælstof og forfor blev fjernet ved den kemiske behandling på Kerry anlægget (Tabel AP 2-4-1 og AP 2-4-2). Selvom variationen i tilførsel af stofferne er høj, baseret på gennemsnittet, er udløbet stadig rig på organisk stof (2906 mgCOD/L), mens næringssalte koncentrationer er signifikant lavere (173 mgN/L og 8 mgP/L) (Tabel AP 2-4-1).

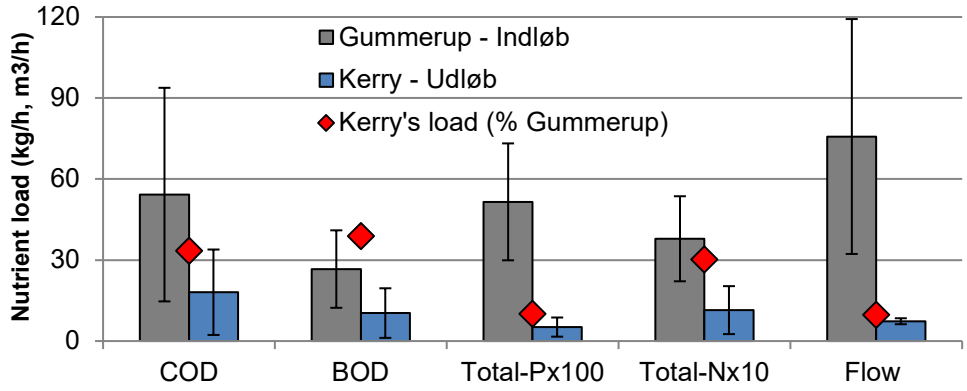
Tabel AP 2-4-1: Sammensætning af Kerry spildevand (indløb og udløb)

	TSS	**VSS**	**VSS/TSS**	**COD_{tot}**	**$COD_{0.45um}$**	**BOD_{7tot}**	**pH**	**TP**	**PO_4^{3-}**	**TN**	**NH_4^+**	**Cond.**	**Flow**
	g/L	g/L	(-)	mg/L	mg/L	mg/L	(-)	mg P/L	mg P/L	mg N/L	mg N/L	S/m	m3/h
Indløb	2.23	2.03	0.89	7832	3376	4599	7	66	40	423	162	1.8	5.8
(std)	*0.79*	*0.70*	*0.04*	*2385*	*1355*	*2032*	*0.3*	*26.7*	*8.9*	*134*	*63*	*0.4*	*1.4*
Udløb	0.90	0.71	0.74	2906	1237	1573	7.0	7.9	4.3	173	39	1.5	6.6
(std)	*0.94*	*0.78*	*0.14*	*2327*	*343*	*1359*	*0.3*	*5.1*	*3.7*	*137*	*20*	*0.4*	*1.4*
Removal (%)	60	65	17	63	63	66		88	89	59	76		

Tabel AP 2-4-2. Sammensætning af spildevand indløb og udløb på Kerry anlægget (gennemsnit ± standardafvigelse)

Indløb					**Udløb**				
COD	**BOD**	**Total-P**	**Total-N**	**Flow**	**COD**	**BOD**	**Total-P**	**Total-N**	**Flow**
(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(m3/h)	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(m3/h)
49 ± 22	33 ± 18	0.33 ± 0.14	2.3 ± 0.9	5.8 ± 1.4	18 ± 16	10.4 ± 9.2	0.05 ± 0.04	1.1 ± 0.9	7.3 ± 1.1
COD/BOD	**COD/TN**	**BOD/TN**	**COD/TP**	**BOD/TP**	**COD/BOD**	**COD/TN**	**BOD/TN**	**COD/TP**	**BOD/TP**
1.6 ± 0.2	22 ± 5	14 ± 4	151 ± 38	98 ± 34	1.9 ± 0.5	16 ± 8	8.7 ± 3.5	540 ± 720	320 ± 430

Kerry bidrager med 10% af spildevandstilførsel til ledningsnettet, men for henholdsvis TN og COD tilførsel (mængde) udgør Kerry 30-35% af den samlede TN og COD tilførsel (mængde) (Figur AP 2-4-2). Tilførsel af TP er lavere, hvilket indikerer at TP hovedsageligt stammer fra husspildevand.



Figur AP 2-4-2. Spildevandssammensætning i udløbet fra Kerry anlægget (data fra DTU/AS målekampagne) sammenlignet med årsgennemsnittet for indløbet til Gummerup Renseanlæg (data fra AS).

Potentialet for kulstof-genindvinding fra Kerry´s spildevand (udrådningsforsøg)
Indholdet af COD i forskellige størrelsesfraktioner blev analyseret for et mindre sæt prøver valgt på baggrund af statistiske analyser (filtration i størrelserne: <0.45 µm, 0,45-0.7 µm og >0.7 µm). I gennemsnit, var der 39 ± 9% COD i en størrelse på 0.7 µm, som kan anses for at være partikulært, mens 18 ± 11% COD var kolloid (0,45-0.7 µm) og 43 ± 7% var på opløst form (<0.45 µm). Mængden af COD, der kan genindvindes som metan (CH_4) blev analyseret ved hjælp af udrådningsforsøg (på engelsk: biomethane potential (BMP)) (Tabel AP 2-4-3). Indholdet af flygtige fedtsyrer blev også målt på de samme prøver. Udrådningsforsøg blev udført i triplikater med en inkubationsperiode på 40 dage ved 35 °C. Gasudviklingen ved udrådningsprocessen, der er et mål for de metandannende bakteriers omsætning, var høj, selvom der også var tale om spildevand fra udløbet af Kerry's anlæg. Cirka 1/3 af

energy genvindingspotentialet af Kerry´s spildevand (dvs. mL_{CH4}/L_{ww}) bliver udledt til ledningsnet. Potentialet for metan produktion var typisk større end 2000 mL_{CH4}/L_{ww} i indløbet til Kerry anlægget, mens det for udløbet fra Kerry var under 1000 mL_{CH4}/L_{ww}. Eddikesyre udgjorde cirka 73% af de flygtige fedtsyrer (baseret på koncentration), der blev fundet i alle prøver.

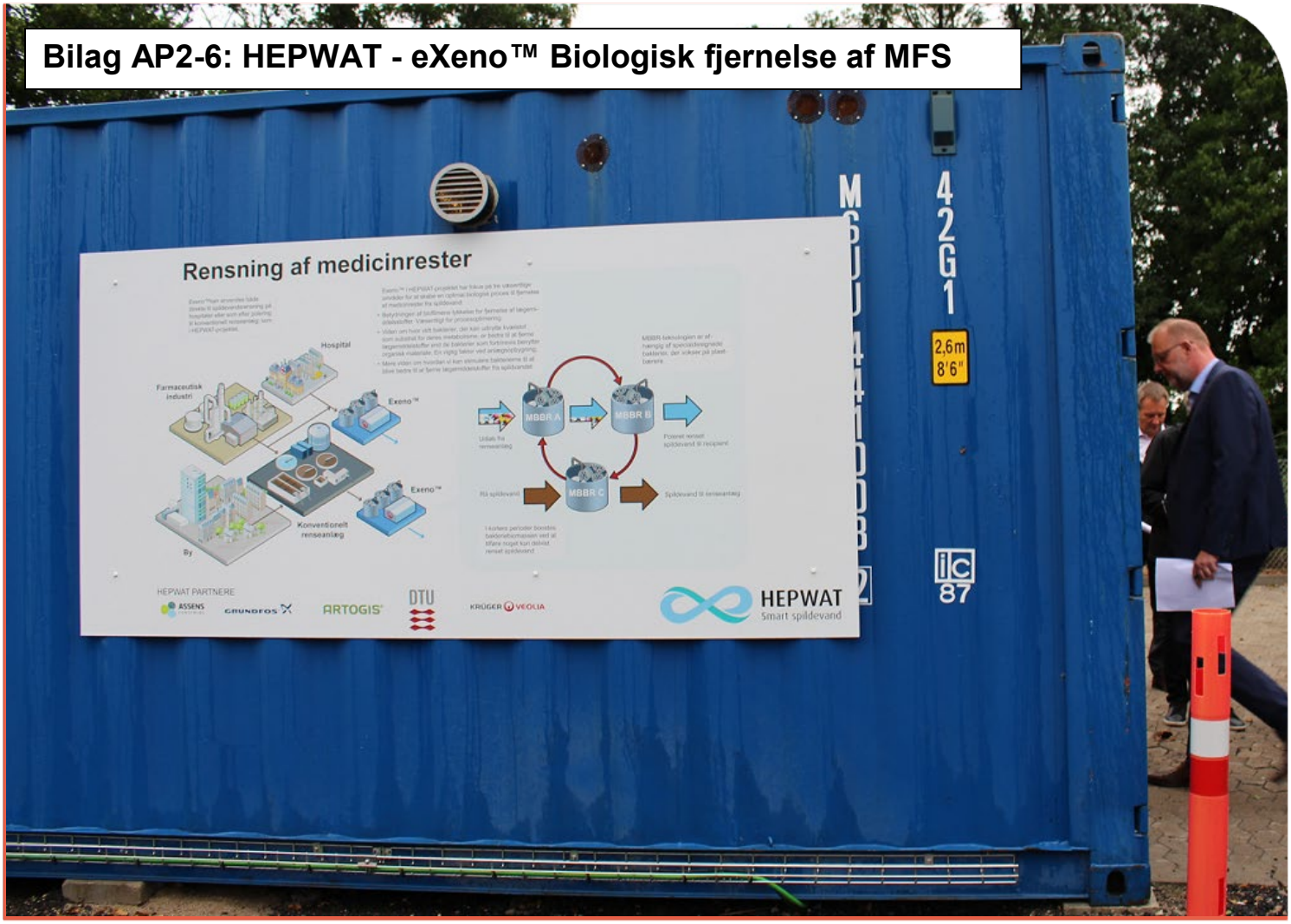
Tabel AP 2-4-3. Til venstre: Resultater fra udrådningsforsøg. Potentialet for biometan (BMP) produktion er målt på 2 forskellige prøver indsamlet i indløbet og udløbet fra Kerry´s anlæg. Til højre: Koncentrationen af fedtsyrer (VFA) i prøverne brugt til BMP

	Biomethane Potential			**Volatile Fatty Acids**				
	COD (g/L)	**BMP** ($mLCH_4/gCOD$)	**BM_total** ($mLCH_4/Lww$)	**Acetic A.** (mg/L)	**Propionic A.** (mg/L)	**Butyric A.** (mg/L)	**Iso-valeric A.** (mg/L)	**VFA total** (mg/L)
Indløb_1	9.5	317 ± 28	3007	295	82	72	55	503
Indløb_2	7.6	234 ± 19	1773	129	22	22	27	200
Udløb_3	2.1	565 ± 108	1198	306	9	2	11	328
Udløb_4	7.7	243 ± 45	1861	197	15	5	22	238
Udløb_5	6.6	145 ± 42	959	169	30	42	27	267
Udløb_6	2.7	289 ± 81	791	251	23	31	15	319

Konklusion og perspektivering

- Den kemiske behandling af spildevandet fra ostepulverfabrikken Kerry giver en variabel COD koncentration i udløbet, der ledes til ledningsnettet. Sammen med det varierende flow i udløbet, forårsager dette en meget fluktuerende mængdetilførsel af COD til Gummerup Renseanlæg og det mobilerenseanlæg, der vurderes at være svær at forudsige.
- Der fjernes omkring 60-80% kulstof, kvælstof og fosfor under den kemiske behandling af industrispildevandet hos Kerry.
- Spildevandet fra Kerry udgør 30-39% af kvælstof og kulstof tilførslen (TN, COD og BOD mængde) og kun 10% af vandtilførslen (mængde) til Gummerup Renseanlæg.
- Uden kemisk behandling af Kerrys spildevand ville give en meget fluktuerende kvælstof og kulstof tilførsel til det mobilerenseanlæg, hvilket ville gøre sværere at opnå god kvalitet af udledningen til recipienten
- Den kemiske behandling ved Kerry fabrikken fjerner næsten 2/3 af det kulstof, der har et iltfrit udrådningspotentiale og dermed energiproduktion.
- Industrispildevandet har et stort potentiale (CH_4/L spildevand) for energiproduktion i form af biometan
- Hvis Kerry øger deres produktion eller vælger ikke at forbehandle deres spildevand kemisk, så må der påregnes højere fluktuationer i tilførsel (mængde) af substrat for biometan produktion (C/N/P) til mobilanlægget.

Bilag AP2-6: HEPWAT - eXeno™ Biologisk fjernelse af MFS



KRÜGER VEOLIA

HEPWAT - eXeno™

Biologisk fjernelse af MFS

Slutrapport August 2019

WATER TECHNOLOGIES

HEPWAT - eXeno™

Biologisk fjernelse af MFS

Slutrapport August 2019

Prepared by: Christina Sund, Krüger A/S
Henrik Rasmus Andersen, DTU Miljø
Kai Tang, DTU Miljø
Elena Torresi, AnoxKaldnes AB

Version: 1

Order number: 1300 21011

Indholdsfortegnelse

1. Resumé 2

2. Projekt baggrund og mål 3

3. Anlægsopbygning 4

4. Pilotanlæggets opstart og drift 6

5. Forsøgsplan 7

6. Analyser 8

7. Resultater 9

7.1 Analyser spildevand tilført pilotanlægget 9
7.2 Produktion af biomasse 10
7.3 Omsætning af medicin stoffer 11

8. Konklusion 15

9. Referencer 16

1. Resumé

Målsætningen med det samlede HEPWAT anlæg var at skabe et energieffektivt spildevandskoncept. Ved at inkludere Mereff processen (kommercielt navn eXeno™) i procesopbygning og derved med en energieffektiv proces, også reducere indholdet af lægemiddelstoffer i det ved Biosorption og MBR behandlede vand.

Forudsætningerne i denne procesopbygning var grundet det unikke behandlingskoncept i HEPWAT anderledes end i det tidligere MUDP støttede udviklingsprojekt Mermiss (Environmental project No. 1988) hvor proceskonceptet først blev udviklet.

eXeno™ pilotanlægget i Hepwat var placeret sidst i et procestog med en ny proceskombination: biosorption og anammox i et MBR anlæg. Tilløbsforholdene for eXeno™ anlægget var grundet funktionen af de foregående trin ikke som forventet. Adgangen til let omsætteligt COD, som skulle benyttes som energi boost for bakterierne, var meget begrænset og nitrat indholdet efter MBR var meget højt. Disse forhold har samlet medført at eXeno™ anlægget har haft forhold, der ikke kan siges være repræsentative for almindelige renseanlæg med N og P fjernelse.

Pilotanlægget var opbygget med tre styk 1 m^3 reaktorer, hvor normalt to reaktorer arbejdende i serie og behandlede udløb fra MBR. Den tredje reaktor var offline for regenerering, det vil sige for at sikre, at biomassen fik adgang til de næringsstoffer, som kræves for produktion af nye bakterier. Anlægget arbejder efter et rotationsprincip, hvor tankenes position i procesforløbet skiftede efter en bestemt tid. Skift udførtes automatisk i overensstemmelse med forsøgsplanen. Fem forskellige driftsscenarier blev testet med forskellige tider mellem skift af position og længde for reaktor i regenereringsposition.

Pilotanlægget var i kontinuerlig drift fra juli 2018 til og med maj 2019.

Der blev analyseret for 24 forskellige miljøfremmede stoffer og hvor hoveddelen var lægemiddelsstoffer. Test og analyser blev udført af DTU (Department of Environmental Engineering). Der blev udført samlet fem forsøgskampagner.

Den begrænsede adgang til kulstof for eXeno™ har derved gjort det muligt at identificere de driftsbetingelser, hvor bakterierne ikke tilføres tilstrækkelig med kulstof for at opretholde en stabil bakteriekultur. Denne viden er af megen stor betydning for den fortsatte udvikling af processen.

Pilotforsøget har også belyst forholdene omkring betydningen af biofilmens tykkelse. Konklusionen på denne del af forsøget er, at en mellemtyk (< 500 µm) biofilm generelt er at foretrække, da den samlet set giver den per fyldelegeme (carrier) største omsætning af miljøfremmede stoffer. I tilfælde af at der er et eller få meget specifikke forbindelser, som skal reduceres, kan en tynd biofilm dog være betydeligt mere effektiv.

Vedrørende koncentrationsprofiler og sammenligning med Gummerup renseanlæg er den positive effekt af eXeno™ som poleringsproces tydelig for ciprofloxacin, diclofenac, atenolol og 5-methyl-1h-benzotriazole. For øvrige forbindelser er effekten mindre udtrykt, men dette kan også skyldes de særlige driftsbetingelser som pilotanlægget haft.

2. Projekt baggrund og mål

Målsætningen med det samlede mobilrenseanlæg i HEPWAT projektet er at skabe et energieffektivt spildevandskoncept ved at:

- I det første behandlingstrin; at høste kulstof fra spildevand på et tidligt stadie ved brug af en biosorptionsproces sammen med et kompakt tromlefilter, for derved at nyttegøre biogas potentialet i kulstof der tilføres med spildevandet.
- I næste behandlingstrin; her fjernes kvælstof biologisk i et MBR-anlæg. Dette gøres mere energiøkonomisk ved at benytte anammox bakterier. Anammox bakterier fjerner kvælstofforbindelser, men bruger kun cirka 50 % af den energi et traditionelt biologisk aktiv slamanlæg bruger til det samme formål. Endvidere bruger denne kvælstoffjernelsesproces, til forskel fra processen i det traditionelle aktiv slamanlæg, ikke kulstofkilde som elektrondonor i kvælstoffjernelsesprocessen. Udløbet fra MBR-anlægget er filtreret med et 0,4 µm membranfilter, som fjerner al suspenderet stof.
- Med Mereff processen (kommercielt navn eXeno™) i procesopbygning opnås yderligere reduktion i indholdet af lægemiddelstoffer i det med Biosorption og MBR behandlede vand. Forudsætningerne i denne procesopbygning er grundet det unikke behandlingskoncept i mobilrenseanlægget anderledes end i det tidligere MUDP støttede udviklingsprojekt Mermiss (Miljøministeriet, Environmental project No. 1988 March 2018), hvor proceskonceptet blev udviklet og først testet i lille skala.

eXeno™ processen bygger på, at bakterierne i korte perioder får adgang til let omsætteligt COD, benævnes FEAST, ved tilførsel af f.eks. udløb fra renseanlæggets primærtank/forbehandling. Formålet er at forsyne bakterierne med et energiboost, til opbygning af biomasse og derved fastholdelse af en konstant mængde biomasse i det samlede system, hvorefter bakterierne placeres i en sulte fase, STARVE. I STARVE fasen har bakterierne kun adgang til den meget begrænsede mængde COD, som resterer efter den normale biologiske spildevandsbehandling og i princippet kun svært omsætteligt COD, heriblandt medicinrester. I HEPWAT projektet tilføres eXeno™ anlægget udløb fra biosorptionsanlægget under FEAST perioderne og kun udløb fra MBR i STARVE perioderne.

I det samlede HEPWAT koncept høstes organisk materiale meget effektivt i første behandlingstrin, biosorption, og adgangen til let omsætteligt kulstof bliver derfor meget begrænset for bakterierne under FEAST. Efter biosorptionsanlægget har spildevandet et lavt COD indhold, men indeholder stadig hoveddelen af kvælstofforbindelserne. eXeno™ anlægget i HEPWAT har derfor væsentlig andre driftsbetingelser end i Mermiss forsøget.

I HEPWAT/eXeno™ er testet om bakterierne stadig kan udvikle den særlige egenskab, hvor de omsætter komplekse organiske forbindelser som lægemiddelstoffer, når de kun får energiboost i form af kvælstofforbindelser i FEAST perioden. Driftsbetingelser bør medføre, at andelen nitrificerende bakterier i biomassen bliver større end, hvis der også var adgang til let omsætteligt COD. Tidligere forsøg har indikeret, at nitrifikanter er meget vigtige i forbindelse med omsætning af svært omsættelige lægemiddelstoffer, det vil sige en større andel nitrifikanter i biomassen burde øge rensekapaciteten.

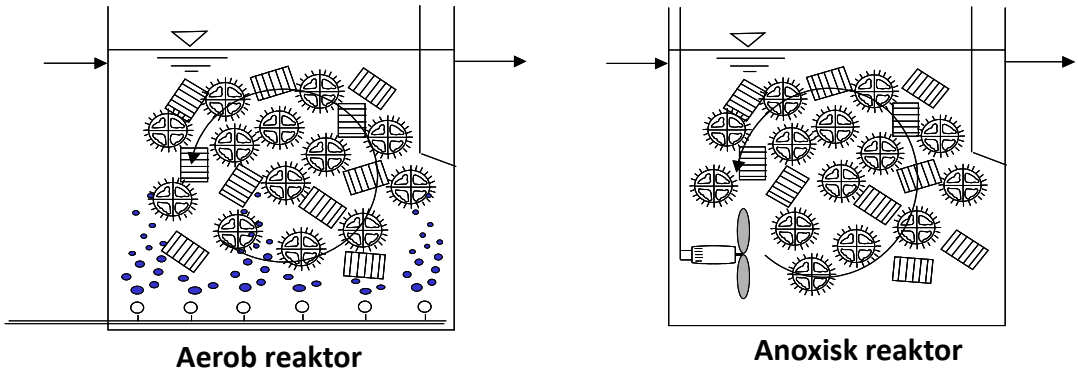
Betydningen af biofilmens tykkelse på funktionalitet er også et parameter, som er blevet testet i HEPWAT projektet. Pilot anlægget var udstyret med en blanding af to forskellige typer AnoxK™ Z carrier, med veldefinerede, men forskellige biofilm tykkelser.

Formålet med HEPWAT/eXeno™ var derfor at:

- Undersøge om det var muligt at etablere en biofilm med større kapacitet til at fjerne svært bioomsættelige lægemiddelsstoffer ved, at energiboost under FEAST sker med høje kvælstofkoncentrationer.
- Undersøge om man ved at styre tykkelsen på biofilmen kan opnå fordele som f.eks. højere omsætningshastigheder.
- Optimere opholdstid i hovedstrøm og længde for `FEAST´
- Vurdere konsekvensen af den biologiske proces på eventuel dosering af ozon for at nå PNEC
- Definere Best Practise

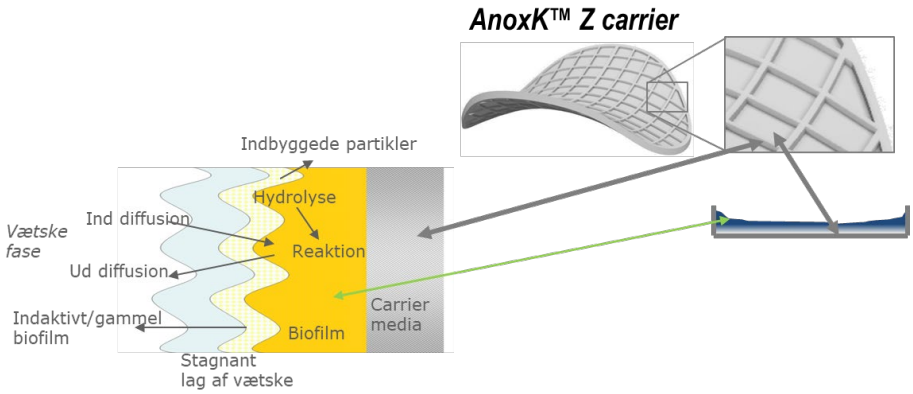
3. Anlægsopbygning

Procesprincippet i eXeno™ anlægget bygger på MBBR (Moving Bed Bio Reactor). MBBR er en biologisk proces, som benytter bakterier som gror på og hæfter til f.eks. et plastikmedium, bærere / carriers, og derved danner en aktiv biofilm. Biofilmen nedbryder organiske forbindelser i spildevand og omsætter kvælstof forbindelser til frit kvælstof (nitrifikation/denitrifikation).



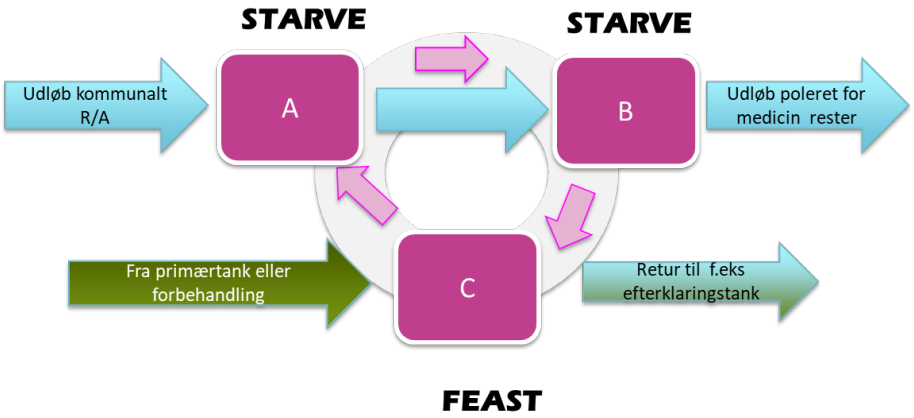
Figur 1. MBBR reaktor principper

I HEPWAT/eXeno™ pilotanlægget benyttes specifikke procesbetingelser med det formål at udvikle en intelligent biofilm, der er mere effektiv end andre bakteriestammer til at omsætte svært omsættelige stoffer som medicinrester i spildevand. Betydningen af biofilmens tykkelse studeres også i dette projekt ved at benytte AnoxK™ Z carrier, hvor grundet carrierens udformning kan designes til at opretholde forskellige biofilmtykkelser. I dette forsøg benyttedes to typer, en med tynd biofilm (~200 µm) og en med mellemtyk biofilm (~400 µm).



Figur 2. Biomassens opbygning på carriers i MBBR systemer som Mereff / eXeno™

Pilot anlægget som består af tre reaktorer (hver 1 m^3) drives i en form for rotationsdrift. Reaktorerne er til ca. 40 % fyldt med carriers hvorpå bakterier vokser, det vil sige det etableres biofilm.



Figur 3. Procesprincip for pilot anlægget til fjernelse af medicinrester

Driften kan beskrives på følgende måde:

- Udløbet fra MBR (sekundær rensning og slamseparation), hvor indholdet af medicin rester skal reduceres yderligere, ledes til de to tanke, som arbejder i serie (STARVE). Det er også muligt i specielle driftssituationer, at alle tre tanke er i drift i hovedlinjen.
- Den tredje tank modtager energiboost (FEAST) ved tilførsel af en mindre mængde fra udløbet af biosorptionsanlægget (primær rensning).
- Efter en forudbestemt tid skifter bioreaktorerne position i behandlingsforløbet, således at den tank som har fået energiboost, FEAST, nu bliver den tank, som modtager udløbet fra MBR-anlægget og derved overgår i STARVE funktion. Den tank som var først i hovedlinjen STARVE overgår samtidig til nummer to position og den forhenværende nummer to tank, som har "sultet" i to faser, overgår til FEAST position. Tidsrum mellem skift af position er en procesparameter som er undersøgt i projektet.
- Rotation af reaktor positioner styres automatisk efter et forudbestemt skema for lukning og åbning af ventiler.

Proces princippet er patenteret. (Patent SE 1650321-1, SE 539304).

Hovedlinjen (STARVE) modtager udløb fra MBR-anlægget og tanken i Regenereringsfasen (FEAST) modtager spildevand fra udløbet af biosorptionsanlægget.

Flow Hovedlinje	min 0,5 m^3/h	max 2 m^3/h
Flow Sidestrøm	min 0,025 m^3/h	max 0,4 m^3/h

Figur 4. Foto fra forsøgsopstilling i container

4. Pilotanlæggets opstart og drift

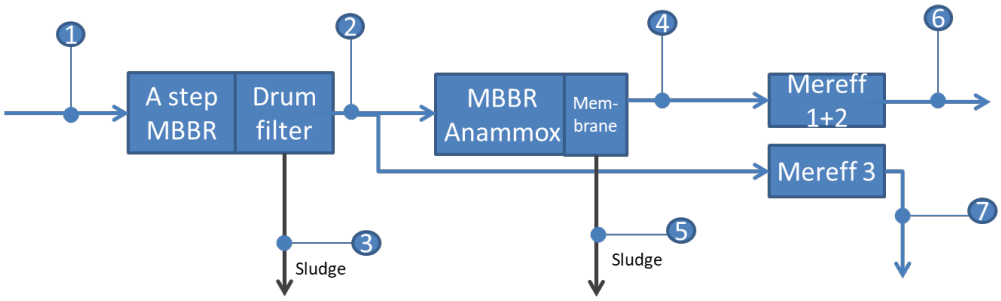
Anlægget blev første gang sat i drift den 20. juni 2018, men grundet driftsproblemer i biosorptionsanlægget og MBR-anlægget blev opstarten afbrudt og anlægget blev sat i drift igen i juli måned 2018. Anlægget var herefter i kontinuerlig drift indtil 31. maj 2019.

Anlægget startedes op med helt nye bærere, carriers, det vil sige uden biomasse. For at skabe bedst mulige forhold for hurtig etablering af biomasse, blev anlægget startet med en driftsform, hvor der blev tilført maksimal mængde af kvælstof og COD under de givne forhold. Biosorptionsanlægget viste sig i hoveddelen af tiden at fungere meget effektivt, da al let omsættelig COD effektivt blev fjernet i dette trin. Til tider forekom der også nitrifikation, hvor der blev målt nitrat i vand, som blev tilført under FEAST fasen. Udløbet fra MBR-anlægget indeholdte i princippet udelukkende små mængder inert COD og derudover i lange perioder høje koncentration af nitrat. Grundet disse forhold var tilvæksten af biomasse meget langsom. Det blev vurderet, at der først medio november 2018 var tilstrækkelig mængde biomasse til stede, og hvor den egentlige forsøgsdrift (rotationsdrift med vekslende perioder FEAST og STARVE), kunne påbegyndes.

Hver gang driftsformen ændres skal bakterierne vænnes til den nye driftsform. Grundet den lange slamalder som benyttes i systeet kan effekten af ændret driftsform derfor tidligst vurderes 4 til 8 uger efter at driften er ændret. Der er i alt testet fem forskellige driftsformer og før hver ændring er der gennemført en prøvetagningskampagne. DTU har været ansvarlig for gennemførelse af prøvetagningskampagnerne. I hver prøvetagningskampagne udtages prøver for at bestemme biomassens evne til at omsætte lægemiddelsstoffer. Efter hver prøvetagningskampagne er driftsbetingelserne modificerede og herefter har anlægget været drevet med denne driftsform i minimum 4 uger før en ny prøvetagningskampagne er iværksat.

Temperaturen i procestankene har varieret med årstiden og var 14 °C da forsøgsdriften startede i november. I februar var temperaturen nede på 9 °C for igen langsom at stige til 14 °C i maj måned. Generelt er biofilm processer mindre følsomme overfor temperatur, men det kan ikke udelukkes, at den lave temperatur i perioder har påvirket renseeffektiviteten.

Af Figur 5. fremgår HEPWAT/eXeno™ pilot anlæggets placering. Udløbet fra biosorptionsanlægget (2) er benyttet som energiboost under FEAST, det vil sige under regenereringsfasen for biomassen. Udløb fra MBR-anlægget (4) udgør hovedstrømmen, som behandles i den egentlige eXeno™ behandlingslinje.



Figur 5. Mereff / eXeno™ anlæggets position i procesopbygningen

5. Forsøgsplan

Som omtalt i afsnit 1. var formålet med forsøget at undersøge indvirkningen af forskellige driftsforhold i relation til biofilmens evne til at omsætte medicinstoffer. Det blev vurderet at ca. fem forskellige driftsformer kunne testes med den planlagte totale driftsperiode for pilotanlægget og den påkrævede driftsperiode mellem ændring af driftsparametre. Af Testplanen fremgår af Tabel 1.

Test fase	Bypass flow fra Biosorption	Opholdstid Behandlings-linje	FEAST tid af total cyklus	Cyklus tid	Formål med driftsbetingelser
1	40 %	2 timer	33 %	18 timer	Maksimal C+N belastning. Medium cyklustid
2	20 %	2 timer	33 %	18 timer	Reduceret C+N belastning Cyklus tid som Fase 1
3	20 %	2 timer	20 %	18 timer	Som Fase 2, men reduceret FEAST periode.
4	10 %	2 timer	33 %	18 timer	Driftstider som i Fase 2, men yderligere reduceret C+N belastning.
5	10 %	2 timer	20 %	60 timer	Kraftigt reduceret C+N belastning. Meget lang cyklustid og meget kort FEAST tid.

Tabel 1. Scenarier i forsøgsplan

Udover at vurdere indvirkningen af driftsparametre på fjernelsen af medicinstoffer, studeres også indflydelsen af biofilmens tykkelse på de to typer carriers.

6. Analyser

To metoder blev anvendt til at bestemme nedbrydning af farmaceutiske stoffer. Den første fremgangsmåde involverede spiking eksperimenter, hvor en kendt koncentration af udvalgte forbindelser blev tilsat. Prøver blev udtaget over en periode på 24 timer for at bestemme restkoncentrationen i vandfasen. Spiking-eksperimenterne viser den potentielle fjernelseskapacitet og er beskrevet i yderligere detaljer nedenfor. I den anden fremgangsmåde blev en bestemt volumen fulgt gennem behandlingssystemet i henhold til den konstruerede hydrauliske opholdstid (HRT), og prøver blev udtaget i de forskellige reaktorer i overensstemmelse hermed. Med denne fremgangsmåde kunne en koncentrationsprofil udarbejdes gennem anlægget. Ved at kombinere disse tilgange blev oplysninger om behandlingssystemets faktiske fjernelsesevne undersøgt på en bestemt dag såvel som systemets samlede potentiale.

For at bestemme den potentielle fjernelseskapacitet ved spiking forsøg blev prøver af spildevand (og carrier) opsamlet ved slutningen af en test fase og bragt til DTUs laboratorium (Prof. Henrik Andersen, Kai Tang). Her blev laboratorieskalaeksperimenter udført i 3 L reaktorer, der simulerede behandlingstoget på mobilrenseanlægget. Forholdet mellem spildevand og carriers blev holdt i samme størrelsesorden som i pilotanlægget.

De enkelte farmaceutiske stoffer, og i nogle tilfælde deres transformationsprodukter, blev analyseret ved HPLC-MS/MS, da alle forbindelser er relativt hydrofile og har lav flygtighed. HPLC-MS/MS er baseret på en adskillelse af forbindelserne i den flydende fase, i dette tilfælde blev der anvendt en Phenomenex Synergi (150 x 2 mm) søjle, og en gradient af forsuret (0,5 % myresyre) vand / methanol. Elueringsmidlet startede med 100% vand til vask af ioniske forbindelser. Derefter blev elueringsmidlet gradvist forøget i methanolindhold, indtil det nåede 100%. I løbet af denne periode blev elueringsmidlet ført ind i ionkilden til mass spektrometret. I ionkilden blev alle indgående forbindelser ioniseret og dirigeret til den tredobbelte quadrupol-masseanalysator. I den første quadrupol blev de respektive forbindelser isoleret, i den anden fragmenteret med nitrogengas, medens de respektive fragmenter i den tredje quadrupol blev analyseret kvantitativt - denne operation kaldes multireaktionskontrol (MRM). Hver forbindelse kvantificeres under anvendelse af to MRM-overgange for at eliminere falske positive eller falske negativer.

Den beskrevne metode er meget følsom, hvilket betyder, at der kan opnås lave kvantificeringsgrænser, og den er meget selektiv, hvilket betyder, at der er meget få signaler, som forstyrrer kvantificeringen. Den anvendte metode producerer normalt standardafvigelser på mindre end 10 %; derfor blev den primære vurdering af data udført under hensyntagen til en forskel, der oversteg SD'et på 10 %, blev betragtet som forskellig: Så hvis forskellen mellem 2 prøver oversteg 20 % forskelle blev betragtet som etableret. I tvivlstilfælde blev mere sofistikerede overvejelser udført.

For at evaluere nedbrydning af den potentielle fjernelse af farmaceutiske stoffer blev førsteordens nedbrydningsligning (ved hjælp af GraphPad Prism uden vægtning: $C = C_0 \cdot e^{-kt}$)

Den anden metode til vurdering af nedbrydning af lægemidler undersøger den faktiske fjernelse af den analyserede behandlingsteknologi i en given skala. Antallet af undersøgte reaktorer svarer til reaktorer i procesopbygningen. Princippet bag prøvetagningen var at følge vandstrømmen gennem systemet. De målte koncentrationer følger den hydrauliske retentionstid (HRT) i hver reaktor. Resultaterne er vist som

aktuelle koncentrationer af de valgte farmaceutiske stoffer til stede i de forskellige reaktorer.

Tabel 2 lister de forbindelser som har indgået i analyseprogrammet. Ibuprofen blev valgt fra, da det er biologisk meget let omsætteligt og omsættes kvantitativt i renseanlæggets aktiv slam proces. Stofferne er udvalgte med baggrund i bland andet den regulering som er indført i Svejs (korrosionsmidler af typen benzotriazoler, medicinstoffer som Carbamazipine, Citalopram, Clarithromycin, Diclofenac, Metoprolol, Venlafaxine), stoffer som er konstaterede at overstiger PNEC i udløb fra danske renseanlæg (Azitromycine, Erythromycine, Bicalutamide, Sulfamethoxazole). Mycophenolic acid og Setralin er valgt på basis af en undersøgelse i Region Midt hvor disse stoffer er konstaterede at repræsentere hoveparten af miljøbelastningen fra sygehusene. De resterende stoffer er medicintyper der hyppigt ordineres i forbindelse med højt blodtryk og høje kolesteroltal.

1-H-benzotriazole	Clarithromycin	Ketoprofen
5-cholobenzotriazole	Clofibric acid	Mefenamic acid
Atenolol	Diclofenac	Metoprolol
Azithromycin	5-methy-1h-benzotriazole	Mycophenolic acid
Bezafibrate	Citalopram	Sertraline
Bicalutamide	Clarithromycin	Sulfamethoxazole
Carbamazepine	Erythromycin	Venlafaxine
Ciprofloxacin	Hydrochlorothiazide	
Citalopram	Iohexol	

Tabel 2. Analyseprogram

7. Resultater

7.1 Analyser spildevand tilført pilotanlægget

Grundet den effektive fjernelse af opløst organisk materiale i det foregående biosorptionsanlæg har det været mere problematisk end forventet at etablere en tilstrækkelig mængde biomasse i anlægget. Bakterierne i biofilmen har derfor ikke haft adgang til megen let adsorberet og let omsættelige kulstof. Kulstof er en væsentlig byggesten for produktion af nye celler. MBR-anlægget nitrificerer effektivt, men fjerner kun delvis nitrat pga. udfordringer med markant højere kvælstofbelastning end forventet. eXeno™ anlægget tilføres derfor nitrat i koncentrationer, der ikke normalt forekommer i udløb fra renseanlæg med næringsstof fjernelse. Disse forhold har medført at eXeno™ processen, i denne procesopstilling, har haft nogle driftsbetingelser der ikke før er blevet testet, hvad angår både forhold under energi boost (FEAST) og procesbetingelserne i behandlingslinjen (STARVE). Se Tabel 3.

P2 Efter Biosorption		mg/l				P4 efter MBR		mg/l		
	COD tot	COD filtr	NH4-N	NO3-N	PO4-P	COD tot	COD filtr	NH4-N	NO3-N	PO4-P
Gennemsnit Nov	123	70	44	0,2375	2,65	17	16	0,57	41	2,00
Gennemsnit Dec	59	36	30	1,20	1,46	17	17	0,14	25	1
Gennemsnit Jan	54	39	16	1,54	1,61	17	16	0,16	25	1,27
Gennemsnit Febr	140	79	25	1,34	1,78	17,75	17,5	0,425	14	0,495
Gennemsnit Maj	86	30	19	14,58	1,72	16	15,33	0,26	8	0,15
Gennemsnit alle	92	51	27	3,78	1,84	17	16	0,31	23	1,04

Tabel 3. Eksterne analyser for udløb fra Biosorption (tilløb under FEAST) og MBR (tilløb under STARVE)

Driftsparametre som COD, NH_3, NO_3, NO_2 og PO_4 er regelmæssig analyseret med test kit og spektrofotometer. Ved nogle tilfælde er prøver sendt til eksternt laboratorium. Tabel 4. viser f.eks. en typisk driftsanalyse (fra den 21. januar), hvor der også er tilføjet en kolonne med analyser fra eksternt laboratorium til sammenligning. Der er forholdsvis god overensstemmelse mellem de to analyser, dog er ammonium analyserne udført med analysekit / spektrofotometer noget højere end de eksterne analyser. Ligeledes ser analysekit ud til at give for høje værdier for COD.

	Fra Biosorption til regenerering	Fra MBR Hovedlinje	MBBR TA10	Analyser eksternt laboratorium 24. januar	MBBR TA20	MBBR TA30
Position (1,2 eller FEAST)			Tank 2 Udløb	Tank 2 udløb.	FEAST	Tank 1
Flow [m^3/hr]	0,2	1,1				
Temperatur	-	-	9,0		9,1	9,1
Temperatur (online sensor)		10,4	9,1		9,3	9,3
NH_4-N (online sensor)			2,6			
NO_3-N (online sensor)			22,0			
TCOD [mg/l]*	33	< 15	25	16	35	<15
N-tot [mg/l]				30.8		
	Filteret prøve (0,45 µm):					
NH_4-N [mg/l]	8,4	2,6	2,94	< 0,1	4,24	2,96
NO_3-N [mg/l]	4,78	24,0	23,6	26,8	18,2	24,0
NO_2-N [mg/l]			0,005		1,6	0,006
PO_4-P [mg/l]	1,37	0,65	0,70	2,9	1,0	0,68
BOD5 [mg/l]				< 3		

Tabel 4. Driftsanalyser udført med test kit 21. januar sammenlignet med analyse fra eksternt laboratorium den 24. januar.

7.2 Produktion af biomasse

Som tidligere nævnt var tilvæksten af biomasse på carriers meget langsom, grundet det lave indhold af let omsætteligt COD i det spildevand, som blev tilført reaktorerne. Kvælstofbelastningen (NH_4-N) lå på niveau med de forsøg som er udført i Mermiss projektet, men biomasse produktionen fra nitrificerende bakterier er væsentligt lavere end fra fakultativa aerobe bakterier, der benytter kulstof som hovedbyggesten for celleproduktion. Af Tabel 5. fremgår udviklingen af mængden af biomasse per carrier under forsøgets gang.

De to typer carriers er designede til at opretholde enten en tynd eller tykkere biofilm. Resultaterne viser, at den carrier, som konstruktionsmæssig tillader en tykkere biofilm, også er i stand til under identiske procesforhold, at etablere en tykkere biofilm end den anden type carrier.

Den sidste kolonne i Tabel 5. viser hvor stor en del af max flowet fra biosorptionsanlægget som ledes til FEAST tanken i eXeno™ anlægget. Det er dermed et udtryk for hvor stor en mængde let omsætteligt COD som tilføres under en total

driftscyklus. Tilførsel af NH_4-N følger COD mængden i det NH4-N kun tilføres vi udløb fra biosorption. I driftsfase 1 blev tilført den største mængde let omsætteligt COD og NH_4-N per driftscyklus (sat til 100 %). I de følgende driftsfaser kan det ses, at mængden af tilført let omsætteligt COD og NH_4-N gradvis reduceres for til sidst under driftsfase 5 kun at udgøre 15 % af den mængde, som blev tilført under driftsfase 1.

Af tabellen fremgår at tilvæksten i mængde biomasse per carrier bliver negativt, da tilført COD kommer ned under 50 % af fase 1 belastning. Den tilførte mængde COD og NH_4-N er ikke stor nok til, at ny produktion af bakterier kan kompensere for det naturlige henfald af bakterie celler. Denne konstatering er af stor betydning for fastlæggelse af design parametre for processen og en information som ikke tidligere har været tilgængelig.

For at opretholde en aktiv bakterie kultur er det vigtigt, at de fornødne byggeklodser til ny produktion af celler er til stede. I dette specifikke tilfælde, hvor der fokuseres på at opretholde en "sulten" kultur, som angriber svært omsættelige stoffer, er det af stor betydning, at kun den absolut nødvendige mængde let omsættelig COD er til rådighed for bakterierne.

Test fase	Periode	Driftsbetingelser	Biomasse g/carrier Tynd biofilm	Biomasse g/carrier Tykkere biofilm	COD mængde fra biosorption* per cykel
1	15/11- 28/1	Maksimal C+N belastning. Medium cyklustid	5,3	6,7	100 %
2	29/1 – 25/2	Reduceret C+N belastning Uforandret cyklus tid	12,2	17,4	50 %
3	26/2 – 26/3	Som Fase 2 men reduceret FEAST periode.	8,9	14,2	34 %
4	27/3 – 29/4	Driftstider som i Fase 2, men yderligere reduceret C+N belastning.	5,9	8,6	25 %
5	30/4 - 31/5	Kraftigt reduceret C+N belastning. Meget lang cyklustid og meget kort FEAST tid.	6,5	7,9	15 %

* Kun tilgang til let omsætteligt COD fra udløb biosorption, tilføres under FEAST fase.

Tabel 5. Udvikling af biofilm på carriers

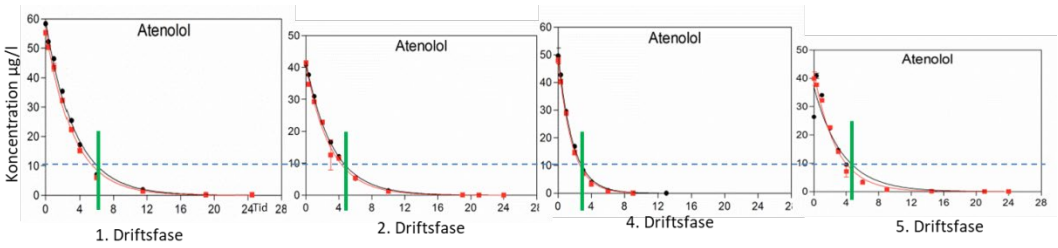
7.3 Omsætning af medicin stoffer

Det er en meget langsom biologisk proces at udvikle bakterier, der er i stand til at omsætte svært bioomsættelige forbindelser, som fx medicin rester. Forbindelserne forekommer i meget lave koncentrationer i spildevandet og derfor udsættes bakterierne ikke massivt for den aktuelle forbindelse, hvilket ellers vil kunne stimulere mutationer for at justere bakteriernes funktion og derved fremskynde evnen til at nedbryde de aktuelle forbindelser. eXeno™ anlægget startede op uden biomasse og var i drift i cirka 10 måneder. Set i relation til den drift, som blev opretholdt, er denne driftsperiode sandsynligvis ikke tilstrækkelig for at kunne vurdere processens effektivitet. Resultaterne skal derfor ses som en indikation på hvorvidt et specifikt stof har potentiale til at blive omsat biologisk.

Der er gennemført seks prøvetagningskampagner, hvor den første kampagne blev foretaget midtvejs under driftsfase 1 og for at afprøve procedurerne. De øvrige fem kampagner er udført i slutningen af en driftsfase, lige før at skift til næste driftsfase er udført.

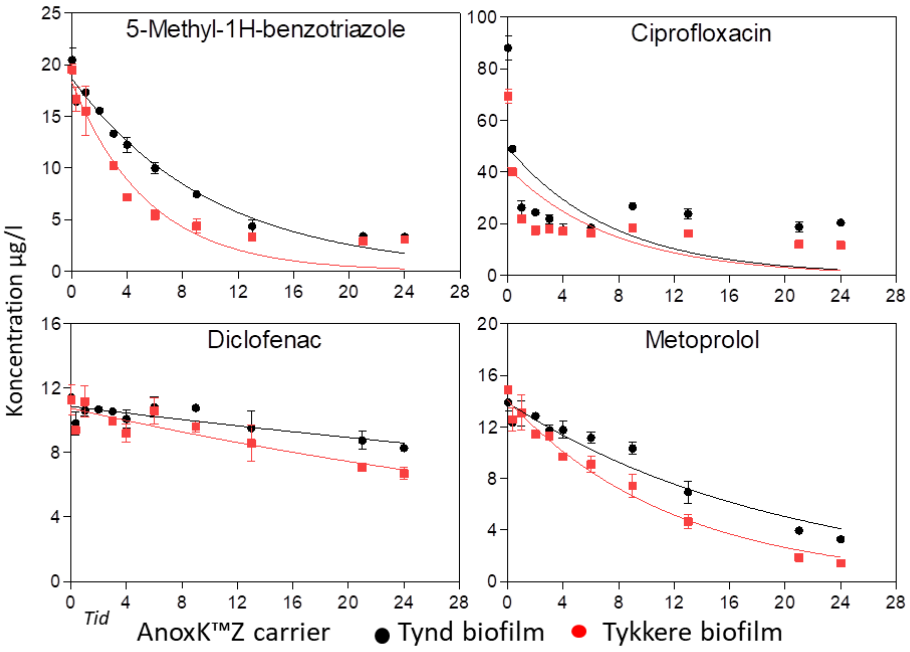
Resultaterne for omsætning af testforbindelserne i de fem kampagner stemmer forholdsvis godt overens med, hvad som kan forventes ud fra biomassens tilvækst, samt henfald i de senere driftsfaser, hvor adgangen til COD var begrænset.

For de fleste forbindelser blev de højeste omsætningshastigheder opnået under anden og tredje driftsfase. Dog kunne for nogle forbindelser f.eks. atenolol, arithromycin, ciprofloxacin, diclofenac, erythromycin ses en stigende omsætningshastighed helt til og med fjerde driftsfase. Driftsbetingelserne under den femte og sidste driftsfase var blevet så begrænsende at omsætningshastigheden faldt ift. De tidligere driftsfaser (Figur 6).



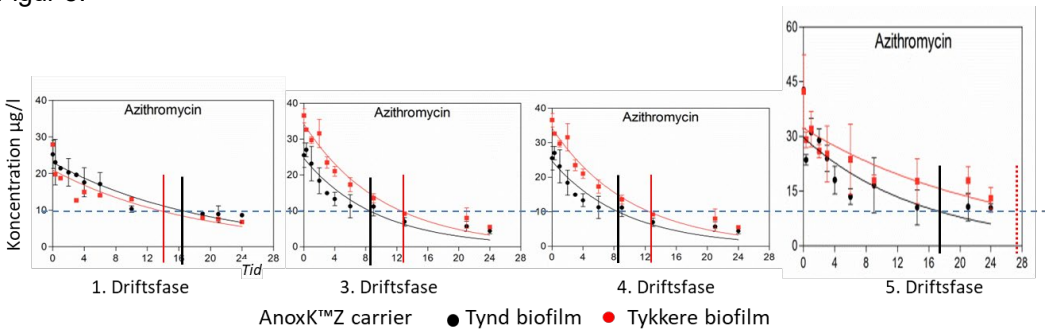
Figur 6. Omsætning som funktion af tid for Atenolol i forskellige driftsfaser

Biofilmens evne til at omsætte de udvalgte forbindelse blev for de to typer carriers testet hver i sig, det vil sige det blev undersøgt om der var forskel mellem en tynd og en tykkere biofilms evne til at nedbryde de forskellige stoffer.



Figur 7. Sammenligning af carriers med enten tynd eller tykkere biofilm. Tredje testfase.

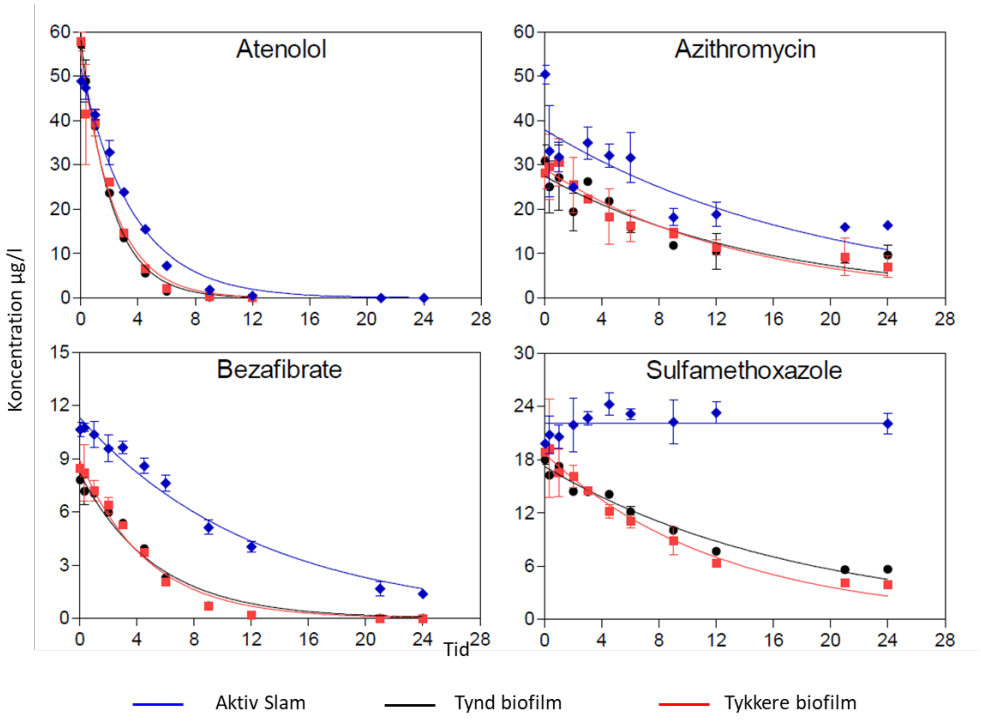
Af Figur 7. fremgår det, at carriers med tykkere biofilm omsætter mere effektivt de udvalgte stoffer end carriers med tyndere biofilm, hvilket også var tilfældet for de fleste andre af de undersøgte stoffer. Azithromycin var en af undtagelserne, hvilket kan ses i Figur 8.



Figur 8. Udvikling af biomassens evne til at omsætte Azithromycin på AnoxK™ Z carrier med enten tynd eller tykkere biofilm.

Under den første driftsfase, hvor biofilm mængden var stort set ens for de to carrier typer, er evnen til at omsætte Azithromycin også stort set ens. Under tredje og fjerde driftsfase bliver carriers med den tyndere biofilm betydeligt mere effektiv, til trods for at mængden/tykkelsen af biofilm på denne carrier type var 40 – 60 % mindre. Der ses også et tab af effektivitet under 5. driftsfase, hvor biofilmen blev kraftigt sultet, på lige fod med det som sås for de øvrige forbindelser.

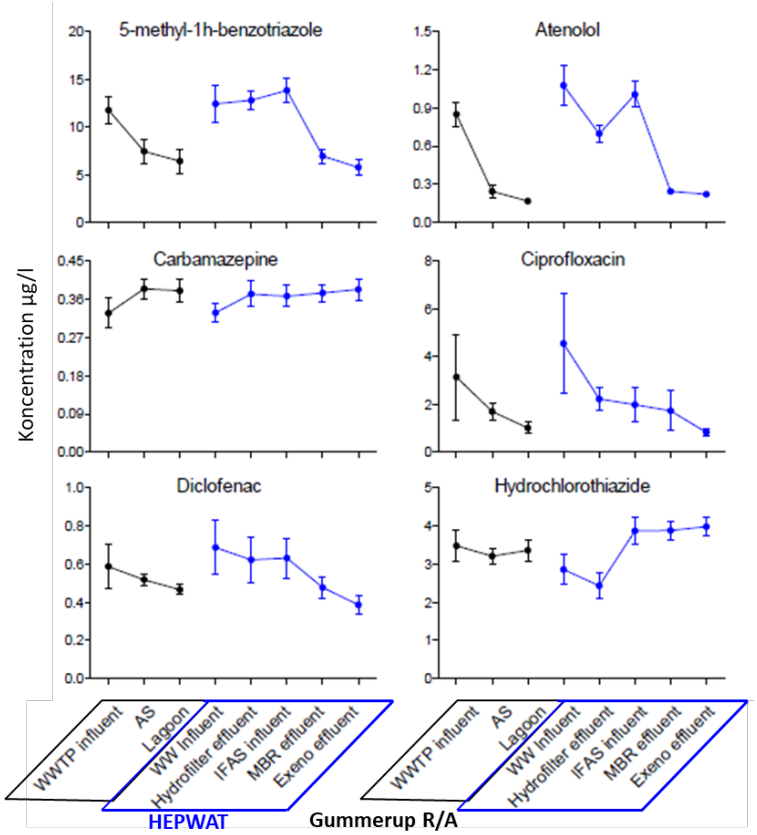
Biofilmens effektivitet blev også sammenlignet med aktiv slam fra Gummerup renseanlæg. Figur 9 viser en batch test, hvor effektiviteten for carriers med biomasse udtaget efter 2. driftsfase sammenlignes med effektiviteten for aktiv slam fra renseanlægget. Biomassemængden i de forskellige systemer er ens.



Figur 9. Sammenligning af aktiv slam fra Gummerup R/A med carriers fra eXeno™

Forsøget som vises i Figur 9. er udført som en spiking test. Det vil sige testkoncentrationerne er betydeligt højere end de naturligt forekommende koncentrationer i spildevandet. Denne forsøgsbetingelse burde være en lille fordel for aktiv slam, da bakterier i aktivslam i princippet kommer i kontakt med urenset spildevand hvor koncentrationerne teoretisk burde være noget højere end i renseanlæggets udløb. eXeno™ anlægget modtager renset spildevand (fra MBR-anlæg), det vil sige koncentrationerne kan for nogle af stofferne være lidt lavere. Dette til trods viser forsøget at biofilmen i eXeno™ anlægget er mere effektiv til fjernelse af disse forbindelser end aktiv slam.

Der blev udtaget prøver for at etablere koncentrationsprofiler over det samlede mobilrenseanlæg. Til sammenligning blev der også udtaget prøver fra det eksisterende Gummerup renseanlæg, som efter idriftsættelse af mobilrenseanlægget nu kun modtager den halve tilløbsmængde i forhold til før mobilrenseanlægget blev opstillet. Figur 10. viser nogle af resultaterne fra prøvetagningskampagnen som blev udført 14. – 16. april 2019.



Figur 10. Koncentrationsprofiler over Gummerup RA og mobilrenseanlægget i perioden 14. – 16. april 2019.

Der ses en god omsætning af 5-methyl-1h-benzotrazole, Atenolol og Ciprofloxacin i begge anlæg, men hvor eXeno™ anlægget reducerer indholdet yderligere end det eksisterende Gummerup renseanlæg. Diclofenac er den forbindelse, hvor effekten af poleringen på MBR-udløbet med eXeno™ udviser den største effekt. Carbamazepid og Hydrochlorothiazide udviser en udvikling gennem anlæggene som muligvis skyldes at bakterierne bidrager til en metabolisk dekonjugation (stigende koncentrationer) af disse forbindelser og ingen omsætning.

Den lave belastning på Gummerup renseanlæg, som følge af aflastning til mobilrenseanlægget, har også positivt bidraget til fjernelse af medicin rester i aktiv slam anlægget.

8. Konklusion

Mereff /eXeno™ pilotanlægget i HEPWAT var placeret sidst i procestoget med en ny proceskombination, Biosorption og Anammox i et MBR-anlæg. Tilløbsforholdene for eXeno™ anlægget har grundet driften af de foregående trin ikke svaret til, hvad der tidligere er blevet lavet forsøg med. Adgangen til let omsætteligt COD har været meget begrænset i det biosorptionsanlægget effektivt fjerner det meste COD, både på opløst og suspenderet form. Videre har MBR-anlægget effektivt oxideret ammonium, men ikke reduceret nitrat nævneværdigt, pga. en overbelastning af kvælstof ift. design. Derved har enhver forekomst af let omsætteligt COD i eXeno™ sandsynligvis blevet benyttet af de tilstedeværende denitrificerende bakterier. Disse forhold har samlet medført at eXeno™ anlægget har haft forhold, der ikke kan siges være tilsvarende udløbet fra almindelige renseanlæg med N og P fjernelse.

eXeno™ pilotforsøget har grundet disse forhold været drevet under helt specielle forhold, og det har derfor åbnet for at undersøge nogle procesmæssige forhold, som ikke tidligere er blevet studeret. Den begrænsede adgang til kulstof har gjort det muligt at identificere de driftsbetingelser, hvor bakterierne ikke tilføres tilstrækkelig med kulstof for at opretholde en stabil bakteriekultur. Denne viden er af megen stor betydning for den fortsatte udvikling af processen. Grundideen i eXeno™ er at bakterierne kun skal tilføres den mængde næringsstoffer (COD, N og P), som sikrer balance mellem henfald og ny produktion, men som til stadighed sikrer, at bakterierne er aktive i forhold til at omsætte de svært bionedbrydelig forbindelser, som efter den almindelige biologiske rensning af spildevandet forekommer i lave koncentrationer.

Pilotforsøget har også belyst forholdene omkring betydningen af biofilmens tykkelse. Generelt kan det konstateres at en tyndere biofilm per vægtenhed er mere effektiv til nedbrydning af disse miljøfremmede stoffer end en tykkere biofilm. Fra et designsynspunkt er dette dog ikke alene afgørende, i det der kræves en overflade som bakterierne kan vokse på. I MBBR processen bruges fyldlegemer af plast (carriers) og disse designes for at skabe en så stor overflade som muligt taget alle forhold i betragtning. En tynd biofilm på den benyttede type carrier medfører en samlet set mindre biomassemængde per carrier end en tykkere biofilm. Omsætningshastigheden per vægtenhed biomasse i den tyndere biofilm skal derfor være betydeligt højere end i den tykkere biofilm, for at kompensere for den reducerede biomasse. Af de undersøgte forbindelser var det kun erythromycin, som udviste en omsætningshastighed, som kompenserede for den lavere biomassemængde på en carrier med lille biofilm tykkelse. Konklusionen er derfor, at en mellemtyk (< 500 µm) biofilm generelt er at foretrække, men hvis det er et eller få specifikke forbindelser som skal reduceres, kan en tynd biofilm i nogle tilfælde være betydeligt mere effektiv.

Vedrørende koncentrationsprofiler og sammenligning med Gummerup renseanlæg kan konstateres positive effekt af eXeno™ som poleringsproces for reduktion af indholdet af ciprofloxacin, diclofenac, atenolol og 5-methyl-1h-benzotriazole. For øvrige forbindelser er effekten usikker, men her skal endnu en gang gøres opmærksom på de helt unikke og udfordrende driftsbetingelser, som eXeno™ pilotanlægget haft i HEPWAT projektet, sandsynligvis ikke er repræsentative for traditionelle kommunale renseanlæg.

9. Referencer

Environmentally friendly treatment of highly potent pharmaceuticals in hospital wastewater – Mermiss. Miljøministeriet, Environmental project No. 1988 March 2018.
Patent SE 1650321-1, SE 539304. Biological removal of micropollutants from wastewater

Bilag AP3-1

Emne	:	**HEPWAT WP3 – Slutrapport til MUDP m.fl.**
Modtager(e)	:	Assens Forsyning: Anders Bang, Michael Dissing Nielsen Miljøstyrelsen: Henrik Dissing
Forfatter(e)	:	Allan Skouborg / Henrik Rask
Dato	:	30. august 2019
Filnavn	:	G:\Kunder\Assens Forsyning\HEPWAT projektet\00-B, Styregruppe forhold\HEPWAT WP3 slutrapport, ver-1-1, FINAL.docx

HEPWAT WP3 – IT-LØSNING

ARTOGIS' AFSLUTTENDE RAPPORT

Eltangvej 61
6000 Kolding

www.artogis.dk

Tlf. 75 53 73 93
Fax 75 53 72 93

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. FORMÅL 3

2. LEDELSESMÆSSIGT RESUMÉ 3

2.1 WP3's overordnede målopfyldelse 3

2.2 WP3 målopfyldelse, ift. HEPWAT projektets 11 overordnede mål 4

2.2.1 WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 1-10 6

2.2.2 WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 11 6

2.3 Overholdelse af tids- og budgetmæssige rammer for WP3 8

3. WP3 – MARKEDSPOTENTIALET 8

4. WP3 - DEN TEKNISKE LØSNING 9

4.1 Løsningsillustration – før, under og afslutningsvist 10

4.1.1 MUDP Fase 2-ansøgningens løsningsillustrationer 10

4.1.2 Justeret WP3 løsningsillustration - Jf. Assens Forsynings instruks 12

4.1.3 WP3 løsningsillustration - Den faktiske implementering 13

4.2 IT-mæssige sikkerhedsaspekter 14

5. WP3 RAMMEVILKÅR I HEPWAT 14

1. Formål

Nærværende notats formål er at:

- Orientere HEPWAT projektledelsen hos Assens Forsyning (AF) om resultaterne af HEPWAT projektets arbejdspakke 3 (WP3), og herunder opsummere de væsentligste procesmæssige forhold undervejs i projektperioden (01. december 2016 til 30. april 2019, for WP3's vedkommende), ARTOGIS' egen-evaluering af resultatskabelsen i WP3 ift. Fase 2-ansøgningen til MUDP (november 2016, herefter kaldet MUDP-ansøgningen) samt WP3's rammevilkår i HEPWAT projektet.
- Med afsæt i forannævnte orientering dels at kunne indgå som delelementer i, dels at kunne vedlægges som bilag til, den af AF udarbejdede afsluttende HEPWAT rapportering, såvel over for MUDP og HEPWAT Referencegruppen som i den afsluttende rapport til ekstern offentliggørelse.
- Informere Miljøstyrelsens administration om WP3 aktiviteter og resultater, set i et ARTOGIS perspektiv, jf. anmodning herom fra MST. Notatet fremsendes således i sin fulde udgave.

Da notatets formål ikke dækker afrapportering i forhold den afsluttende revision af WP3, er der ikke inkluderet detaljerede redegørelser vedrørende WP3 tidsforbrug, og dertil hørende økonomi. Der udarbejdes en separat slutrapport herom, i overensstemmelse med den hidtidige praksis/skabelon ifm. regnskabsaflæggelse over for samt fakturering af MUDP.

Notatet har ligget til høring hos AF siden ultimo april, og har efterfølgende gennemgået et par opdateringer, der ligeledes er fremsendt til AF's kommentering.

AF har ultimo august meddelt, at man "ikke helt ser forløbet, som det beskrives i rapporten", at man "således ikke kan dele alle synspunkter" og at man "med det som udgangspunkt vil lade rapporten være som den er nu, og som sagt skrive ovenstående".

Efterspørgsel efter en konkretisering har ikke afstedkommet yderligere

Notatet beskriver således alene forholdene, set i et ARTOGIS perspektiv, som vi har oplevet forløbet. Det bør for god ordens skyld understreges, at der foreligger en god dokumentation for de procesmæssige forhold.

2. Ledelsesmæssigt resumé

2.1 WP3's overordnede målopfyldelse

Det er vores (ARTOGIS') opfattelse, at WP3 IT-løsningen til fulde opfylder HEPWAT's overordnede målsætning nr. 11 *"Open Source demonstreres i Spildevandsbranchen"* samt i varierende omfang bidrager til opfyldelsen af de øvrige 10 overordnede HEPWAT målsætninger, jf. MUDP-ansøgningen. Se *afsnit 2.2.1 "WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 1-10"* samt *afsnit 2.2.2 "WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 11"* for nærmere uddybning af denne vurdering.

Grundet rammevilkårene for WP3's aktiviteter i relation til HEPWAT projektets øvrige partnere og arbejdspakker (se *afsnit 5 "WP3 rammevilkår i HEPWAT"*) må konklusionen beklageligvis også være, at WP3 IT-løsningen i den afsluttende konfiguration (som den aktuelt er etableret i AF, i HEPWAT projektregi) er ganske langt fra at udfolde sit fulde potentiale.

I tillæg til de beskrevne forhold relateret til WP3 IT-løsningens målopfyldelse er det vigtigt at understrege, at WP3 IT-løsningen er en generisk data- og digitaliseringsplatform, der til fulde vil kunne konfigureres til at understøtte alle de i MUDP-ansøgningen oprindeligt definerede krav og dertil hørende målsætninger – herunder fuld interaktion med udstyr og datasæt under WP1 og WP2 (om disse i øvrigt havde åbnet mulighed herfor). Ud over omkonfigurering vil det blot kræve udvikling af formentlig ganske få datarobotter og dertil hørende database-arbejde.

På et møde med AF ultimo april 2019 fremhævede AF WP3 IT-løsningens styrker med hensyn til indsamling, samstilling og intuitiv visualisering af data fra mange forskellige datakilder i et og samme system (platform). På mødet blev der i fællesskab skitseret forskellige optimeringsmuligheder for WP3 IT-løsningen, med afsæt i AF's Drifts daglige behov.

Da WP3 blev afrundet pr. 30. april 2019, og budgettet hertil for længst er opbrugt og i øvrigt suppleret med en ganske omfattende egenfinansieret tillægsindsats fra ARTOGIS' side, var der lagt op til, at AF skulle finansiere den resterende, ret begrænsede indsats hen over sommeren 2019 (som i øvrigt kunne have været leveret i projektregi, havde flowet været mere effektivt over de 2½ år, WP3 aktiviteterne har stået på).

AF har ultimo juni 2019 meddelt, at der ikke i AF er ledelsesmæssig opbakning til en tillægsfinansiering fra AF's side, og at man ikke anser WP3 IT-løsningens fordele som tilstrækkelige til, at WP3 IT-løsningen ønskes videreført. Det tager vi i ARTOGIS naturligvis til efterretning, om end naturligvis med stor ærgrelse.

Konsekvensen heraf er dermed, at der ikke sker en tillægsudvikling af WP3 IT-løsningen i kølvandet på HEPWAT projektet, og dertil at WP3 IT-løsningen må forventes at "sygne hen" i AF-regi, da AF ikke har ønsket at tegne servicekontrakt på WP3 IT-løsningen.

ARTOGIS respekterer naturligvis denne beslutning, men ser omvendt ikke grundlag for fortsat at finansiere drift og videreudvikling af WP3 IT-løsningen, når AF Drift ikke tilskriver løsningen større værdi.

Samlet set – og i lyset af ovenstående - finder vi det trods alt særdeles tilfredsstillende, at alle de opstillede mål for (udviklingen af) WP3 IT-løsningens IT-grundfunktionalitet til fulde er indfriet – trods de meget vanskelige rammevilkår for WP3.

Det er vigtigt at understrege, at ARTOGIS i samarbejde med andre interessenter (både kunder og samarbejdspartnere) aktivt vil videreudvikle på WP3 IT-løsningen – som en selvstændig produktlinje (der også fremadrettet vil blive frigivet som open source) og en integreret del af sago•fonto® platformen.

WP3 IT-løsningen vil således kunne komme til gavn andre steder; eksempelvis også, hvis man i MST-regi skulle overveje at indføre en landsdækkende platform for monitorering af overløbsbygværker.

2.2 WP3 målopfyldelse, ift. HEPWAT projektets 11 overordnede mål

I "Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT" (side 9) er der opstillet 11 overordnede mål for HEPWAT projektet (nedenfor er målene nummereret for lettere reference i nærværende notat):

Nedenstående mål er formuleret som de vigtigste i HEPWAT

Nr.	Projektets mål	Succeskriterier
1.	*Miljømæssig forbedring i recipienter*	*Mere spildevand gennem renseanlæg (overløb sænkes med mindst 20%) og flere potentielle problemstoffer fjernes (se bl.a. mål vedrørende miljøfremmede stoffer)* *Den samlede årlige belastning med N, P og COD sænkes med 50 %.*
2.	*Miljømæssig forbedring vedr. lattergas. Udslippet er 360 gange mere skadeligt for miljø og klima end CO_2*	*Projektet minimerer lattergas emission fra renseanlæg. Forbedret styring af anammox processen sænker N_2O emission med mindst 25 %.*
3.	*Forbedret levetid på rør, brønde og installationer, samt minimering af lugtgener*	*Svovlbrinte minimeres og øger levetid for maskininstallationer øvrige anlægsdele med mindst 50%.*
4.	*Reduktion i udledningen af miljøfremmede stoffer (MFS)*	*Der påvises en markant effekt på almindeligt forekommende MFS (lægemidler, eks. ibuprofen og dichlofenak). Udledningen af lægemidler reduceres med minimum 50%*

Nr.	Projektets mål	Succeskriterier
5.	*CO_2-Footprint sænkes markant*	*I forhold til traditionelt anlægsdesign og drift, sænkes det samlede CO_2 aftryk med mindst 20 % (både anlæg og drift – eksempelvis via vedvarende energi etc.). Dette mål opregnes eksklusive lattergas emission*
6.	*Sænkning af mængden af uvedkommende vand.*	*Databearbejdningen vil assistere i målretning af indsats mod uvedkommende vand. Der skal fjernes mindst 50 % i oplandet til Gummerup Renseanlæg*
7.	*Bedre anvendelse af industrispildevand*	*Industrispildevand modtages, når det kommunale renseanlæg har brug for det – uden forrensing hos industrien. Renseanlægget får bedre betingelser som bio-raffinaderi og industrierne for bedre konkurrencekraft, idet de sparer forbehandling.*
8.	*Reducerede omkostninger til anlæg*	*Styring og forudsigelse af afstrømning hjælper med udjævning og optimering af anvendelsen af anlægsvolumen. Det ventes at give anlægsbesparelser på mindst 15-20%*
9.	*Dokumenteret bidrag til Smart-Grid og lavere energiudgifter for Assens Forsyning*	*Projektet udjævner spidslast og gør Assens Forsyning netto –energiproducerende (EnergiPLUS).* *De forskelligartede processer har konsekvenser for energiforbruget. Nogle nye processer kræver mere energi end der bruges i dag, andre processer er energibesparende.* *Stærkt energikrævende processer udføres, når energien er billigst og overskudsenergiproduktion udføres, når energien er dyr og i underskud*
10.	*Driftsmæssige forbedringer og øget sundhed hos medarbejderne.*	*Arbejdet med spildevandshåndtering vil med HEPWAT konceptet kræve færre ansatte, fordi det bliver mere overskueligt, mere automatiseret og enklere at drive. Lønomkostninger til drift falder med mindst 20 % i projektets første 3 år i fuld drift.* *Sundhed: Efter 3 år i fuld produktion med nyt renseanlæg udviser ethvert tilsyn svovlbrinte-niveau på under 10 PPM (det lovlige niveau).*
11.	*Open Source demonstreres i Spildevandsbranchen.*	*Forsyningsselskab og kunder konstaterer, at det er blevet billigere at bruge IT, at IT anvendes langt mere aktivt til systemintegration, og desuden lettere og mere kvalificeret muliggør monitering, styring og optimering samt dokumentation i forhold til det samlede spildevandssystem.*

Det er i sagens natur således, at WP3 IT-løsningen

- Direkte adresserer HEPWAT's overordnede mål nr. 11, at demonstrere potentialet i Open Source i Spildevandsbranchen. Det er vores opfattelse, at dette mål er opfyldt til fulde, endda med et betydeligt bredere perspektiv end HEPWAT projektets målsætninger tilsiger – henset til ARTOGIS' forretningsmodel, der bygger på udbredelse af open source i bl.a. Vandsektoren og Varmesektoren samt kommuner m.fl. Se *afsnit 2.2.2 "WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 11"*.
- Er direkte afhængig af et tæt samspil med kompetencer og ressourcer i WP1 og WP2, og herunder tydeliggørelse og beskrivelse af såvel AF's krav til som aktive daglige anvendelse af WP3 IT-løsningen, for at kunne bidrage til målopfyldelsen i relation til de øvrige 10 overordnede mål. Se derfor også *afsnit 5 "WP3 rammevilkår i HEPWAT"*.

2.2.1 WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 1-10

WP3 løsningen skal generelt betragtes som en generisk data- og digitaliseringsplatform, der kan konfigureres til mangeartede formål.

Det er i sagens natur AF's opgave og ansvar at anvende WP3 IT-løsningen aktivt i det daglige arbejde, og på en sådan måde, at der bidrages direkte og konkret til opfyldelsen af HEPWAT overordnede mål nr. 1-10. Opfyldelsen af disse overordnede mål er som bekendt i første omgang er relateret til Gummerup LiveLab, og siden hen det nye centralrenseanlæg, der ventes at stå klar til fuld drift i 2021.

Der henvises i denne forbindelse også til *afsnit 5 "WP3 rammevilkår i HEPWAT"*.

Fra ARTOGIS side vurderer vi følgende bidrag:

Mål 1: WP3 IT-løsningen demonstrerer muligheden for monitorering af overløbsbygværker ved brug af IoT-målere, der ikke er forbundet til SRO-systemet. Der indhentes i WP3 IT-løsningen data fra IoT-baseret monitorering af et enkelt overløbsbygværk. Der har ikke været tilslutning hos AF til vores forslag om at opstille et større antal IoT-målere.
Monitoreringen af overløbsbygværket vil med den endelige (produktionsklare) udgave af IoT-måleren jf. producenten også kunne beregne antal overløb og mængder.

Mål 2: Intet bidrag (WP2 ansvar).

Mål 3: WP3 IT-løsningen demonstrerer muligheden for monitorering af svovlbrinte ved brug af IoT-målere, der ikke er forbundet til SRO-systemet i AF (IGSS). Ligeledes har WP3 etableret en løsning til monitorering af svovlbrintemålinger fra AF's eksisterende Kemira svovlbrintemålere. På mødet mellem AF og ARTOGIS ultimo april drøftedes det, hvordan AF kunne etablere yderligere svovlbrinte-målere, bl.a. ODA-Loggere og WASYS Gekko som muligheder.

Mål 4: Intet bidrag (WP2 ansvar – ingen indflydelse herpå fra WP3).

Mål 5: Aktuelt intet direkte bidrag. Det blev på mødet ultimo april mellem AF og ARTOGIS drøftet, at der ret enkelt i WP3 IT-løsningen vil kunne skabes overblik over energi-effektivitet, i første omgang via overblik over SRO-pumpestationers kWh-forbrug hentet fra Energinets DataHub – sidenhen sammenholdt med data fra andre datakilder.

Mål 6: WP3 IT-løsningen demonstrerer via en regnmåler og 6 niveaumålere opstillet i oplandet til Gummerup Renseanlæg muligheden for brug af IoT-baseret måleudstyr, der ikke er forbundet til SRO-systemet. Det blev på mødet mellem AF og ARTOGIS ultimo april drøftet, at der ret enkelt vil kunne skabes overblik over temperatur, niveau og nedbør via data fra ganske forskellige datakilder (både IoT-målere, DMI frie vejrdata, SRO m.fl.).

Mål 7: Intet bidrag (WP2 ansvar – p.t. ingen indflydelse herpå fra WP3).

Mål 8: Intet bidrag (WP2 ansvar – p.t. ingen indflydelse herpå fra WP3).

Mål 9: WP3 IT-løsningen henter løbende data om pumpestationers energiforbrug hos Energinets DataHub, og ville således kunne bidrage til at øge bevidstheden herom hos driftsmedarbejdere i AF. Løsningen vil ret enkelt kunne udvides med driftstider, start/stop etc.

Mål 10: WP3 IT-løsningen kan bidrage hertil, bl.a. via svovlbrinte-monitorering jf. ovenfor beskrevet, bedre driftsmæssigt overblik over de mange parametre af betydning for daglig drift, herunder gode overbliksbilleder qua WP3 IT-løsningens "varslingssystem". Sidstnævnte handler populært sagt om, at Driften kan indstille de enkelte varslingsparametre på 4-5 intervaller, hvorefter "alarmer" vises i GIS-kortet som lyssignaler (rød, orange, gul, grøn, blå – og sort, hvis "død datakilde").

2.2.2 WP3 IT-løsningens opfyldelse af HEPWAT mål nr. 11

Konkret opfylder WP3 IT-løsningen HEPWAT mål nr. 11 *"Open Source demonstreres i Spildevandsbranchen"* på følgende vis:

- WP3 IT-løsningen blev frigivet som open source på GitHub i april 2019. Frigivelsen skete som en GNU AGPLv3-licens, hvilket sikrer, at alle "afledte værker" også skal frigives som open source.

  Alle interessenter - både it-virksomheder, rådgivere og forsyninger m.fl. - kan således vederlagsfrit downloade kildekoden til WP3 IT-løsningen, inkl. den dertil hørende dokumentation.

  WP3 IT-løsningen kan interagere med forsyningernes eksisterende systemer til datas indsamling, lagring, konsolidering, kvalitetssikring, anvendelse i avancerede beregninger og udstilling o.m.a.

  F.eks. kan WP3 IT-løsningen datasamling udstilles som REST-services, og dermed integreres i eksisterende systemer som ledningsregistrering, GIS, Business Intelligence m.fl. samt indgå som datamateriale i brug af teknologier inden for AI (kunstig intelligens), Machine Learning m.fl.

- Potentialet for data- og systemintegration:
  - WP3 IT-løsningen giver ét samlet overblik over alle relevante data, idet datarobotter sørger for at sammenstille data fra alle de forskellige datakilder, som AF har ønsket at inkludere.

    Der er aktuelt udviklet 10 forskellige, generiske datarobotter (én generisk datarobot interagerer med én specifik fysisk datakilde). Antallet af datarobotter modsvarer det i MUDP-ansøgningen budgetterede antal.
  - Det er enkelt, hurtigt og billigt at udvide WP3 IT-løsningen med flere datakilder og flere opsætninger, hvis indhold og struktur er skræddersyet til andre målgrupper i forsyningen (herunder også økonomi, projektering og planlægning), eller for den sags skyld de primære interessenter i forhold til forsyningens virke (herunder f.eks. de kommunale myndigheders anvendelse).
  - Desto flere forsyninger (og kommuner, styrelser m.fl.), der anvender WP3 IT-løsningen som data- og digitaliseringsplatform, desto større besparelsespotentiale på "døde udgifter" til IT.

    I nutiden betaler forsyninger og kommuner som oftest for en software-licens inkl. løbende udgifter til et vedligeholdsabonnement – for hver enkel (programmeret) integration til en ekstern datakilde (f.eks. fællesoffentlige dataportaler som Kortforsyningen, Arealinfo m.fl. samt diverse fag- og specialistsystemer som f.eks. Forbrugsafregning, Måleraflæsning, SRO driftsdata samt i hobetal af forskellige IoT-sensorer).

    I fremtiden bliver det – ved anvendelse af WP3 IT-løsningen - bestillerne, der betaler udviklingen af en ny datarobot (eller for opgradering/tilpasning af en eksisterende) – hvorefter alle andre vederlagsfrit kan downloade den nye datarobot fra ARTOGIS' åbne DataRobotPortal. Det årlige besparelsespotentiale skønnes at ligge i millionklassen, alene i Vandsektoren.

- IoT gør det hurtigere, lettere og billigere at monitorere, styre, optimere og dokumentere bl.a. driftens aktiviteter generelt:
  - Driftsmedarbejderen kan egenhændigt installere og drive IoT-målere, overvåge data herfra, inkl. tilrette varslingsværdier m.m. Det er i stærk kontrast til det klassiske udstyr, som typisk kræver involvering af rådgivere til opsætning og kalibrering m.m.
  - IoT-målere er ofte markant billigere end det traditionelle højkvalitetsudstyr (op til 1/10 af prisen), og har følgelig (i sagens natur) heller ikke samme målepræcision og robusthed. Men som supplement rummer IoT-målere et stort potentiale.
  - IoT-målere vil fortsat falde i pris, og kvaliteten (bl.a. robusthed/holdbarhed samt nøjagtighed i målingerne) vil fortsat stige. En påstand kunne være at prisen halveres og kvaliteten fordobles hvert 3. år, qua volumenproduktion og en konkurrence, der i stigende grad baseres på kvalitet.

- IoT gør det lettere og billigere at monitorere, styre, optimere og dokumentere driftens aktiviteter, især ift. oplandet:

  - IoT-netværk som fx Sigfox netværket giver en god sendekvalitet på positioner, hvor datatransmission tidligere har været en udfordring (i AF bl.a. ved Krengerup Gods, hvor GSM-nettet ikke dækker).
  - IoT forøger mulighederne for at etablere målinger, hvor mangel på strøm eller tilstrækkelig datakommunikation hidtil har gjort det (alt) for dyrt at etablere nye målepunkter. Dermed kan der inden for en rimelig økonomi etableres et betydeligt mere finmasket net af målepunkter.
- IoT gør det lettere og billigere for driften at foretage supplerende monitorering, styring og dokumentation af renseanlæggets drift (supplerende ift. "professionelt" udstyr på anlægget).

2.3 Overholdelse af tids- og budgetmæssige rammer for WP3

WP3 aktiviteterne er gennemført inden for den af MUDP godkendte projektperiode, idet WP3 blev afsluttet i april 2019 (HEPWAT projektperioden er af MUDP godkendt forlænget i to omgange, først til 30. april 2019, og siden til 30. september 2019).

ARTOGIS kunne også problemfrit have afsluttet WP3 inden for den oprindelige dato for projektafslutning, nemlig 31. december 2018.

ARTOGIS har - i tillæg til tilskuddet fra MUDP - valgt undervejs i HEPWAT projektperioden at egenfinansiere noget over 1.000 timers arbejde direkte relateret til WP3 IT-løsningen, med henblik på dels at sikre en høj produktkvalitet og dermed en færdigudviklet og produktionsklar løsning, dels for at skabe et solidt fundament for løsningens udbredelse som open source (herunder frigivelsen af Big Data Poolen, samt al nødvendig dokumentation).

Supplerende hertil har ARTOGIS naturligvis også i projektperioden, vel at mærke selvsagt for egen regning, videreudviklet sago•fonto® platformens GIS produktlinje. Omfanget for ARTOGIS' egenfinansierede indsats på dette felt andrager ca. 12.780 timer alene i de to kalenderår 2017 og 2018, og anslået ca. 13.500 timer i HEPWAT projektperioden.

3. WP3 – Markedspotentialet

Af MUDP Fase 2-ansøgningen fremgår følgende forventninger (udpluk):

> *[Side 14]: Vækst og Beskæftigelse i Danmark: Nye arbejdspladser skabes hurtigt med gennemførelsen af HEPWAT, idet det danske marked kan nås allerede i det 1 år. Det nordiske i år 3. og det globale i år 5. – alt i en samlet periode på op til 10-15 år.*
>
> *ARTOGIS drager nytte af Krügers og Grundfos' algoritmer og ingeniørfaglige viden til at skabe en ny GIS-baseret løsning til proaktiv overvågning og styring af alle spildevandsprocesser, hvilket også er en nyskabelse indenfor spildevandshåndtering.*
>
> *For ARTOGIS betyder partnerskabet med de to virksomheder et globalt udstillingsvindue, og dermed stærk salgskanal, for virksomhedens open source-baserede GIS platform.*
>
> *[Side 15]: Målgruppen for IT-systemet på mellemkort sigt er alle spildevandsselskaber i Danmark, samt forventeligt henholdsvis 80 % af spildevandsselskaberne i Europa, 20 % af spildevandsselskaberne i Asien og 50 % af spildevandsselskaberne i Amerika (høj i NA, lav i SA).*
>
> *[Side 16]: Denne totalløsning vil have stor konkurrencekraft i Danmark, men også internationalt, fordi der er synergi mellem to globale spillere (Grundfos og Krüger), hvis know-how gøres tilgængelig i en ny og brugervenlig form (visualisering, open source og open data).*

Med ovennævnte grundforudsætninger for øje var forventningen til vækst derfor formuleret som følger:

> *[Side 14]: ARTOGIS forventer at øge omsætningen med 60 mio over 4 år, hvilket kan skabe 12-14 nye arbejdspladser i virksomheden.*

Henset til det faktum, at

- HEPWAT projektet er forsinket, og innovationshøjden (stærkt?) reduceret, og
- ARTOGIS ikke har haft, og helt givet heller ikke får, adgang til at *"drage nytte af Krügers og Grundfos' algoritmer og ingeniørfaglige viden"*, og
- Der ikke ses grundlag for det ovenfor omtalte partnerskab og dertil hørende *"globalt udstillingsvindue"* og *"totalløsning"* med deraf følgende katalysatorer for salg,

er den naturlige konsekvens, at de skitserede forventninger til vækst i omsætning og arbejdspladser næppe kan indfries af ARTOGIS på egen hånd i en 4-årig periode frem til ultimo 2023 (som det var forventningen i foråret 2016).

Det er dog samtidig hævet over enhver tvivl, at deltagelsen i HEPWAT projektet, de derved opnåede nye erfaringer, netværk og kompetencer samt ikke mindst resultatet i form af en kapabel data- og digitaliseringsplatform rummer et potentiale for vækst i ARTOGIS i de kommende år.

Der er således stor (og fornyet) interesse for ARTOGIS' data- og digitaliseringsplatform, særligt henset til anvendelse af nye open source-teknologier inden for IoT og Big Data håndtering. Dette har afstedkommet de første pilotprojekter for andre forsyninger, ligesom der også udvises pæn interesse fra kommunerne og disses fælleskommunale interesseorganisationer. Vi forventer at se de første lidt større ordrer fra disse aktiviteter i løbet af 2019, og at aktivitetsniveauet støt vil øges i de kommende år.

Egentlig eksport / internationalisering bliver således i givet fald i ARTOGIS partnerskab med andre aktører (end HEPWAT partnerne). Timingen overvejes fortsat, med påtænkt opstart på afklaring af potentialet herved i 2. halvår 2020 (eventuelt med start i kølvandet på IWA 2020).

Der er p.t. endnu ikke udarbejdet konkrete planer herfor. Så vores vurdering er p.t., at den skønnede vækst nok skal komme – det sker blot over en længere periode, måske op til yderligere 3-4 år, inden det oprindeligt forventede niveau nås.

4. WP3 - Den tekniske løsning

Der er i et vist (og vores optik væsentligt) omfang sket et skred i den faktiske udvikling og implementering af WP3 IT-løsningen, set i forhold til det i "Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT" beskrevne.

Dette gennemgås og kommenteres i de efterfølgende afsnit.

For hvert beskrevet IT-relaterede delelement i "Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT" er desuden angivet en kvalitativ evaluering af opfyldelsesgraden, dvs. den realiserede løsning i forhold til de beskrevne og efter ARTOGIS' opfattelse oprindeligt tænkte mål / intentioner / beskrivelser, efter følgende skala:

1: Opfyldt til fulde (eller mere til).

2: Opfyldt i alt væsentligt, dog eventuelt med enkelte undtagelser eller ændringer af mindre betydning.

3: Opfyldt i nogen grad, men med flere fravigelser af en vis betydning.

4: Opfyldt i mindre grad, med væsentlige mangler, eller korrektioner af større betydning.

5: Kun opfyldt i beskeden grad, eller ikke opfyldt.

Evalueringen angives således med rød skrift, for hvert delelement: [Evaluering: 3]

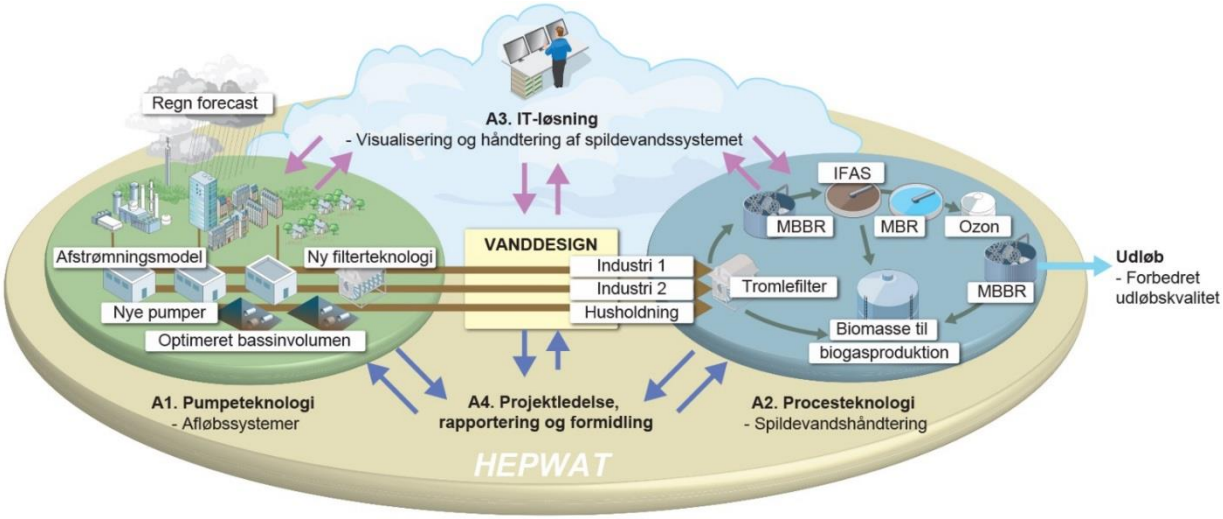
Evalueringen er selvsagt subjektiv, og står alene for ARTOGIS' egen regning, idet de øvrige parter i HEPWAT kan have en anden opfattelse.

Vi mener dog ikke, at det er værdiskabende at indgå i flere dialoger herom.

4.1 Løsningsillustration – før, under og afslutningsvist

4.1.1 MUDP Fase 2-ansøgningens løsningsillustrationer

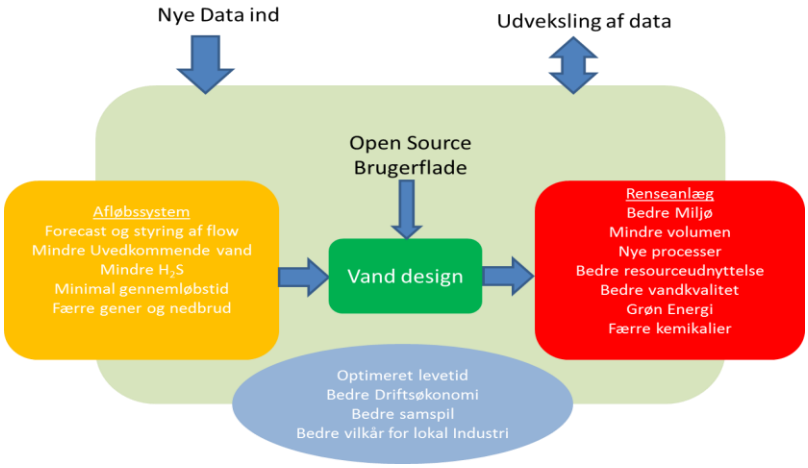
Overordnet illustreres HEPWAT konceptets hovedelementer således i "Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT" (side 7):



Bemærkninger:

1. Ingen direkte interaktion mellem WP1 og WP3, jf. den præciserede IT-instruks fra AF, der rammesætter (stiller krav fra AF om), at SRO-systemet IGSS skal være den bærende akse for styring og regulering. Der har fra WP1 side ikke været interesse for at udføre nogen form for forsøg i interagerende retning.
   [Evaluering: 5]
2. Den direkte interaktion mellem WP2 og WP3 er begrænset til en ftp-baseret udveksling af data fra 4 niveaumålere opstillet i Gummerup. Der har WP2 side ikke været interesse for at udføre nogen form for forsøg i interagerende retning. [Evaluering: 5]
3. WP3 forudsætninger for at interagere med samt påvirke det såkaldte vanddesign er således stærkt reduceret.
   [Evaluering: 4-5]

I ”Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT” opstilles (side 10) endvidere en ”skematisk model for HEPWAT projektets flow og mål”:



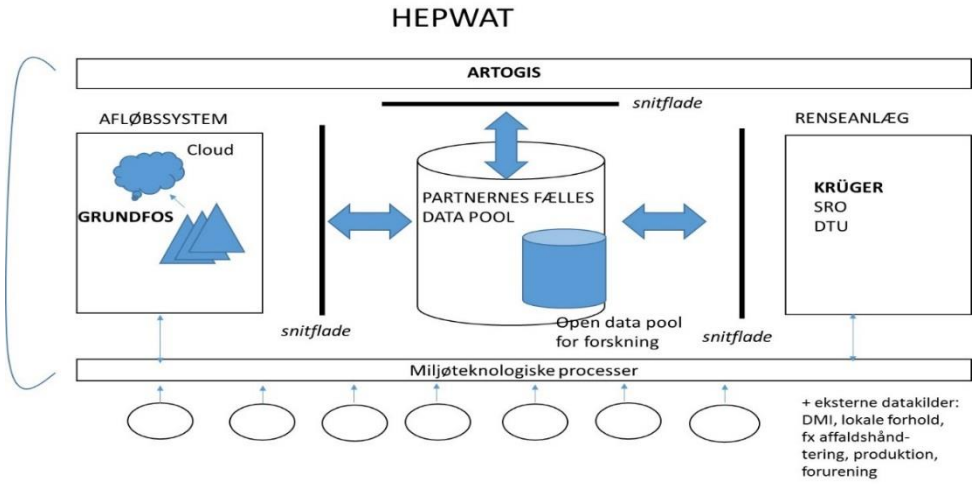
Bemærkninger:

1. Der er som nævnt ingen direkte interaktion mellem WP1 og WP3, og kun stærkt begrænset interaktion mellem WP2 og WP3. WP3 løsningen har således ingen direkte indflydelse på ”Vanddesign”. [Evaluering: 4-5]

I ”Fase 2 Ansøgning til MUDP 2016 HEPWAT” fremgår desuden følgende (side 11):

IT-løsningen: Der etableres et helt nyt (open source) niveau af sammenbinding af data i spildevandshåndteringen idet

- Alle relevante data indsamles på realtidslignende basis – også fra hidtil ellers uudnyttede / isolerede datakilder, som derved kommer til at interagere [Evaluering: 1]
- De mange data til rådighed forudser relevante processer og overvåger processer. [Evaluering: 3] Desuden indgår det i projektet, at parterne arbejder henimod at, den nye IT-løsning også kommer til at styre operationer. [Evaluering: 3]
- Tilstanden og forslag til driftsoptimering visualiseres i en enkelt intuitiv og lettilgængelig brugergrænseflade (på en tablet). [Evaluering: 2]



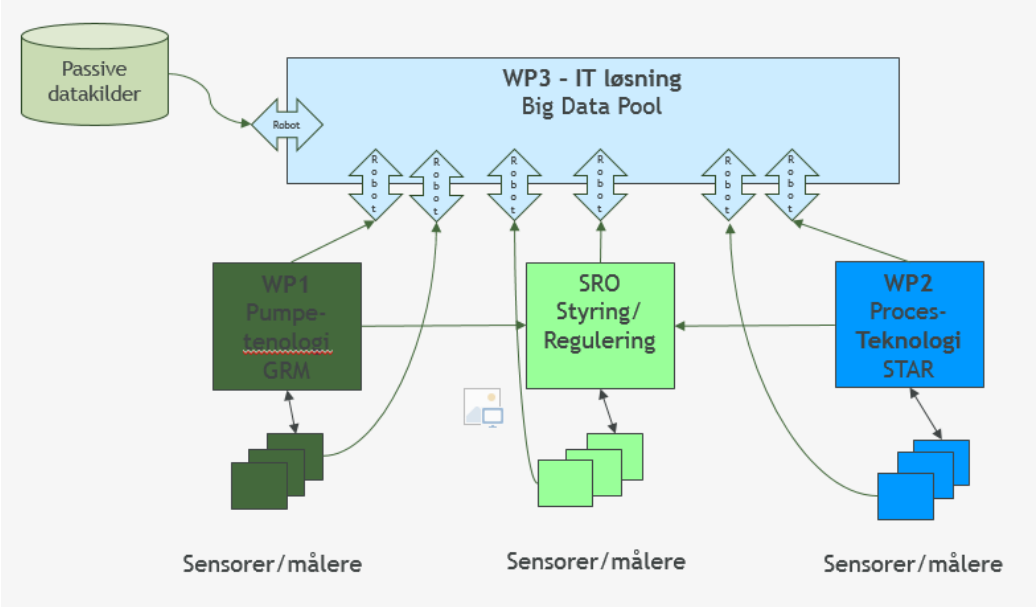
Figuren ovenfor viser, at data fra parternes lukkede, systemer tilgår en fælles åben Big Data Pool (BDP) via veldefinerede og veldokumenterede snitflader. [Evaluering: <uafklaret p.t. – det vides ikke, hvad WP1, WP2 og WP4 planlægger>]
I BDP vil også indgå relevante data fra en lang række tredjeparts it-løsningers samt offentlige datakilder. [Evaluering: 1]
Både BDP og alle involverede snitflader udformes i og frigives som open source for at gøre IT-løsningen mere tilgængelig og attraktiv for fremtidige kunder, samarbejdspartnere og teknologi-udviklere. [Evaluering: 1]
Dele af BDP åbnes desuden for forskning (eksempelvis åbnes ikke for personfølsomme data). [Evaluering: 1 <hvis AF åbner for adgang til deres servere, som planlagt>]

4.1.2 Justeret WP3 løsningsillustration - Jf. Assens Forsynings instruks

De første 4 måneder af projektet blev brugt på at afklare en præciseret instruks for det samlede IT-system.

Det blev ret hurtigt klart, at AF ønskede at fastholde SRO-systemet IGSS som det bærende system for styring og regulering. AF orienterede herom på styregruppemødet den 30. marts 2017, hvor den præciserede instruks for den samlede IT-løsning blev fremlagt.

Denne kan illustreres således:



Bemærkninger:

1. Hovedelementerne i den af AF præciserede Instruks for HEPWAT IT:
    - IGSS skal være den bærende akse for det, der skal styres og reguleres på.
    - IGSS skal være den samlende faktor for data mellem WP1, WP2 og WP3.
    - Der skal ikke ske en direkte styring/regulering fra WP3.
    - WP3 skal udføre forsøg med at hente data fra forskellige datakilder.

    Instruksen fastslår bl.a.

    - *"Den samlede IT-løsning for HEPWAT-projektet tager sit primære udgangspunkt i IGSS"*
    - *"I WP3 foretages eksperimenter med at hente data fra mange forskellige Datakilder"*
2. Der ses fortsat en forventning om, at der er en envejs interaktion fra WP1 og WP2 til WP3 ("read-only").

4.1.3 WP3 løsningsillustration - Den faktiske implementering

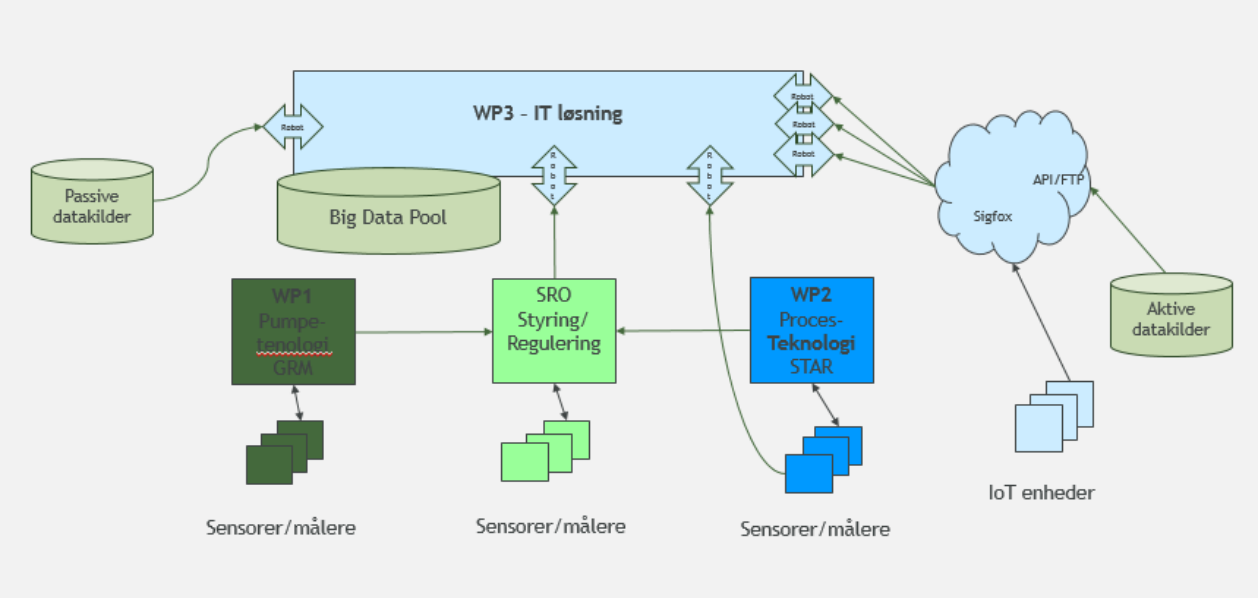
Den faktisk udviklede og implementerede WP3 IT-løsning har i sin arkitektur og designmæssige implementering fokus på at understøtte mange, meget forskelligartede datakilder.

Der er således udviklet og idriftsat en generisk data- og digitaliseringsplatform, der så fleksibelt og konfigurerbart som muligt (inden for de givne ressourcemæssige rammer) opfylder dette formål. Disse styrker i platformen har været en meget betydelig fordel undervejs i forløbet, da afklaringen af datakilder har strakt sig over den samlede projektperiode, altså mere end 2 år!

AF tiltrådte anbefalingen om, hen over forår og sommeren 2018, at gøre forsøg med Sigfox-baserede IoT-målere. Dertil havde AF et ønske om at kunne hente data hjem fra en række forskellige aktive datakilder, som fx Energinets DataHub samt de allerede eksisterende rottespyd og svovlbrintemålere.

Altså med andre ord konceptmæssigt, som beskrevet i den reviderede IT-Instruks – men også med markant lavere omfang for interaktion med WP1 og WP2 end forventet i MUDP Fase 2-ansøgningen. Der er redegjort for årsagerne hertil i *afsnit 5 "WP3 rammevilkår i HEPWAT"*.

Den implementerede WP3 IT-løsning kan illustreres således:



Bemærkninger:

1. Ingen direkte interaktion mellem WP1 og WP3, jf. den præciserede IT-instruks fra AF, der rammesætter, at SRO-systemet IGSS skal være den bærende akse for styring og regulering. Der har fra WP1 side ikke været interesse for at udføre nogen form for forsøg i interagerende retning. [Evaluering: 5]
2. Den direkte interaktion mellem WP2 og WP3 er begrænset til en ftp-baseret udveksling af data fra 4 niveaumålere opstillet i Gummerup. Der har WP2 side ikke været interesse for at udføre nogen form for forsøg i interagerende retning. [Evaluering: 5]
3. WP3 forudsætninger for at interagere med det såkaldte vanddesign er således stærkt reduceret. [Evaluering: 4-5]

Bemærk: Det er vigtigt endnu en gang at understrege, at den udviklede IT-platform til fulde vil kunne videreudvikles / konfigureres til at understøtte alle de oprindeligt definerede krav – herunder fuld interaktion med udstyr og datasæt under WP1 og WP2.

4.2 IT-mæssige sikkerhedsaspekter

Cyber-sikkerhed er som bekendt et varmt emne, også i relation til Forsyningssektoren.

Det har ikke været en del af formålet for WP3 at udvikle eller udforme nye sikkerhedselementer i relation til opsætning, overvågning og styring af IT-sikkerheden – hverken i relation til tilgangen til og anvendelsen af eksisterende systemers databaser eller nye IoT-relaterede datakilder, eller dertil hørende funktionalitet.

Ligeledes har det været en grundforudsætning fra projektets start, at WP3 IT-løsningen udelukkende skulle bruges af organisationens medarbejdere som en intern/intranet løsning.

Installationen samt den løbende drift og vedligehold af WP3 IT-løsningen vil i sagens natur altid blive underlagt de IT-sikkerhedspolitikker, der er fastlagt for IT-miljøet i den organisation/virksomhed, der installerer WP3 IT-løsningen.

Der er - i den aktuelle konfiguration hos AF - tale om en "one-way" eller "read-only" installation, der kun henter og udstiller data fra forskellige datakilder.

Som beskrevet andetsteds finder der ikke nogen form for styring eller regulering sted, ligesom WP3 IT-løsningen i den aktuelle konfiguration vurderes ikke at give mulighed for direkte at påvirke driften af et forsyningsanlæg.

Sikkerheden håndhæves således via almindelige værktøjer til almindelig adgangskontrol og dertil hørende rettighedsstyring.

Det skal i den forbindelse fremhæves, at datatransmission over Sigfox IoT-netværket er krypteret.

Når det på et tidspunkt bliver aktuelt med udvikling og drift af datarobotter, der også foretager styring og regulering af forskelligt udstyr (fx pumpestationer, ventiler eller IoT-målere), kan der i disse datarobotter indbygges ekstra valideringsrutiner, flersidet avanceret sikkerhedskontrol m.m.

5. WP3 rammevilkår i HEPWAT

Overordnet set anser vi det for objektivt, fair og i øvrigt påkrævet at beskrive samarbejdet undervejs i HEPWAT projektet – og dermed resultatskabelsen - som værende betydeligt udfordret – især grundet meget store forskelle i forretningsmæssige og økonomiske interesser.

Udfordringerne har i meget stort omfang afsæt i et åbent erkendt (og markant) behov hos Grundfos og Krüger for at beskytte og håndhæve egne immaterielle rettigheder (IPR). Det har her formentlig spillet ind med ekstra styrke, at frigivelsen af WP3 IT-løsningen som open source (i de to parters optik) kan udgøre en betydelig risiko for krænkelse af de to virksomheders IPR. ARTOGIS deler ikke bekymringen.

Som følge heraf er der – som allerede beskrevet ovenfor - omtrentligt ingen direkte datamæssig interaktion mellem Krüger og Grundfos' systemer/udstyr og WP3 IT-løsningen. Alt interaktion sker via SRO-systemet IGSS, jf. også AF's præciserede IT-instruks som tidligere omtalt.

Tilsvarende er det ikke lykkedes parterne at tilvejebringe et fælles perspektiv på, hvordan de forskellige datakilders samspil kunne optimeres til gavn for det samlede resultat og dermed optimeringen af det samlede spildevandsanlæg – hverken i Gummerup LiveLab eller i det blivende nye centralrenseanlæg, der står klart i 2021.

Hovedbilledet er derfor, at der i HEPWAT projektet er sket en betydelig grad af silo-implementering, hvilket det ikke har været muligt for ARTOGIS at ændre på – trods utallige forsøg.

Forannævnte forhold har skabt en til tider ret anstrengt og sporadisk kommunikation, med bl.a. udeblivende og betydeligt forsinkede eller mangelfulde tilbagespil på ARTOGIS' forespørgsler omkring WP3 IT-løsningens anvendelse af forskellige datakilder centreret om WP1/WP2 samt dertilhørende afklaring af udformningen af de konkrete løsninger [forhold, der selvsagt kan dokumenteres, beklageligvis som gennemgående fænomen i projektet].

Forholdene har endvidere afstedkommet, at der er brugt uforholdsmæssigt mange ressourcer på udarbejdelsen af samarbejdsaftalen, der først kom i stand under hårdt pres primo juli 2018.

Det har – efter ARTOGIS' opfattelse - også haft en nævneværdig indflydelse på innovationshøjden i HEPWAT-projektet, at den af AF foranledigede udarbejdelse af en præciseret instruks for WP3 IT-løsningen afstedkom, at al styring/regulering skulle foregå via SRO-systemet IGSS som den bærende akse (og ikke via f.eks. WP3-datarobotter eller nyt IoT-udstyr, hvorfor WP3 IT-løsningen ikke har fået mulighed for at demonstrere sit fulde potentiale i relation til styring, regulering m.m.).

Dertil kommer, at WP3 IT-løsningens overvågningsperspektiv ikke omfatter alle 11 overordnede HEPWAT mål – hvilket dog på enkeltstående felter måske kan give god mening.

Den naturlige konsekvens af ovenstående forhold samlet set er, at WP3 IT-løsningen, som den p.t. er implementeret, ikke er så bredspektret, som vi (i ARTOGIS og AF's direktion frem til primo 2017) forestillede os ved udformningen af Fase 1 Ansøgningen til MUDP i foråret 2016 og desuden lagde til grund for HEPWAT projektets realisering, jf. beskrivelserne i Fase 2 Ansøgningen til MUDP i november 2016.

Udarbejdelsen af instruksen for WP3 IT-løsningen har desuden påført et væsentligt og uundgåeligt merforbrug hos ARTOGIS (i niveauet 250 timer).

Ressourceknaphed og en naturlig, men til tider ganske høj omkostningsbevidsthed hos AF har - efter ARTOGIS' vurdering i kombination med leveranceproblemer i WP1 og WP2 og deraf følgende yderligere træk af ressourcer og opmærksomhed hos AF - vanskeliggjort en dyberegående og kontinuerlig involvering fra AF-medarbejdere i WP3 IT-løsningens udformning. Denne involvering er således blevet begrænset til relativt få, punktvise (og gode) indspil fra projektledelsen i AF, idet AF Drift samt øvrige afdelinger i AF kun sjældent har været involveret.

ARTOGIS' begrænsede ingeniørfaglige indsigt i forsyningsdomænet har som følge af et større arbejde "på egen hånd" selvsagt også haft konsekvenser for såvel vores tidsforbrug som WP3 IT-løsningens udformning.

AF's involvering i WP3 har desuden været præget af, at leverandørerne af det fremtidige nye centraliserede renseanlæg ikke er afklaret, hvorfor de fremtidige it-systemer relateret hertil i sagens natur ikke kendes. Sammenholdt med førnævnte ressourceknaphed hos AF har det afstedkommet en udskydelse af en eventuel beslutning om at involvere sig i specifikation af yderligere systemer, herunder WP3 IT-løsningen.

Det er således vores opfattelse, at foranstående forhold har fået en meget betydelig (negativ) indflydelse på resultatskabelsen i WP3.

Det er således for ARTOGIS også en læring af projektet, at udfordringerne med at skabe frie datastrømme i forsyningssektoren samt tøjle klassiske lukkede forretningsmodeller er en markant barriere for innovation og samskabelse.

I dette lys finder vi det særdeles tilfredsstillende, at alle de opstillede mål for (udviklingen og idriftsættelsen af) WP3 løsningens IT-grundfunktionalitet til fulde er indfriet.

Vores konklusion er ydermere, at WP3 IT-løsningen - i den afsluttende konfiguration, som den aktuelt er etableret i AF, i HEPWAT projektregi - er ganske langt fra at udfolde sit fulde potentiale. Hertil skal endnu en gang understreges, at WP3 IT-løsningen er en generisk data- og digitaliseringsplatform, der til fulde vil kunne konfigureres til at understøtte alle de oprindeligt definerede krav – herunder fuld interaktion med udstyr og datasæt under WP1 og WP2. Ud over omkonfigurering vil det blot kræve udvikling af formentlig ganske få datarobotter og dertil hørende database-arbejde.

Bilag AP4-1: Formidlingsaktiviteter.

Dette bilag er en samlet oversigt over konferencer, præsentationer, events og artikler mm.

Artikler:

- Licitationen 28/8-2018
  https://www.licitationen.dk/article/view/616196

- Danva 28/6-2018
  https://www.danva.dk/nyheder/2018/nyt-fra-medlemmerne-et-levende-laboratorium-med-blandt-andet-et-mobilt-rensningsanlaeg/

- Krüger Nyt nr. 2-2017 (side 9)
  http://www.kruger.dk/omkruger/krugerpresserum/#/news/mobilt-renseanlaeg-skal-saette-nye-standarder-for-rensning-af-vand-275852

- Krüger november 2016
  http://www.kruger.dk/omkruger/krugerpresserum/#/pressreleases/nyt-fyrtaarnsprojekt-om-hoejteknologisk-spildevandshaandtering-1672764

- MUDP-årsberetning 2016
  https://ecoinnovation.dk/media/181189/mudp_aarsberetning2016_0117_samlet_endelig.pdf

- Spildevand 2-2018. 15/10-2018
  http://www.hepwat.dk/da/nyheder/m%C3%B8d-en-medarbejder-p%C3%A5-hepwat-projektet

TV:

- Indslag: TV2 Fyn indslag 10/7-2018
  https://www.tv2fyn.dk/nyheder/10-07-2018/2225/hvordan-renser-man-vandet-bedst-og-billigst?autoplay=1#player

- TV2 Fyn indslag omkring indvielsen 27/8-2018
  https://www.tv2fyn.dk/nyheder/27-08-2018/1930/minister-indvier-nyt-forsogsanlaeg

Præsentationer:

- IWA WWC: Krüger holdt et indlæg for verdenskonferencen i Tokyo i 2018.
- NORDIWA 2018 i Århus (Præsentation)
- Dansk Vandkonference 2018 (DANVA)
- Sustain November 2018 (DTU)
- IWA 2020 i Kbh. Verdens udstilling indenfor spildevandsbranchen i KBH 2020
- Diverse pressemeddelelser fra partnerne
  http://www.hepwat.dk/da/presse/pressemeddelser

HEPWAT
Smart spildevand
Higher Environmental Performance in Waste wATer systems

GUMMERUP RENSEANLÆG LIVELAB

Oplev et af miljøministeriets fyrtårnsprojekter inden for vandteknologi

ÅBENT HUS

Fredag den 15. juni kl. 12.00 - 16.00 på Krogen 3A i Gummerup

Se også den ny tv-inspektionsbil og de elektroniske rottefælder

Hør om det enestående projekt, som vil sætte nye standarder.

På Gummerup Renseanlæg LiveLab vil vi teste den nyeste teknologi i stor skala for at finde de rigtige metoder til den bedste og mest økonomiske håndtering af spildevandet på fremtidens renseanlæg.

Der vil være mulighed for en rundvisning i anlægget. Pølsevognen står klar med lidt lækkert til ganen og der vil være kaffe samt is til alle børnene.
Vi glæder os til at se jer. Alle er velkomne.

ARTOGIS® ASSENS FORSYNING GRUNDFOS KRÜGER VEOLIA DTU

Et fyrtårn inden for vandteknologi

Spildevandshåndtering er en stolt dansk tradition, og i HEPWAT samles flere af branchens ledende aktører for i fællesskab at udvikle nye teknologier inden for rensning af spildevand. Et levende laboratorium i Assens skal forløse det enorme potentiale for både klima og økonomi. **Læs mere: hepwat.dk**

Indbydelse til indvielse

Mandag den 27. august kl. 10.00 - 13.00

GUMMERUP RENSEANLÆG LIVELAB

Gummerup Renseanlæg, Krogen 3A, 5620 Glamsbjerg

Dagens program

Kl. 10.00
Velkomst og faglige indlæg

Kl. 10.50
Officiel indvielse af Gummerup LiveLab
- ved Energi-, forsynings- og klimaminister Lars Chr. Lilleholt
- Indlæg fra Borgmester Søren Steen Andersen

Kl. 11.15
Rundvisninger og faglig uddybning
- Gennemgang af installationerne på LiveLab incl. opstillinger med pumper og IT
- Rundtur på forsøgsanlægget med mulighed for at besigtige de enkelte elementer i opstillingen.
- Dialog med partnerne

Kl. 12.30
Netværksfrokost
Arrangementet afsluttes med en lille stående frokost for deltagerne, hvor HEPWAT projektet vil være vært til en sandwich og drikkevarer.

ca. 13.00 Afslutning

Tilmelding til:

Assens Forsyning / Projektleder Jan Eilsø Nielsen
jen@assensforsyning.dk

Velkomst og faglige indlæg

GRATIS DELTAGELSE

ASSENS FORSYNING

Velkomst ved Assens Forsyning *(10 min)*
- HEPWAT projektet set med en samfundsmæssig vinkel
- Hvorfor er det vigtigt at forske og udvikle i Danmark
- Hvad er de overordnede forventninger til projektet

GRUNDFOS

Oplandsledninger *(10 min)*
- HEPWAT projektets setup i ledningssystemet og forventede mål.
- Hvordan vil de tekniske fremskridt påvirke styring af spildevandsoplandet.

KRÜGER

Gummerup Renseanlæg LiveLab *(10 min)*
- Opbygning af Livelab.
- Hvad skal der være fokus på i fremtidens spildevandsanlæg?

ARTOGIS

HEPWAT it-løsningen; Datafangst fra alle datakilder *(10 min)*
- Fremtiden: Én åben platform - frie data og fællesskab om løsninger og algoritmer
- Integration af fremtidens målere i spildevandshåndtering

HEPWAT
Smart spildevand

Higher **E**nvironmental **P**erformance in **W**aste w**AT**er systems
www.hepwat.dk

ASSENS FORSYNING ARTOGIS GRUNDFOS DTU KRÜGER VEOLIA

Bilag AP4-4: Rapportens redaktører og kontaktpersoner

Kontaktperson ved ARTOGIS:
Henrik Rask
Adm. direktør
hra@artogis.dk
Tlf. 23 39 51 61

Kontaktperson ved Grundfos:
Ole Hejn Pjengaard
Director Business Development
opjengaard@grundfos.com
Tlf: 24 66 19 17

Kontaktperson ved Assens Forsyning:
Projektleder for HEPWAT
Anders Bang
aba@assensforsyning.dk.
Tlf. 25 23 29 65

Kontaktperson ved Krüger:
Theis Gadegaard
Markedschef & innovationschef
Tlf.: 21 71 51 94
E-mail: tng@kruger.dk

Kontaktperson ved DTU:
Seniorforsker
Malene Mark Jensen
mmaj@env.dtu.dk
Tlf. 26 16 72 50

Liste over forkortelser

Forkortelse	Forklaring
AI	Kunstig intelligens
AOB	Ammonium oxiderende bakterier
AP	Arbejdspakke
BOD	Biokemisk iltforbrug
C	Kulstof
CO_2	Kuldioxid
COD	Kemisk iltforbrug
GIS	Geografisk informationssystem
H_2S	Svovlbrinte
HEPWAT	Higher environmental performance in Waste water systems
IFAS	Integrated fixed-film activated sludge
IoT	Internet of things (internet kommunikation)
MBBR	Moving bed biofilm reactor
MBR	Membrane bioreactor
MFS	Miljøfremmede stoffer
MUDP	Miljøteknologisk udviklings- og demonstrationsprogram
N	Kvælstof
N_2O	Lattergas
NOB	Nitrit oxiderende bakterier
P	Fosfor
PE	Personækvivalent
SRO	Styring regulering overvågning
SS	Suspenderet stof
UV	Ultraviolet

8. Figur-/tabeloversigt

FIGUR 1. Principper og design i HEPWAT-projektet.

FIGUR 2. Oversigtskort over oplandet til Gummerup Renseanlæg med markering af nøglepunkter i forhold til arbejdspakke 1.

FIGUR 3. Klodsen, der var ophængt for at teste indikatorvæske. Den røde farve angiver, at pH-værdien er meget lav, og at betonen derved er under meget kraftigt angreb af svovlbrinte.

FIGUR 4. Svovlbrinte målinger og doseringsmængder for PST 227.

FIGUR 5. Flow-analyse af tilløbet til Gummerup Renseanlæg.

FIGUR 6. Illustration af mobilrenseanlægget på LiveLab.

FIGUR 7. ARTOGIS-illustration på dataopsamling.

TABEL 1: Følgende mål er formuleret som de vigtigste i HEPWAT:

TABEL 2: Oversigt over projektmål, der er behandlet i Arbejdspakke 1:

TABEL 3: Mål med arbejdspakke 2.

TABEL 4: Gennemsnitlig belastning af mobilrenseanlægget i perioden 2018-04-01 til 2019-07-04 ift. designgrundlag.

TABEL 5: Forholdstal for kulstof, kvælstof og fosfor i designgrundlaget for mobilrenseanlægget og gennemsnit af døgnprøveanalyser fra perioden 2018-04-01 til 2019-07-04.

TABELl 6: Gennemsnitlig udløbskoncentration fra Gummerup renseanlæg (2014-2017) og mobilrenseanlægget under testperioder. Henholdsvis ved drift af MBR-anlæg med aktiv slam drift og med IFAS-drift med anammox-proces.

TABEL 7: Oversigt over projektmål, der er behandlet i Arbejdspakke 3.

HEPWAT
Higher Environmental Performance in Waste wATer systems
Smart spildevand

Med bevilling fra Miljø- og Fødevareministeriets Miljø-teknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) har Assens Forsyning A/S i samarbejde med Grundfos A/S, Krüger A/S og ARTOGIS A/S gennemført projektet HEPWAT – Higher Environmental Performance in Waste wATer systems.

Intentionen med HEPWAT var at udvikle, afprøve og definere et helt nyt spildevandssystem. Ved brug af eksi-sterende renseanlæg i Gummerup som levende labora-torium, blev forskellige kendte løsninger sammen med nye prøvet. Projektet er gennemført etapevis i form af fire arbejdspakker, henholdsvis pumpeteknologi, procesteknologi, IT-løsning, samt projektledelse, rapportering og formidling. Arbejdspakke 1 – Pumpeteknologi, har omhandlet flow og styring af afløbssystemet, der gen-nem kobling af Dedicated Control fra Grundfos A/S og Sewer-View fra Krüger har resulteret i et unikt styresystem som effektivt kan optimere den daglige drift. Arbejdspak-ke 2 – Procesteknologi, har omhandlet rensning af spil-devandet, hvor der er sat et mobilt renseanlæg i forbin-delse med det eksisterende. Arbejdspakke 3 – IT-løs-ning, har omhandlet udvik-ling og afprøvning i integreret IT-løsning, der har resul-te-ret i en påvisning af, hvordan IT-løsninger kan nytæn-kes. Arbejdspakke 4 – Projektledelse, rapportering og formidling, har fokuseret på kommunikation af projektets formål, mål og opnåede resultater og herfor haft omdrej-ningspunkt om projektets egen hjemmeside. På længere sigt bliver HEPAWAT og formidlingen af projektets resultater, en del af Ny Assens Renseanlæg og den formid-ling, der nationalt og internationalt vil finde sted der.

Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk