



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Integreret digital svovlbrintefore- byggelse i lange kloakledninger MUDP-projekt

MUDP Rapport

September 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Jonathan Joseph Fortunato, Sweco Danmark A/S

Julia Pedersen, Sweco Danmark A/S

Emil Jakobsen, Consibio ApS

Fotos:

Johan Egsgaard Thomsen, Consibio ApS

Emil Jakobsen, Consibio ApS

Hanne Løkkegaard, Sweco Danmark A/S

Marianne Halkjær, Sweco Danmark A/S

Jonathan Joseph Fortunato, Sweco Danmark A/S

Julia Pedersen, Sweco Danmark A/S

Kristian Nørrisgård Poulsen, BBK Bio Airclean A/S

Arne Poulsen, BBK Bio Airclean A/S

Kim Poulsen, Svendborg Motorværksted ApS

Steen Hummelgaard, Hedensted Spildevand A/S

Aksel Kirkeby, Svendborg Vand og Affald A/S

Linne Marie Lauesen, Svendborg Vand og Affald A/S

Tuan Phuong, Svendborg Vand og Affald A/S

Dennis Arnsfeldt Pedersen, FFV Energi & Miljø A/S

Arne Hansen, FFV Energi & Miljø A/S

ISBN: 978-87-7038-644-9

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

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Sammenfatning	5
1. Indledning	6
1.1 Introduktion til projekt	6
1.2 Projektets deltagere og lokationsbeskrivelse	7
2. Renseteknologier til reducere af svovlbrinteemissioner	8
2.1 Kemidosering	8
2.2 Automatisk rensegris	8
2.3 Biofilter til luftrensning	14
3. Digitalisering af forebyggelsesindsatsen	18
3.1 Databehandling	18
3.2 Cloudstyring	20
4. Business case for den samlede teknologi	23
4.1 Besparelspotentialer	23
4.1.1 Sammenligning af ukontrollerbare parametre	23
4.1.2 Anvendelse af rensegris	25
4.1.3 Anvendelse af kemi	25
4.1.4 Sammenligning af svovlbrintniveau	29
4.1.5 Arbejdsmiljø og klagehåndtering	30
5. Konklusion	31
6. Perspektivering	32
7. Litteratur	33

Sammenfatning

I perioden fra november 2020 til december 2022 har projektgruppen gennemført projektet "Integreret digital svovlbrinteforebyggelse i lange kloakledninger", der er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet.

Spildevandsforsyninger oplever i stigende grad problemer med svovlbrinte i takt med øget centralisering af renselanlæg til spildevandsbehandling og at separatkloakering bliver mere udbredt.

Strækningerne for tryksatte spildevandssystemer forlænges som følge af centraliseringen, og separering af spildevand fra regnvand mindsker vandhastigheden. Dermed forlænges opholdstiderne i trykssystemerne og spildevandet bliver mere koncentreret. Svovlbrinte kan opstå i lange trykledninger som følge af lange opholdstider under anaerobe forhold.

I oppumpningsbrønde frigives svovlbrinte, hvor der opstår svovlbrinteproblematikker, dels fordi svovlbrinte omdannes til svovlsyre, som korroderer beton m.v., og dels fordi svovlbrinte skaber dårligt arbejdsmiljø og lugtgener i nærmiljøet. I dag forebygges svovlbrintedannelsen med store driftsomkostninger til følge.

Målet med projektet er at udvikle en teknologi, hvor svovlbrinteforebyggelsen kan styres med en nyudviklet cloud-løsning, Consibio Cloud. Det ønskede udfald af projektet er at minimere lugtgener, anvendelse af kemi samt omkostningerne relateret til svovlbrintedannelse i spildevandssystemet.

Projektet er realiseret ved at sammensætte kompetencer fra tre mindre danske erhvervsvirksomheder, hvor teknologierne er afprøvet i samarbejde med tre forsyningsselskaber, der oplever svovlbrinteproblematikker i tryksatte ledningsstrækninger.

I projektet har Consibio udviklet et digitalt system, som styrer samspillet mellem svovlbrintedannelse, kemidosering, rensegris til fjernelse af biofilm samt biofilter til rensning af kloakluft. Consibio har gennem projektet opnået stor dataindsamling til udvikling af en algoritme, som kan vægte hvilke svovlbrinteforebyggende midler, der bør igangsættes, hvor økonomien og mindskning af svovlbrinteniveau er i samspil. Algoritmen benyttes på en digital platform til optimal og integreret styring af svovlbrinteforebyggelsen i én samlet løsning. Den digitale platform, Consibio Cloud, kan udover at styre rensegrisafsendelse og kemidosering også monitorere sensorer og afsende alarm ved nedbrud og store svovlbrinteudslag.

Gennem projektet har Svendborg Motorværksted optimeret en automatisk rensegrisafsender med tilhørende magasin til rensegrise. Rensegrisene er et svovlbrinteforebyggende tiltag, hvor Svendborg Motorværksted har udviklet en coated rensegris til at kunne yde større rensesevne med minimalt slid på ledninger til konkurrencedygtige priser.

BBK Bio Airclean har gennem projektet udviklet et kompakt biofilter til rensning af kloakluft med stor effekt. Filteret kan fungere i samspil med kemidosering og rensegrisafsendelse, hvor det kan håndtere jævne belastninger af svovlbrinte, samt høje spidsbelastninger. Biofilteret består af en sammensætning af knust leca og kompost, som er podet med en nøje udvalgt bakteriekultur.

Selvom projektet stopper, fortsætter udviklingen af teknologien og systemerne.

1. Indledning

1.1 Introduktion til projekt

Spildevandsforsyninger har et øget fokus på svovlbrinteproblematikker i takt med en stigende centralisering af renseanlæg til spildevandsbehandling, samt flere separatkloakerede strækninger. Svovlbrinte opstår i lange trykledninger som følge af lange opholdstider under anaerobe (iltfrie) forhold.

Når svovlbrinte frigives som gasfasekomponent, kan svovlbrinten omdannes til svovlsyre over vandspejlet. Svovlsyren beskadiger betonbygværker, men herudover er en lang række andre problematikker som vedrører arbejdssikkerhed, lugtgener og store vedligeholdelses- og driftsmæssige omkostninger.

Danske spildevandsforsyninger benytter forskellige metoder til forebyggelse og bekæmpelse af gener i forbindelse med svovlbrintedannelse. En udbredt løsning er dosering af kemi, hvor doseringsmængden oftest er baseret på de doseringsmængder, der historisk har været tilstrækkeligt til nedbringelse af svovlbrinte, uden at beregne optimeringspotentiale for at undgå overdosering.

Kemidoseringen kan optimeres ved at beregne en tilpasset mængde nødvendig tilsat kemi ud fra realtidsmålinger af svovlbrintekonzentrationer, og derved nedbringes mængden af overdosering. Dette kan bidrage til en økonomisk og miljømæssig fordel for forsyningsselskaberne. For at holde den nødvendige mængde kemidosering lav, kan et luftfilter installeres til at supplere de svovlbrinteforebyggende tiltag og fjerne den frigivne svovlbrinte. Derved kan kemidoseringen holdes på et konstant niveau og store udsving i svovlbrintekonzentrationer håndteres i luftfilteret.

Udover filtre og kemidosering kan rensegrise benyttes til at rense ledninger for den biofilm, hvor svovlbrintedannende bakterier vokser. Rensegrisen medvirker til en midlertidig fjernelse af biofilmen, som opbygges på ny efter afsendelsen. For at udnytte rensegrisens evne optimalt, er det brugbart med en integreret styring, som afgør hvornår rensegrisen mest effektivt kan afsendes.

Fokus på svovlbrinteproblematikken og optimering af forebyggelsesmetoder er voksende, men kombinationen af overvågning og automatiseret kemidosering og rensegrisafsendelse er ikke en udbredt metode. Kemileverandører og sensorproducenter arbejder i dag med styringsløsninger, som hovedsageligt er tilpasset egne produkter. Det kan derimod være fordelagtigt, hvis en styringsenhed kan indsamle forskellige parametre og tilpasses efter forsyningens og driftspersonalets behov.

En optimeret interaktion imellem de enkelte forebyggelsestiltag forventes at kunne bidrage til en betydelig effektivisering af den generelle drift og vedligeholdelse af forsyningens kloaksystem og nedsætte gener og problematikker forårsaget af svovlbrintedannelse.

Formålet med projektet er at udvikle en integreret løsning, der kan nedsætte svovlbrintedannelse og udledningen ved hjælp af kemidosering, Svendborg Motorværkstedes rensegrise og BBK Bio Airclean's biofiltre til lugtrensning. Løsningen baseres på cloud- og IoT-teknologi som gennem monitorering af systemet kan styre de svovlbrinteforebyggende tiltag. Det efterstræbes at optimere ressourceforbruget på eksempelvis den omkostningstunge kemi, hvor der er en besparelse at hente.

1.2 Projektets deltagere og lokationsbeskrivelse

Blandt projektets deltagere er Sweco Danmark A/S projektleder. Derudover deltager følgende parter i udviklingen af en integreret løsning til svovlbrintebekæmpelse:

Consibio ApS
BBK Bio Airclean A/S
Svendborg Motorværksted ApS
Hedensted Spildevand A/S
Svendborg Vand og Affald A/S
FFV Energi & Miljø A/S

Consibio's rolle i projektet er at udvikle en digitaliseringsløsning, Consibio Cloud, der kan håndtere data fra spildevandsforsyninger på en cloud-platform. Ved brug af algoritmestyring og sensorer i samspil, ønskes det at mindske driftsomkostninger og driftsgener for spildevandsforsyninger og nedbringe ressourceforbrug og det miljømæssige aftryk.

BBK Bio Airclean's rolle i projektet har omdrejningspunkt omkring en prototype af et biofilter til fjernelse af svovlbrinte fra kloakluften, som er opstillet hos FFV Energi og Miljø. Gennem projektet søges at udvikle en mere kosteffektiv lugtrensning, hvor kemidoseringen i afløbssystemet samtidigt kan nedsættes.

Svendborg Motorværksted står for at udvikle og optimere på en prototype af en automatisk rensegrisaftsender, som kan tilpasses en digital løsning. Den automatiske rensegrisaftsender består samtidigt af en udviklet magasinholder med plads til flere bløde eller coatede rensegrise, og en opsamlingskurv ved oppumpningsbrønden. Derudover er en ny coated rensegris udviklet til projektet, som sikrer større driftssikkerhed, og med renseevne som en hård rensegris. Prototyperne anvendes ved projektets forsøgslokationer.

Forsøgslokationer

Data fra de tre medvirkende forsyninger danner grundlag for Consibio's teknologi til svovlbrintehåndtering og svovlbrintemonitorering.

De tre lokationer som benyttes i projektet er:

Hvidkildevej i Svendborg, Svendborg Vand og Affald
Sanatorievej i Stouby, Hedensted Spildevand
Sandholt ved Fåborg, FFV Energi og Miljø

Svendborg Vand og Affald har været deltagende i tidligere MUDP-projekt "SamAqua IoT for-projekt" og erfaringer er inddraget i nærværende projekt. Svendborg Vand og Affald afprøver prototyperne af rensegrisaftsenderen, og data monitoreres af Consibio.

Hedensted Spildevand har været deltagende i andre projekter omhandlende svovlbrinteforebyggelse og minimering af vedligeholdelsesomkostninger i forsyninger. Hedensted Spildevand har før projektets opstart udelukkende brugt kemidosering til at forebygge svovlbrintedannelse, men afprøver i projektet både rensegrisløsningen, luftfilteret og den digitale løsning til kemistyring.

FFV Energi og Miljø anvender i forvejen rensegrisaftsendelse, og afprøver i projektet luftfilteret som er baseret på biologiske processer og som kan håndtere spidsbelastninger af svovlbrinte. Ved forsøgslokationen bruges opstillet filter som testfilter, hvor sammensætning af filtermateriale og resterende komponenter videreudvikles og optimeres ud fra logget data. Data monitoreres af Consibio.

2. Renseteknologier til reducere af svovlbrinteemissioner

Spildevand er sammensat af kemiske og biologiske forbindelser, som giver næring til bakterier i biofilmen på indersiden af spildevandsledninger. Biofilmen indeholder bakterier der omsætter aerobt, denitrificerende og sulfatreducerende.

De sulfatreducerende bakterier er aktive, når både ilt og nitrat er opbrugt. Især trykledninger, hvor der er anaerobe betingelser, sker sulfatreduktionen. Sulfatreduktionen medfører, at sulfatindholdet i spildevandet bliver omdannet til sulfid i væskefasen (*Miljøstyrelsen. (1988)*). Typisk vil sulfid, i form af svovlbrinte, overgå fra væskefase til gasfase når spildevandet pumpes ud af trykledningen til oppumpningsbrønden.

Over vandspejlet i f.eks. oppumpningsbrønde og gravitationsledninger er der bakterier, som bl.a. oxiderer den frigivne svovlbrinte til svovlsyre (*Miljøstyrelsen. (1988)*), og det er denne del, som virker korroderende på bygværker og skaber store vedligeholdelsesmæssige omkostninger. Udover dette er svovlbrinte en ildelugtende gas, der giver lugtgener for nærmiljøet i selv mindre mængder. I større mængder kan gassen være antændelig og giftig.

2.1 Kemidosering

Kemidosering er en nemt anvendelig og justerbar metode for forsyningsselskaberne til at nedsætte problematikken forårsaget af svovlbrintedannelse i kloaksystemet.

Der findes forskellige metoder til kemidosering, hvor reguleringen af svovlbrinte enten sker ved oxidation, pH-regulering eller udfældning.

Calciumnitrat er et af midlerne til at dosere med, hvor vækstbetingelserne for de svovlbrintedannende bakterier forringes. De denitrificerende bakterier udskyder hermed processen for sulfatreduktionen. Derudover omsættes calciumnitrat nemt til væskefasen og fungerer som anoxisk proces i trykledningen.

Doseringsmængden afgøres efter erfaringstal, som styres og kontrolleres manuelt af forsyningens driftspersonale. For at sikre at udsættelsen af sulfatreduktionen sker gennem hele det tryksatte system, er der sandsynlighed for overdosering med calciumnitrat. Ved at undgå overdoseringsmængden med svovlbrintebekæmpende kemikalier, kan driftsøkonomien optimeres.

2.2 Automatisk rensegris

Rensegrisen fungerer ved rent mekanisk at blive ført gennem ledningsstrækningen, hvor den renser indersiden af kloakledningen for ophobede sedimentaflejringer og biofilm.

Efter afsendelsen af rensegrise sikres en driftsoptimering, hvor ledningens hydrauliske kapacitet forøges og ruheden nedsættes. Mængden af energi, der kræves for at flytte spildevandet, mindskes derved. Der sikres derudover fjernelse af den biofilm, som dannes i rørene, og hermed fjernes en stor del af de sulfatreducerende bakterier, som omsætter spildevandskomponenterne til svovlbrinte. Efter afsendelsen af rensegrisen opbygges biofilmen over tid på ny.

Almindeligvis skal en driftsansvarlig med jævne mellemrum manuelt afsende rensegrisen, når der vurderes et behov for dette. En af problematikkerne ved afsendelse af rensegrise er, at der kræves arbejdstid og jævnlige tilsyn for at vurdere, hvornår der skal afsendes ny rensegris.

Der skelnes mellem to typer af rensegrise; en blød og en hård. Den bløde rensegris, som har tekstur som en svamp, bruges primært til ledninger, hvis dimensioner kan variere, og til lettere rensninger. Den hårde rensegris bruges til kraftigere rensninger og er mere slidstærk.

I projektet har Svendborg Motorværksted udviklet en coated rensegris, se FIGUR 1, som er en blød rensegris med et lag slibemiddel udenpå, hvilket gør den ru og hård udvendigt til at sikre kraftigere rensninger, samtidigt med at kunne være fleksibel til ledningers varierende dimensioner.



FIGUR 1. Coated rengøris udviklet af Svendborg Motorværksted ApS.

Fælles for rengørisene er, at det er fleksible cylindre, der kan drive igennem spildevandsledninger ved hjælp af det tryk, der kommer fra spildevandet. Rengøriser kan dermed rense uden at afbryde driften.

Ulempen ved brugen af rengøriser er, at det er en tidskrævende proces at igangsætte. Det kræver arbejdstid at afsende, at kontrollere rensningsgrad og at kontrollere om rengørisen kommer igennem ledningen. Ofte skal processen gentages ved meget belastede rør, og der er risiko for at rengøriser sidder fast i systemet.

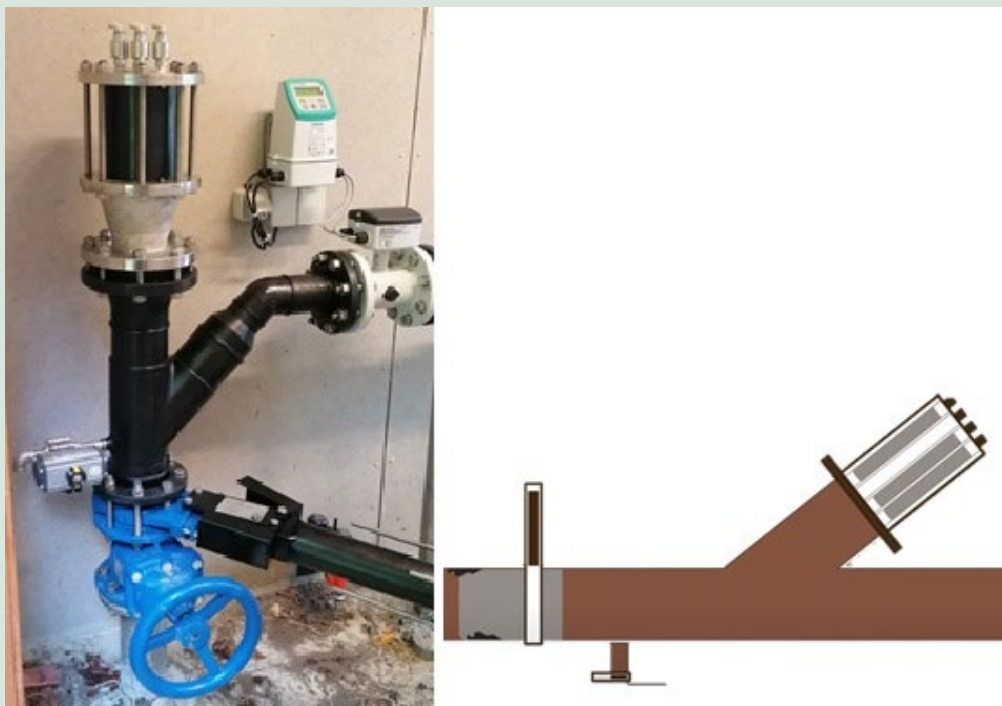
Rengøriser er et forebyggende tiltag, som fjerner svovlbrinteproblematikken midlertidigt for ledningen.

Projektets automatiske rengøris

I forbindelse med udviklingen af den automatiske rengørisafsender, som benyttes i projektet, har Svendborg Motorværksted stået for udformningen, hvor rengørisløsningerne er blevet testet hos Svendborg Vand og Affald og Hedensted Spildevand.

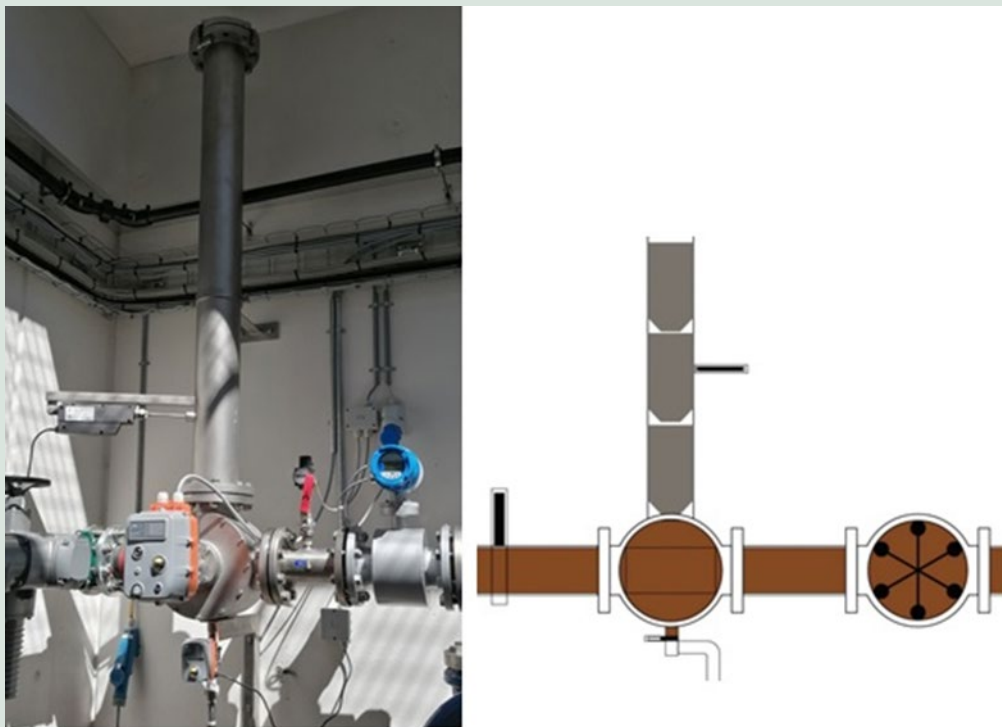
Løsningen har primært haft fokus på afsendelsen og opmagasineringen af rengøriser.

I projektets automatiske rengørisafsender, er der som udgangspunkt plads til syv komprimerede, bløde rengøriser, som kan afsendes med trykluft, se FIGUR 2.



FIGUR 2. Magasin og rensegrisafsender til komprimerede bløde rensegrise, udviklet af Svendborg Motorværksted ApS.

Som projektet har udviklet sig, er der blevet optimeret på afsendelsesmekanismen for rensegrise, se FIGUR 3. Fra at kunne afsende bløde rensegrise, kan både bløde og coatede rensegrise afsendes. Afsendelsen er stadig begrænset af magasinrøret, som bedre kan rumme bløde, komprimerede rensegrise.



FIGUR 3. Magasin og rensegrisaftsender til bløde og coatede rensegrise, udviklet af Svendborg Motorværksted ApS.

Gennem analyse af afsendelsesdata er det påvist, at coatede rensegrise virker mere effektivt end de bløde. De coatede anbefales derfor grundet deres alsidige egenskaber.

Til opsamling af rensegrisene er der i oppumpningsbrønden for enden af ledningsstrækningen lavet et gitter, der sikrer at rensegrisen ikke føres videre i systemet. På gitteret er der plads til flere rensegrise, hvilket medfører, at opsamlingen kan udsættes.

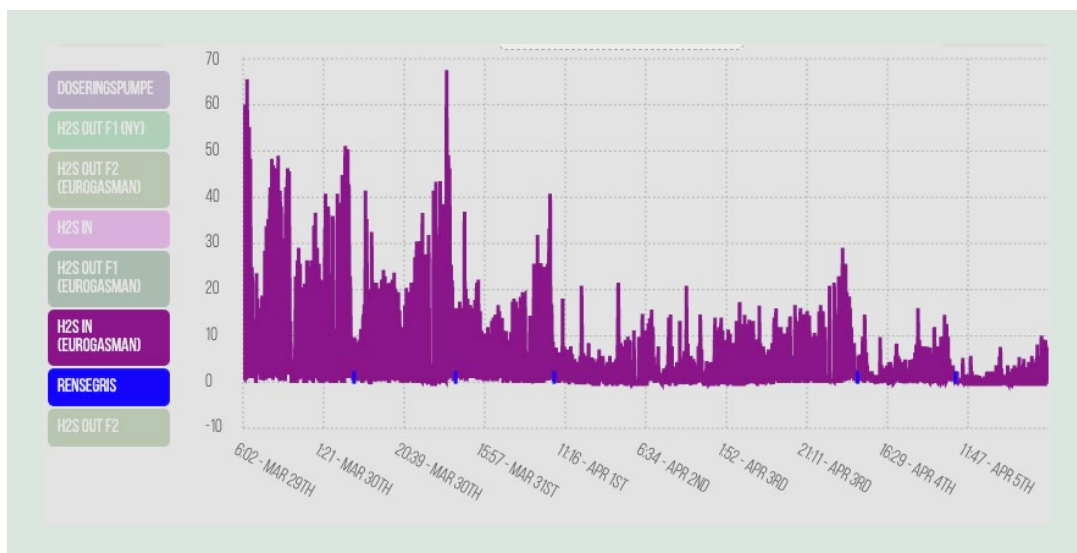
Forsøgsoptstillinger til analyse af rensegriseeffekt

Som del af projektet er forskellige scenarier undersøgt, hvor bl.a. systemets svovlbrinteproduktion måles under forhold, hvor den mekaniske påvirkning fra rensegrisaftsendelsen varierer. Målingerne foretages i miniforsøg.

Ved forsøgslokationen i Hedensted har der udelukkende været brugt kemidosering i systemet, og det oprindelige svovlbrinteniveau har gennemsnitligt været på 14,6 ppm med et maksimum på 100,7 ppm.

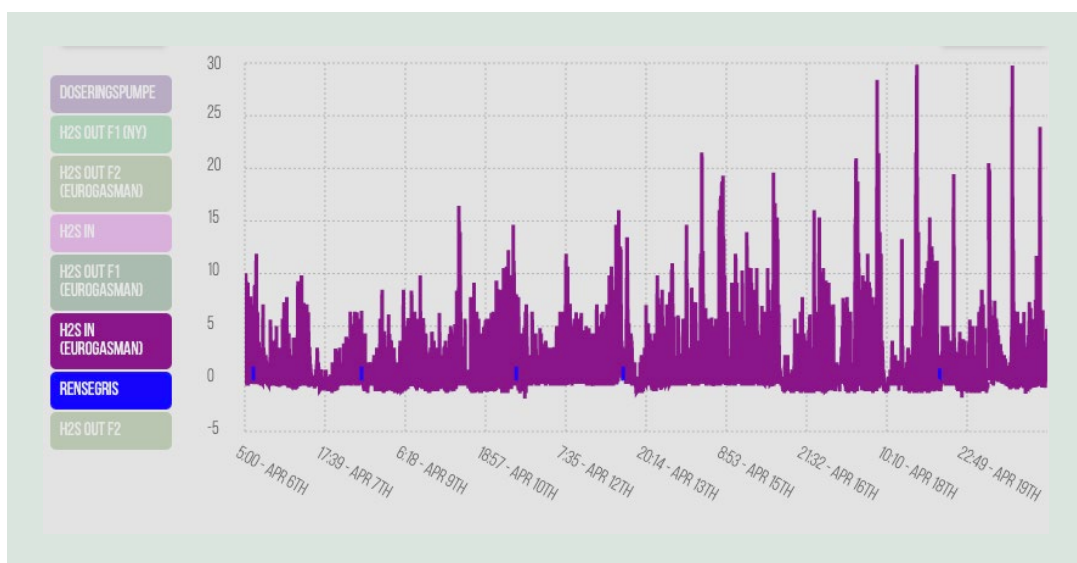
Ved miniforsøgene ønskedes det at stoppe al tilførsel af kemi og alene benytte rensegrise til at nedbringe svovlbrinteniveauet. Ved opstart benyttedes en hård rensegris til at sikre fjernelse af biofilm, så svovlbrintekonzentrationen som udgangspunkt var så lav som muligt.

Første scenarie var afsendelse af fem coatede rensegrise inden for en uge. Hypotesen var at coatede rensegrise kunne rense en strækning i bund ved hyppig afsendelse inden for en kort periode på under en uge. Forsøget viste et udbytte ved, at strækningen havde fået tydelig effekt af afsendelsen og strækningen blev rensat. For hver gang en rensegris blev afsendt, blev en gradvist lavere svovlbrinteproduktion set i perioden, se FIGUR 4.



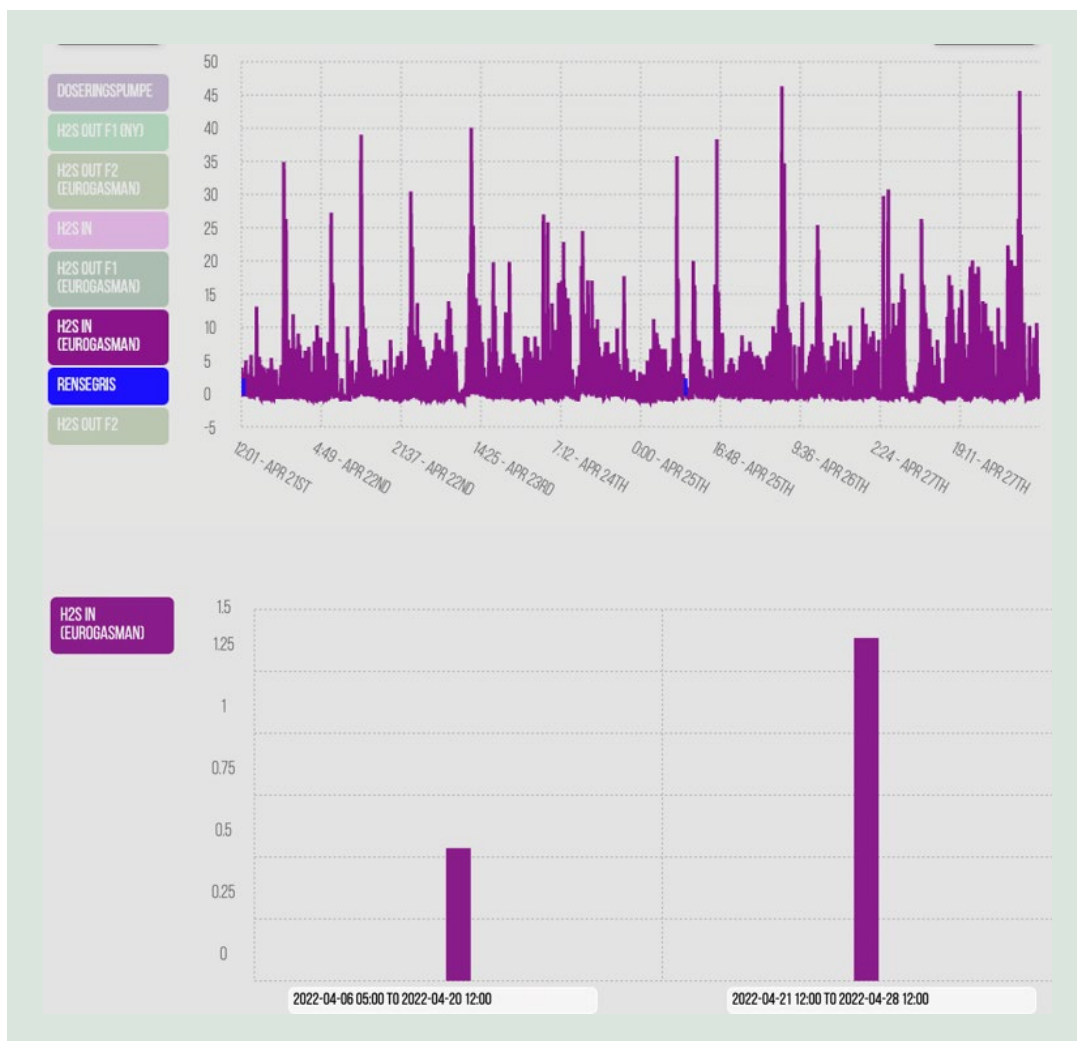
FIGUR 4. Svovlbrintekonzentration 'Lilla' sammenholdt med afsendelse af coatede rensegrise 'Blå' i tidsperioden d. 30. marts 2022 til d. 6. april 2022 (*Consibio Cloud*).

Andet scenarie var afsendelse af fem bløde rensegrise over en periode på to uger. Hypotesen var at bløde rensegrise ville kunne vedligeholde et lavt niveau af svovlbrinte ved ugentlige afsendelser. Her forblev svovlbrinteproduktionen den samme uden flere større udsving.



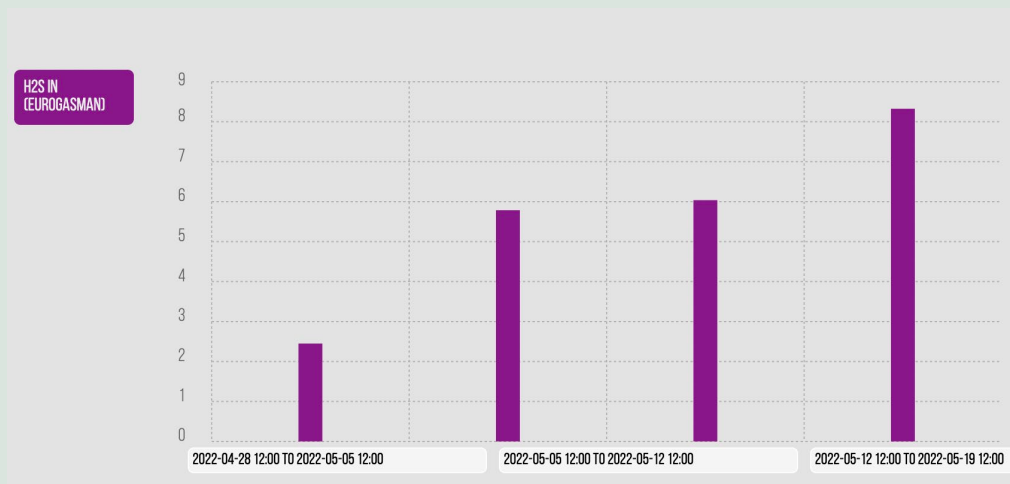
FIGUR 5. Svovlbrintekonzentration 'Lilla' sammenholdt med afsendelse af bløde rensegrise 'Blå' i tidsperioden d. 6. april 2022 til d. 21. april 2022 (*Consibio Cloud*).

Tredje scenarie var to coatede rensegrise der blev afsendt inden for en uge. Hypotesen var at coatede rensegrise ville kunne vedligeholde et lavt niveau af svovlbrinte ved ugentlige afsendelser. Resultatet fra målingerne var at den gennemsnitlige svovlbrinteproduktion tredobles i forhold til andet scenarie, hvor der blot var 0,4 ppm svovlbrinte ift. de coatede rensegrises 1,3 ppm. Dette kan skyldes frigivet svovlbrinte i sediment og biofilm der giver store udsving, som ved miniforsøgenes opstart. Det kunne også indikere, at der til en vis grad bliver opbygget biofilm under andet scenarie.



FIGUR 6. Svovlbrintekonzentration 'Lilla' sammenholdt med afsendelse af coatede rensegrise 'Blå' i tidsperioden d. 21. april 2022 til d. 28. april 2022 (*Consibio Cloud*).

Fjerde scenarie er efterfølgende at stoppe al tilførsel af kemi og mekanisk påvirkning fra rensegrisaftsendelse. Over en periode på 1-1,5 måned stiger den gennemsnitlige svovlbrinteproduktionsrate til niveauet før forsøgene med rensegrisene.

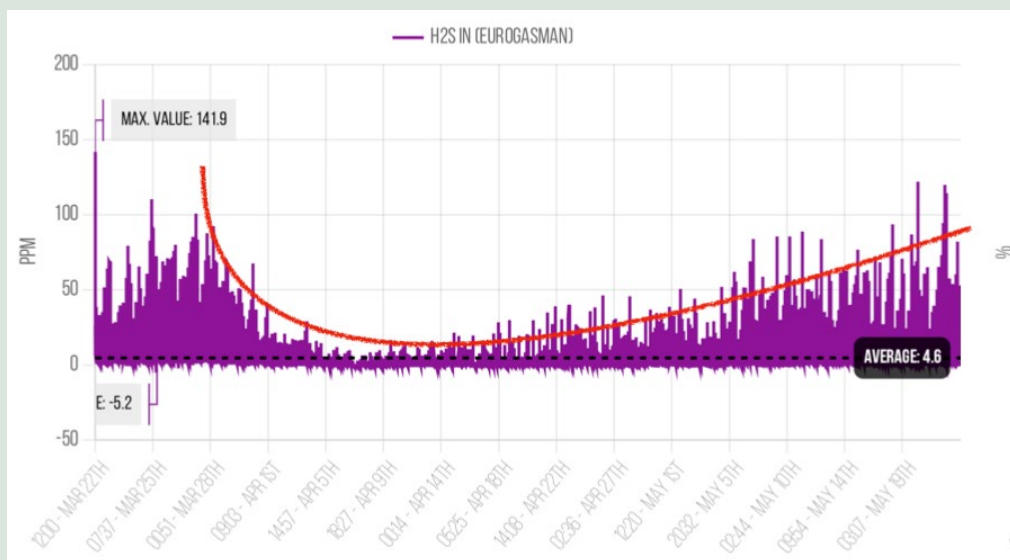


FIGUR 7. Udviklingen af svovlbrintekonzentration som funktion af tid over fire uger uden forebyggende tiltag (*Consibio Cloud*).

I scenarierne var der en tendens til, at rensegrise kunne holde svovlbrinteniveauet nede. Gennemsnitligt var svovlbrinteniveauet lavere end da kemidoseringen udelukkende blev brugt i systemet.

Undervejs i rensegrisorløbet kunne det også ses, at regn og temperatur ikke havde den store effekt.

En uge efter afslutning af rensegrisorløbet, kunne det ses at svovlbrinteniveauet var stigende igen, og dermed var der en indikation på at biofilmen var opbygget.



FIGUR 8. Udvikling af svovlbrintekonzentration som funktion af tid for perioden d. 22. marts 2022 – d. 19. maj 2022 (dækker periode: før, under, efter miniforsøg). Svovlbrintekonzentration 'Lilla', Tendenslinje 'Rød' (*Consibio Cloud*).

2.3 Biofilter til luftrensning

I projektet har BBK Bio Airclean udviklet og optimeret på et filter til luftrensning, der er baseret på biologiske processer. Filteret skal kunne opstilles nemt ved en eksisterende eller ny planlagt oppumpningsbrønd uden at fylde for meget.

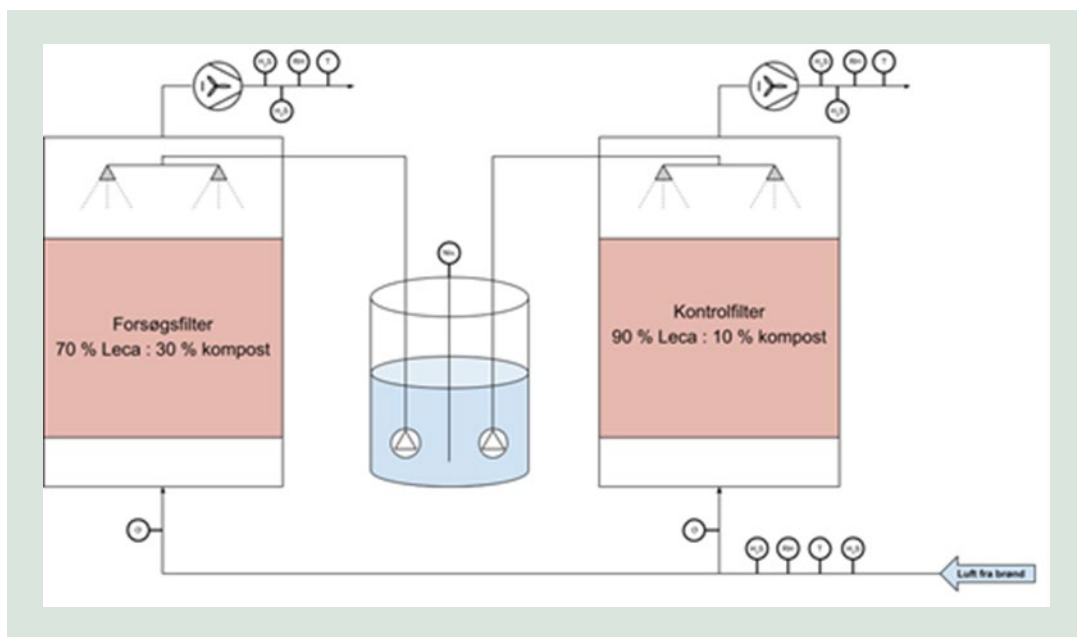


FIGUR 9. Biofilter til rensning af kloakluft ved testlokation Sanatorievej i Stouby.

Svovlbrinten kan i gasform føres gennem filteret, som håndterer gasfasekomponenter. Her er det hensigtsmæssigt at fjerne de problematiske lugte, som fremkommer af svovlbrintens tilstedeværelse. Lugtproblemerne giver anledning til naboklager og yderligere arbejdstid i forbindelse med håndteringen af klagerne, samt dårligt arbejdsmiljø ved arealer omkring oppumpningsbrønde.

Ved filtreringen føres gassen ind i et kammer, hvor et spaltegulv med plastnet understøtter et lag knust leca. En ventilator sikrer, at der er undertryk i oppumpningsbrønden, og dermed at kloakluften bevæger sig ind i filteret, uden større opholdstid i brønden.

Oven på lecalaget lægges biofiltermateriale i form af kompost podet med mikroorganismer. Biofilteret og leca fugtes af et indbygget sprinkleranlæg, som sikrer at svovlbrinten reagerer med filteret.



FIGUR 10. Principdiagram for et BBK Bio Airclean biofilter.

I komposten findes en svovlbrinteoxiderende biomasse. Processen ved omdannelse af svovlbrinte til svovlsyre, som forekommer uhensigtsmæssigt i bygværker, imiteres her i et kontrolleret system.

For at sikre at biofilteret har den rette mængde svovlbrinteoxiderende biomasse, gødes filteret ved opstart, som undertiden skal holdes i live ved at sikre tilstrækkeligt svovlbrinte eller gødning som næring.

Når der igennem filteret er dannet meget svovlsyre og filterets pH-værdi er lav, er der risiko for at mikroorganismernes vækstvilkår forringes grundet sure forhold. For at forhindre for lav pH-værdi tilsættes der natriumbicarbonat til at stabilisere pH-værdien tilbage til et niveau som er optimal for bakterievækst.

Leca nedbrydes ikke af svovlbrinte eller svovlsyre, men er et porøst materiale, der sikrer jævn fordeling af luftstrømmen gennem komposten og dermed sikrer et stort overfladeareal til omsætning af svovlbrinte.

Blandingsforholdet mellem leca og kompost kan justeres, alt efter hvor lang opholdstid og strømningshastighed der ønskes igennem filteret. Jo længere opholdstid, jo mere omsætning forefindes. Samtidigt kan filterlaget blive for kompakt, så der ikke sikres en ensartet fordeling og gennemstrømning.

Filteret er et tiltag, der bekæmper svovlbrinteproblematikken og sikrer, at der ikke skabes uhensigtsmæssige lugt- og korrosionsgener i nærområdet, samtidigt mindsker det problemer senere i systemet.

Processen med optimering af filteret er givet ud fra et forsøgsfilter og et kontrolfilter, hvor forskellige mængder leca og kompost er anvendt, til at sikre den optimale fordeling.

Undervejs monitoreres trykket, temperatur, mængden af svovlbrinte der findes i gasfasen, og luftfugtigheden både før og efter filteret. Derudover måles det flow af luft der strømmer til filteret fra kloakatmosfæren.

Forsøgsoptstillinger til analyse af biofiltrenes renseeffekt

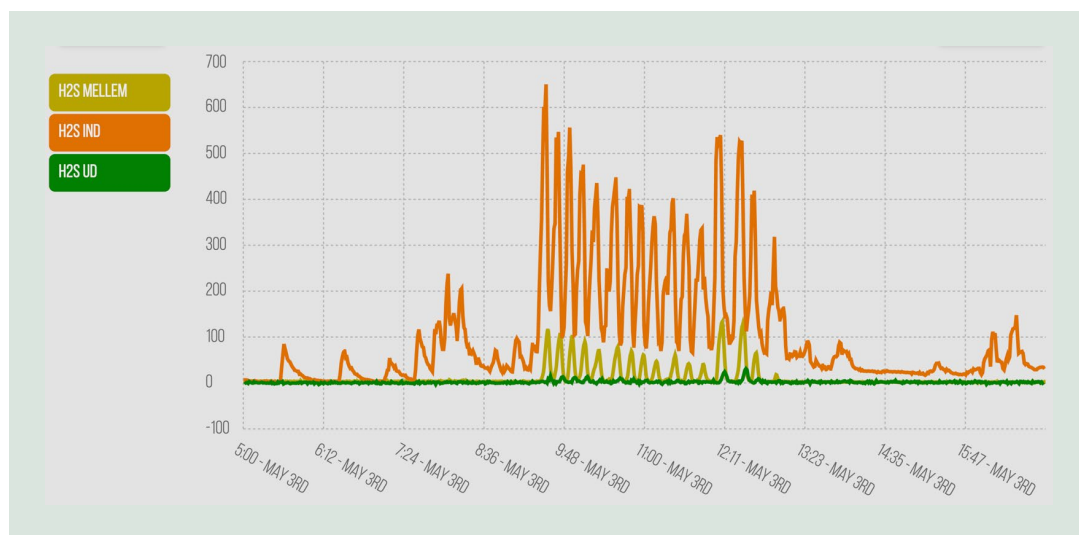
For at teste og udvikle biofiltrene er der i udvalgte perioder gennemført miniforsøg, hvor data fra sensorer i systemet kan analyseres med fokus på ændring af målt svovlbrintekoncentration. Formålet er at eftervise renseeffekten af biofiltrene ved at opstille simple parametre og antagelser af sammenhæng.

FFV

Ved testlokation Sandholt i Fåborg-Midtfyn Forsyningsområde er der udført forsøg med afsendelse af coatede rensegrise fra alle tilløbsledninger samtidig for at få ledningssystemet renset i bund. Det forventes at medføre høje koncentrationer af svovlbrinte ved oppumpningsbrønden og dermed bliver biofilterets effekt testet ved uvante høje koncentrationer.

Forsøget blev gennemført af fire omgange for at øge datamængden og dermed troværdigheden af resultaterne.

Hypotesen ved forsøget er, at biofilteret kan rense luften med høj effektivitet trods forhøjet peakkoncentration af svovlbrinte.



FIGUR 11. Måling af svovlbrintekonzentrationer i gasfase ved biofilter testlokation Sandholt. Enhed [ppm]. Svovlbrintekonc. ind i filter 'orange', Svovlbrintekonc. mellemfilter 'guld', Svovlbrintekonc. filter udtag 'grøn' (Consibio Cloud).

Ved at sammenligne svovlbrintekonzentrationer ved biofilterets indtag med svovlbrintekonzentrationer ved filterets udtag, kan hypotesen be- eller afkræftes.

På ovenstående graf ses den målte koncentration af svovlbrinte ind i filteret (orange), i mellemfilteret (guld), og koncentrationen ud af filteret (grøn).

Den målte data er registreret efter afsendelse af rensegrise d. 3. maj 2022, hvorefter udslaget af forhøjet svovlbrintekonzentration kan tydes i biofilteret.

Ud fra grafen fremstår en forhøjet koncentration af svovlbrinte ind i filteret målt til højeste niveau på 650 ppm, og samtidig er der et udslag i mellemfilteret på 100 ppm. Trods de høje koncentrationer i filterets indtag og mellemfilteret, forbliver koncentrationen lav ved filterets udtag. Dette indikerer, at filteret har renset med høj effektivitet og dermed sikrer filteret, at svovlbrinteniveauet ikke udgør en risiko for omgivelser uden for filteret og kloaksystemet.

Det bekræfter, at biofilteret opretholder effektiv rensegrad ved høje peakkoncentrationer og mindsker risikoen for lugtgener.

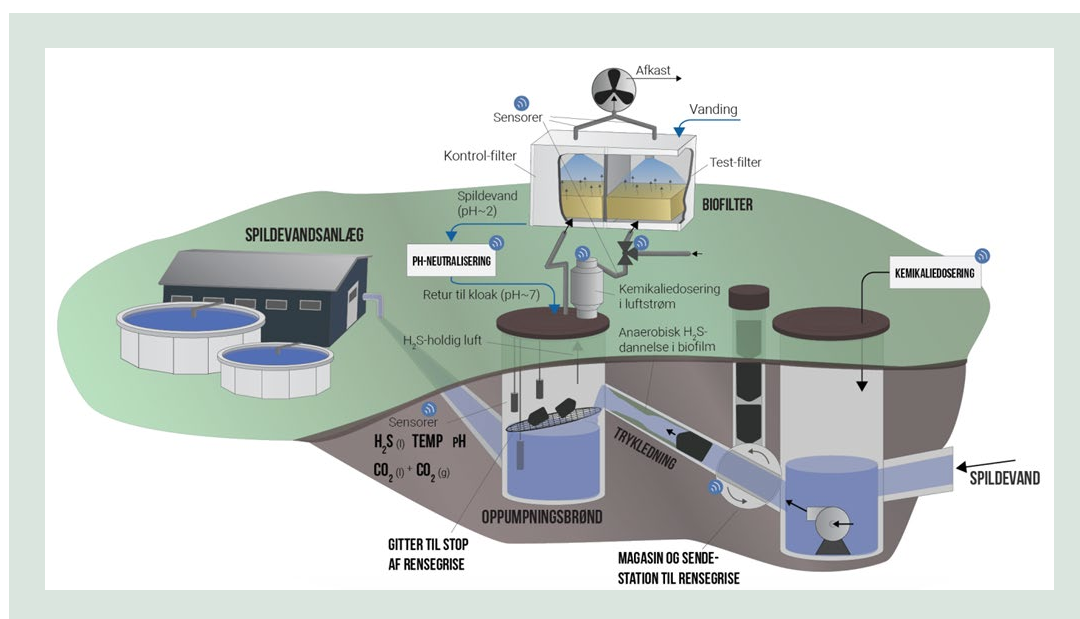
3. Digitalisering af forebyggelsesindsatsen

3.1 Databehandling

I projektet ønskes udviklingen af et digitalt cloud-baseret system for at minimere driftsomkostninger og -gener.

Det cloud-baserede system skal kunne styre samspillet mellem:

- Svovlbrintedannelse
- Kemidosering
- Rensegrisafsendelse
- Biofilter til håndtering af spidsbelastninger



FIGUR 12. Illustration af digitalt samspil i Cloudløsning med kemidosering, rensegrisafsendelse, luftfilter og nødvendigt måleudstyr.

For at systemet fungerer automatisk, kræves en estimering af effekten fra renseteknologierne og andre ydre påvirkninger, som kan have indflydelse på svovlbrintedannelsen.

Det indledende arbejde ift. digitaliseringen af forebyggelsesindsatsen har primært omhandlet hvilke tilgængelige parametre, der har størst indvirkning på svovlbrintedannelsen. Dermed kan det afgøres hvilken type rådata, der kan indsamles, hvilke sensorer, der skal indsættes, placeringen af dem og hvorledes rådata skal filtreres.

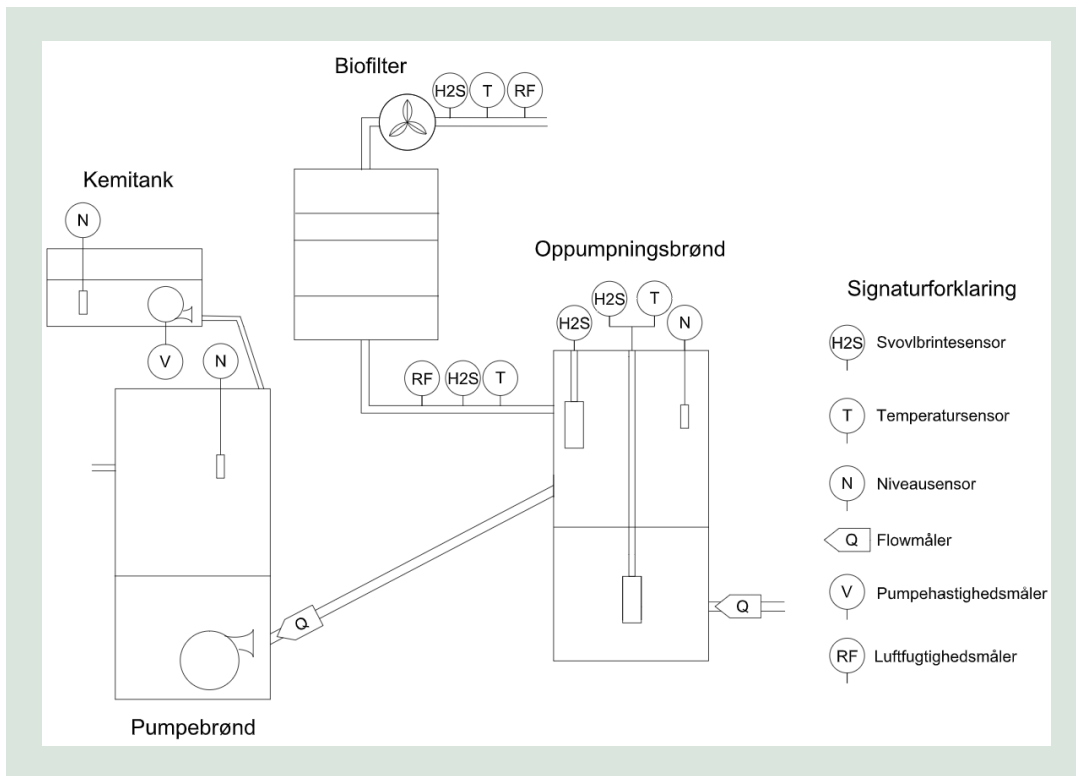
Derudover udarbejdes grundlaget for vurderingen af korrelationer i forbindelse med svovlbrintedannelsen. Korrelationerne skal påvise hvorvidt renseteknologierne og ikke- kontrollerbare påvirkninger har den effekt, som forventes.

Det tekniske grundlag for beregningerne skal kunne overføres til en algoritme, så det foregår automatisk, hvor den optimale kombination af kontrollerbare påvirkninger skal kunne beregnes på ethvert givent tidspunkt.

Sensoropstilling

Oftest ses svovlbrinteproblematikker på en ledningsstrækning, hvor der er lang opholdstid og anaerobe forhold. I projektet er der valgt lokationer som opfylder nævnte kendetegn. Her placeres der sensorer ved fire valgte lokationer:

- Pumpebrønden opstrøms
- Doseringspunkt med kemidosering
- Oppumpningsbrønd nedstrøms
- Biofilter



FIGUR 13. Illustration af nødvendigt måleudstyr ved et trykssystem til digital cloudstyring.

I pumpebrønden måles det flow, der kommer fra brønden, samt spildevandsniveauet i brønden.

For at måle kemidoseringen, er en niveausensor placeret i kemitanken. I kemitanken findes en pumpe, som kan monitoreres i forhold til pumpeydelse.

I oppumpningsbrønden vil der ske en frigivelse af svovlbrinte til gasfasen. Både i gas- og væskefase er der en svovlbrintesensor. Herudover måles spildevandsniveauet i brønden, temperaturen på spildevandet og flowet fra nedstrøms brønd.

I biofilteret måles den mængde svovlbrinte, der strømmer til filteret, den mængde, der er i afkastet fra filteret, og luftstrømmen, der føres igennem filteret. Samtidigt måles temperatur og luftfugtighed.

Det efterfølgende arbejde er at undersøge hvilke korrelationer der skal beregnes før man kan arbejde med datasættet.

Korrelationer

Korrelationerne skaber grundlag for hvilke parametre der er målbare og hvilke der skal beregnes. Dermed kan en algoritme udarbejdes til at forudsige hvorledes svovlbrintedannelsen ud-

vikler sig. Desuden belyses hvilke ydre effekter, der påvirker de forventede svovlbrintesammenhænge. Herunder er bl.a. spildevandssammensætningen, renseteknologier og svovlbrintniveau undersøgt.

Eksempelvis ses temperaturen at have en mindre grad af effekt på svovlbrintedannelsen, da andre parametre (for eksempel mængden af kemi doseret) har større indvirkning, og derfor tilsidesætter temperaturens virkning.

De vigtigste korrelationer er opholdstiden, som kan beregnes ud fra flow og niveau, og sammenhængen mellem svovlbrinte i væske- og gasfase.

Kemidoseringen og rensegrisafsendelse har målbart og forventeligt en negativ indvirkning på svovlbrinte.

Disse korrelationer kan i samspil bruges til en algoritme der kan styre eksempelvis kemidosereringen og afsendelse af rensegrise i forhold til hvad der forventes af svovlbrintemængden i systemet.

Analyser og algoritmestyring

Når de eksakte korrelationsværdier er afklaret, er det muligt at forudsige svovlbrintniveauet.

Ved spidsbelastninger af svovlbrinte igangsættes kemidosering eller rensegrisafsendelse.

Toppen af belastningen bliver korrigeret efter biofilterets kapacitet.

Opbygningen af et automatisk system, hvor forskellige renseteknologier implementeres i samspil, er dannet omkring de algoritmer, som kan beregnes gennem korrelationerne.

3.2 Cloudstyring

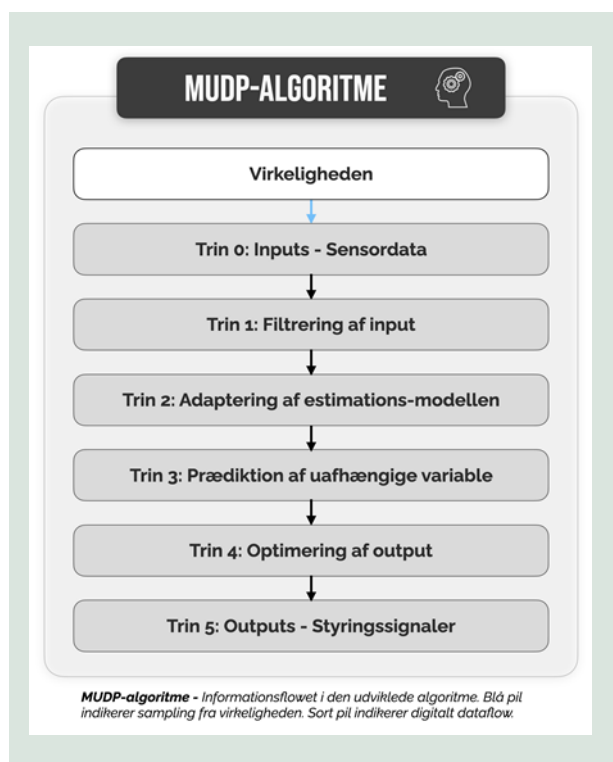
Indledningsvist for arbejdet med algoritmen er sensorer og deres placering afklaret. Ud fra korrelationerne er en estimationsmodel opstillet, som danner grundlaget for de fremtidige modeller bestemt gennem algoritmejusteringer.

Algoritmejusteringerne retter op på styresignalet der sendes til IoT-enheder, som eksempelvis er de enheder, der er integreret i systemet, som sensorer og de enheder, som styrer kemidoserering og rensegrisafsendelse. I følgende afsnit beskrives den måde, hvorpå algoritmerne er udviklet.

I forhold til algoritmestyringen skelnes der mellem følgende begreber:

- **Estimationsmodellen:** Den matematiske model der bruges til at beregne en forventet produktionsrate af svovlbrinte alene ud fra ydre påvirkninger (både kontrollerbare og ikke-kontrollerbare – kan være fysiske påvirkninger, rensegrise og tilsat kemi)
- **Ydre påvirkninger:** Alle påvirkninger, som har en indflydelse på den rate hvormed svovlbrinte dannes. Disse opdeles i:
 - **Kontrollerbare påvirkninger:** Henviser til kemidoserering og afsendelse af rensegrise. Disse kan kontrolleres og påvirker mængden af svovlbrinte, der produceres. Biofilteret er ikke medtaget her, da dets virkning ikke påvirker hvor meget svovlbrinte, der dannes i kloakken.
 - **Ikke-kontrollerbare påvirkninger:** Henviser til ydre påvirkninger som temperatur, flow/opholdstid m.m., som også påvirker mængden af dannet svovlbrinte, men som systemet ikke kan kontrollere.

Definering af fremgangsmåde for algoritmerne kan bestemmes ud fra seks trin, se FIGUR 14.



FIGUR 14. Algoritme til behandling af sensordata, automatisk beregning af svovlbrintepotentiale (produktionsrate) og bestemmelse af optimale styresignaler til renseteknologier.

- Trin 0: Loggede rådata fra sensorer i kloaksystemet uploades til cloudplatformen Consibio Cloud. For beskrivelse af sensorplaceringer se afsnit 3.1.
- Trin 1: Behandling og filtrering af den modtagne data, hvorefter afledte parametre beregnes ud fra rådata, eks. kemidoseringsraten, retentionstid og emissionsrater af svovlbrinte.
- Trin 2: Forbedring af estimationsmodellen. Modellen beregner den forventede svovlbrinte-produktionsrate udelukkende fra ydre påvirkninger. Den tilpasses løbende til den faktisk målte produktionsrate, og derved forbedres modellen. Dette gøres ved at ændre koefficienterne i estimationsmodellen, så estimationsmodellen stemmer overens med den faktisk målte produktionsrate for svovlbrinte.
- Trin 3: Algoritmebaserede forudsigelser som tager udgangspunkt i korrelationerne fra databehandlingen. Ud fra en defineret tidshorisont bestemmes den fremtidige udvikling ud fra tendensen til ændringer (stigning/fald) i ikke-kontrollérbare ydre påvirkninger.
- Trin 4: Defineret af optimal kombination af styresignaler til kemidosering og rensegris, hvor den tilpassede model benyttes til at forudsige forventet svovlbrinteproduktion. Kombination sker ud fra en vægtning af kemi, rensegris og svovlbrinteproduktionsrate, som hver er defineret ved en økonomisk værdi.
- Trin 5: Omsætning af styresignal, der kan sendes til IoT-enheder, som fysisk er forbundet til hhv. rensegrisaftaster og doseringspumpe. Resultatet fra trin 4 omdannes til en værdi for kontrollérbare parametre. Rensegrisen og kemidoseringen kan derfor have værdien fra 0, som betyder ingen afsendelse eller ingen kemi, til 1, som betyder send rensegris eller max kemidosering.

Samtlige ovenstående trin bliver gennemgået i algoritmen, når Consibio Cloud modtager et nyt datapunkt. For hver iteration eksekveres algoritmen og dermed filtreres inputs, estimationsmodellen adapteres, de uafhængige variable forudsiges og styresignalet optimeres.

Mindskning af driftsomkostninger

Algoritmen finjusteres løbende til at optimere det styresignal, der fremmer en mindskning af driftsomkostninger. Det justerede styresignal kan sikre, at svovlbrintedannelsen udskydes eller udebliver, samtidigt med at omkostningerne til kemidosering og hyppigheden af rensegrisafsendelse sker ved en vægtning af, hvad der økonomisk er mest fordelagtigt, som nævnt i trin 4 for algoritmens fremgangsmåde.

Hyppigheden af rensegrisafsendelse justeres for at optimere både et mindre forbrug af kemi, men også for at mindske modstanden fra biofilm i trykledningen, der ellers resulterer i at pumper ikke yder effektivt. Kemidoseringen justeres for at opnå en 1:1 reaktion, hvor underdosering undgås og dermed lugtklager og korrosion. Samtidig undgås overdosering der kan være u hensigtsmæssig for renseanlæg og recipient, samt være en unødvendig merudgift.

4. Business case for den samlede teknologi

Algoritmejusteringerne bygger på en økonomisk vægtning ift. svovlbrinteforebyggende tiltag. Justeringerne bliver afprøvet i en samlet teknologisk løsning, hvor resultaterne udmunder i en vurdering af besparelspotentialer, der vedrører:

- Kemidosering
- Energiforbrug
- Driftsomkostninger til rensegrisaftandelse
- Forventede potentialer ift. arbejdsmiljø og færre klager over lugt

For testopstilling Sanatorievej ved Hedensted Spildevand er der fra september 2022 installeret automatisk monitorering og styring af forebyggende og bekæmpende svovlbrintetiltag. Den automatiske styring indebærer, at kemidosering og bestemmelse af rensegrisaftandelse er styret af den udviklede algoritme.

Algoritmen vægter ud fra pris og det er afgørelsen for justering af kemidoseringsmængde og hyppighed af rensegrisaftandelse.

Det er direkte styret af den målte svovlbrintekonzentration ved oppumpningsbrønden, samt ved biofilterets udtag. En sikkerhedsfaktor er indarbejdet i algoritmen, der opjusterer kemidoserer hvis svovlbrintekonzentrationen overstiger en forudbestemt øvre grænse i biofilterets udtag.

På den måde reagerer det automatisk styrede system hurtigt på ændrede forhold i systemet og lugtgener undgås.

4.1 Besparelspotentialer

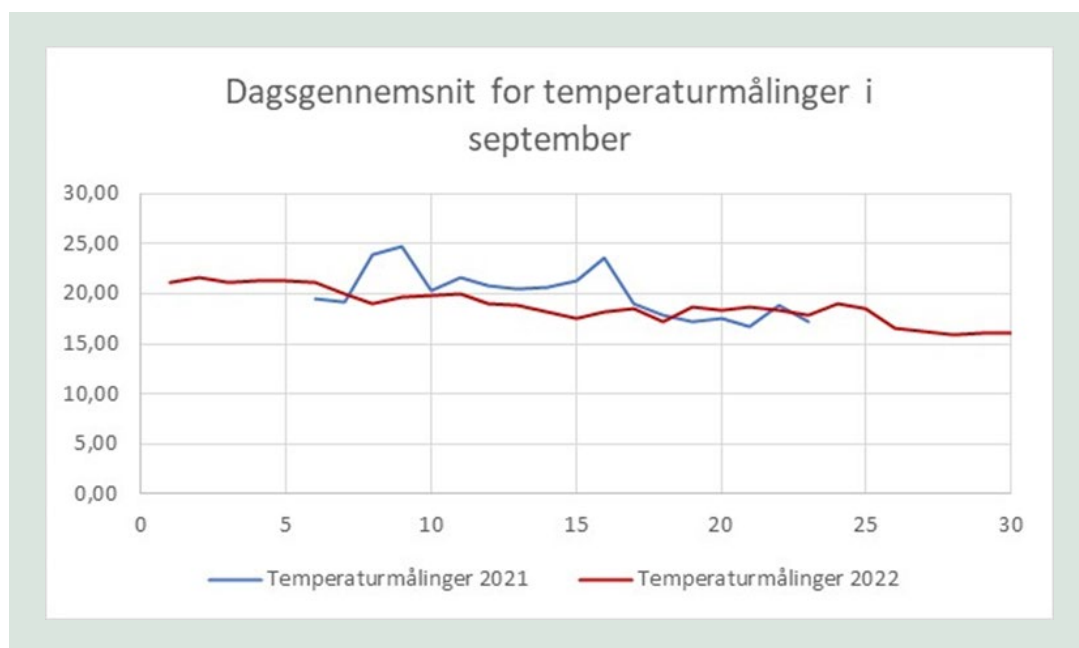
For at vurdere potentialet af den samlede digitale cloudstyring med automatisk rensegris, biofilter og kemidoserer, sammenlignes perioder fra før og efter installering af den automatiske styring.

For at mindske ukontrollerbare parametre benyttes den samme måned i hhv. 2021 og 2022. Der er for business casen valgt perioderne september 2021 og september 2022.

4.1.1 Sammenligning af ukontrollerbare parametre

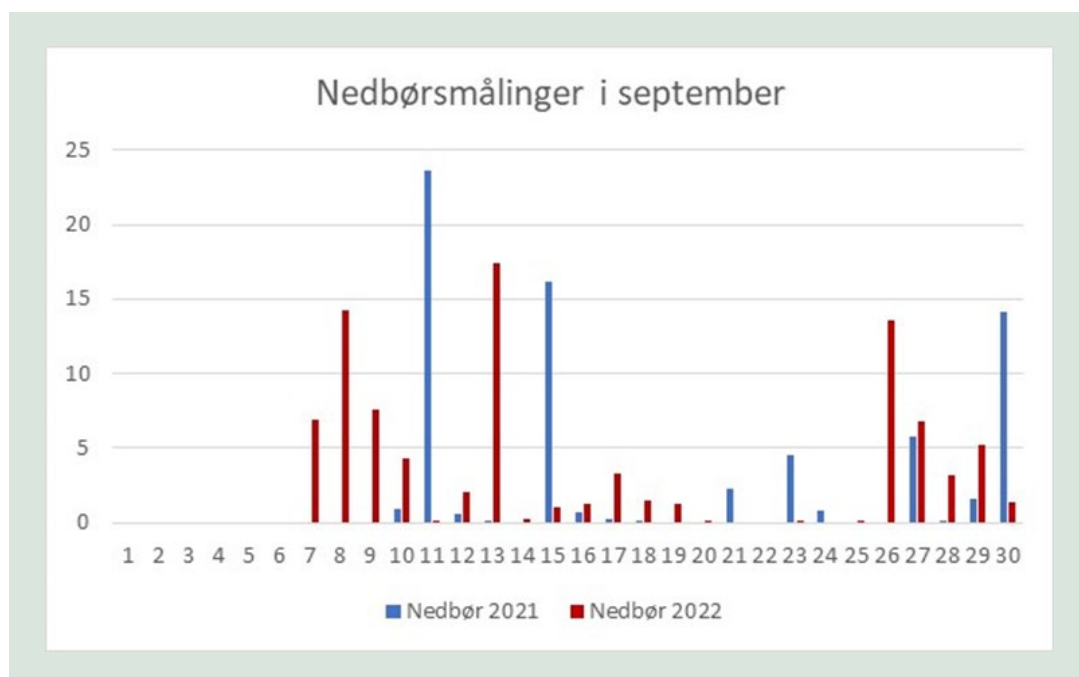
Dannelse af svovlbrinte er påvirket af mange faktorer, som kan have stor indflydelse på udsving i koncentrationen. Et udvalg af disse sammenlignes for de to perioder.

Først er temperaturen i kloakatmosfæren af oppumpningsbrønden sammenlignet. Temperatur kan have en stor indflydelse på de biologiske processer i spildevandet og dermed dannelse af svovlbrinte. Det ses at forskellen i temperatur er minimal for de to perioder, se FIGUR 15.

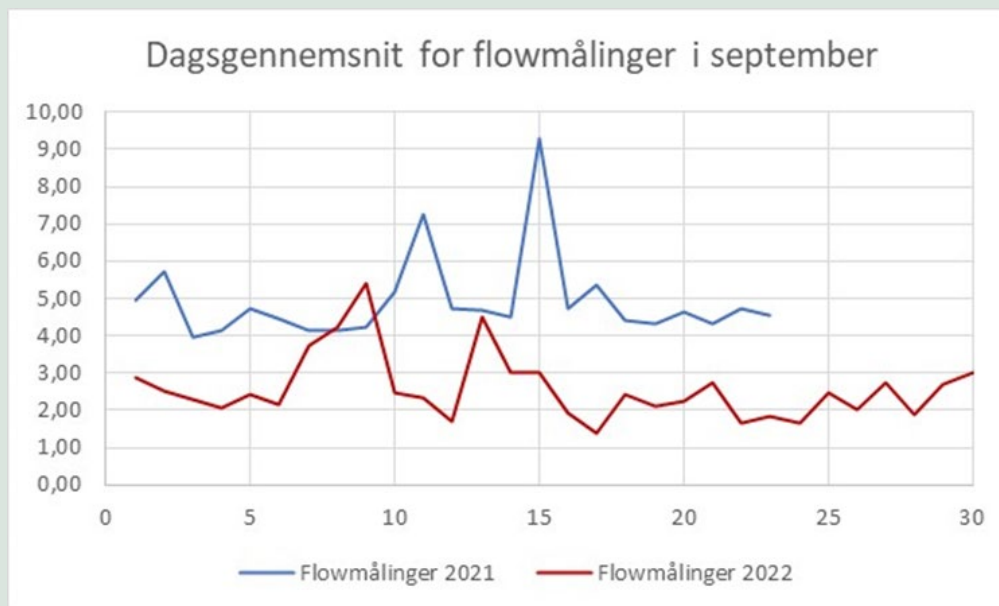


FIGUR 15. Sammenligning af målt temperatur i oppumpningsbrønd for de to perioder hhv. september 2021 og september 2022. Enheder [°C] som funktion af dag (*Consibio Cloud*).

Regnvand er et andet parameter, som kan påvirke svovlbrintekonzentrationen i trykledninger. Selvom oplandet er separatkloakeret, kan der være uvedkommende regnvand ved fejlkoblinger eller indsvivning i spildevandssystemet. Dette kan fortynde spildevandet samtidig med at det skaber et højere flow i spildevandsledningen. Ved at sammenligne de to perioder kan det konkluderes, at der har været 71 mm nedbør i 2021 og 91 mm i 2022, se FIGUR 16.



FIGUR 16. Sammenligning af målt nedbør i området for de to perioder hhv. september 2021 og september 2022. Enhed [mm] som funktion af dag (*DMI*).



FIGUR 17. Sammenligning af målt flow af spildevandstrømmen i oppumpningsbrønden. Enhed [m³/h] som funktion af dag (*Consibio Cloud*).

Flowmålingerne kan give et udtryk for opholdstiden i systemet. Jo lavere flow, jo større opholdstid, hvilket teoretisk forårsager mere svovlbrintedannelse. Gennemsnitligt har flowet været højere i september 2021 i forhold til 2022. Det forventes at det øgede flow i perioden 2021 medvirker til en mindsket svovlbrintekonzentration.

4.1.2 Anvendelse af rensegris

I perioden september 2022, hvor algoritmen i *Consibio Cloud* har defineret de svovlbrintenedbringende tiltag og dermed styring af Svendborg Motorværkstedes rensegris, har der ikke været behov for rensegrisafsendelse. Dette medfører manglende data for rensegrise herunder nødvendigt antal samt pris.

I afsnit 2.2 beskrives rensegrisens effekt baseret på miniforsøg. Her viser det at de coatede rensegrise nedsætter svovlbrintekonzentrationen i en tilfredsstillende grad.

4.1.3 Anvendelse af kemi

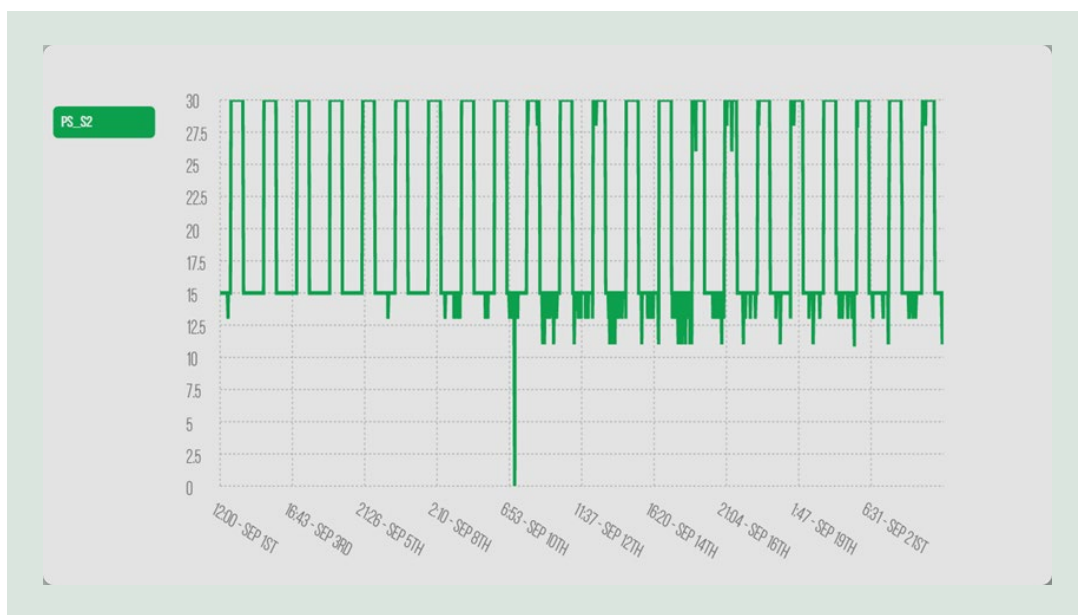
Kemidosering er sammenlignet i de to perioder, hvor doseringsniveauet i september 2021 er fastsat af Hedensted Spildevand, og af *Consibio Cloud* i september 2022.

Dosering er fastlagt som en procentuel ydeevne ift. kemidoseringspumpens maksimale ydeevne på 30 l/h.

For at udelukke prisudviklingen som en faktor, benyttes den samme kilopris for begge perioder. Der er benyttet en pris på 2,64 kr./kg calciumnitrat.

I perioden 1. september 2021 til 30. september 2021 har doseringsniveauet fast været på 15% ydelse 14 timer om dagen og 30% ydelse 10 timer om dagen. Dermed har dagsgennemsnittet for kemipumpeydelsen været 20,6%. Dette har været den generelle doseringsmængde for Hedensted Spildevand ved testlokationen.

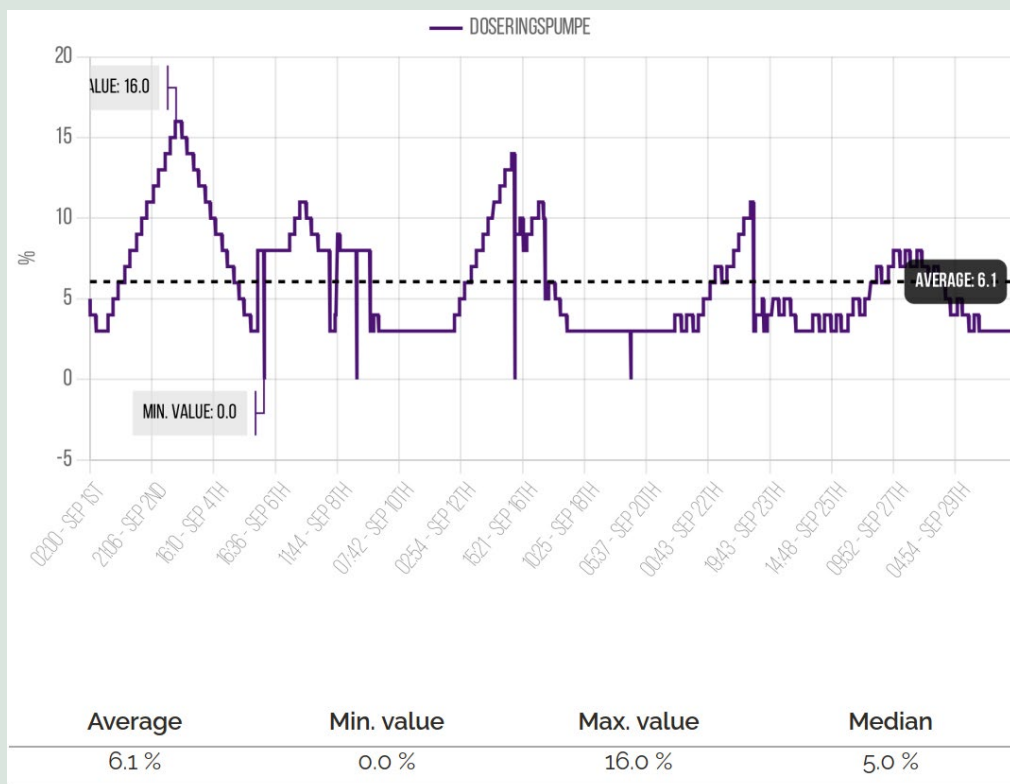
Den gennemsnitlige ydelse på 20,6% er svarende til 148,6 liter kemi pr. dag, som er 208 kg calciumnitrat. For hele september måned i 2021 svarer det til en udgift på 16.500 kr.



FIGUR 18. Doseringsydelse af kemitilsætning i perioden september 2021 (*Consibio Cloud*).

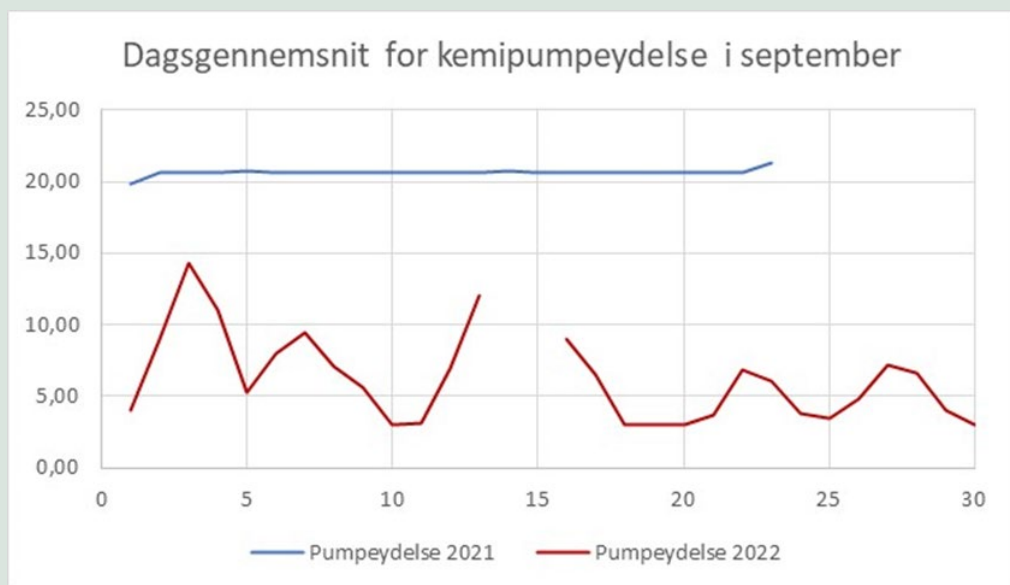
Til sammenligning har Consibio stået for styringen af kemidoseringen gennem perioden 1. september 2022 til 30. september 2022, dermed har kemidoseringen været variabel alt efter svovlbrintniveauet i systemet. Ydelsen har ligget i intervallet 3% til 16%, med et gennemsnit på 6,2%.

Ved at benytte en variabel dosering tilpasset svovlbrintniveauet er der et månedligt forbrug på 5.000 kr. for september.



FIGUR 19. Doseringsydelse af kemitilsætning i perioden september 2022 (*Consibio Cloud*).

Ved at sammenligne de to perioder ses en besparelse på 70% svarende til 11.500 kr.

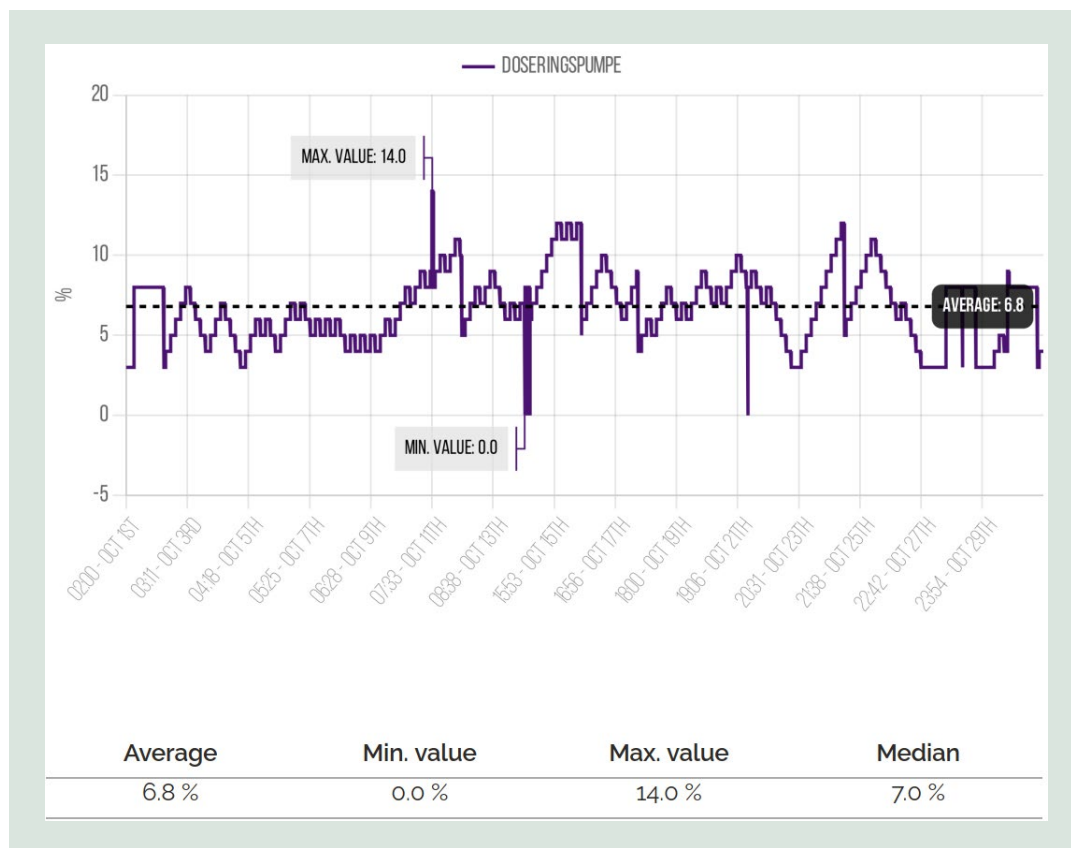


FIGUR 20. Sammenligning af doseringsydelse af kemitilsætning for perioderne september 2021 og september 2022. Enheden er [%] kemipumpens ydeevne ift. maks, som funktion af dag (*Consibio Cloud*).

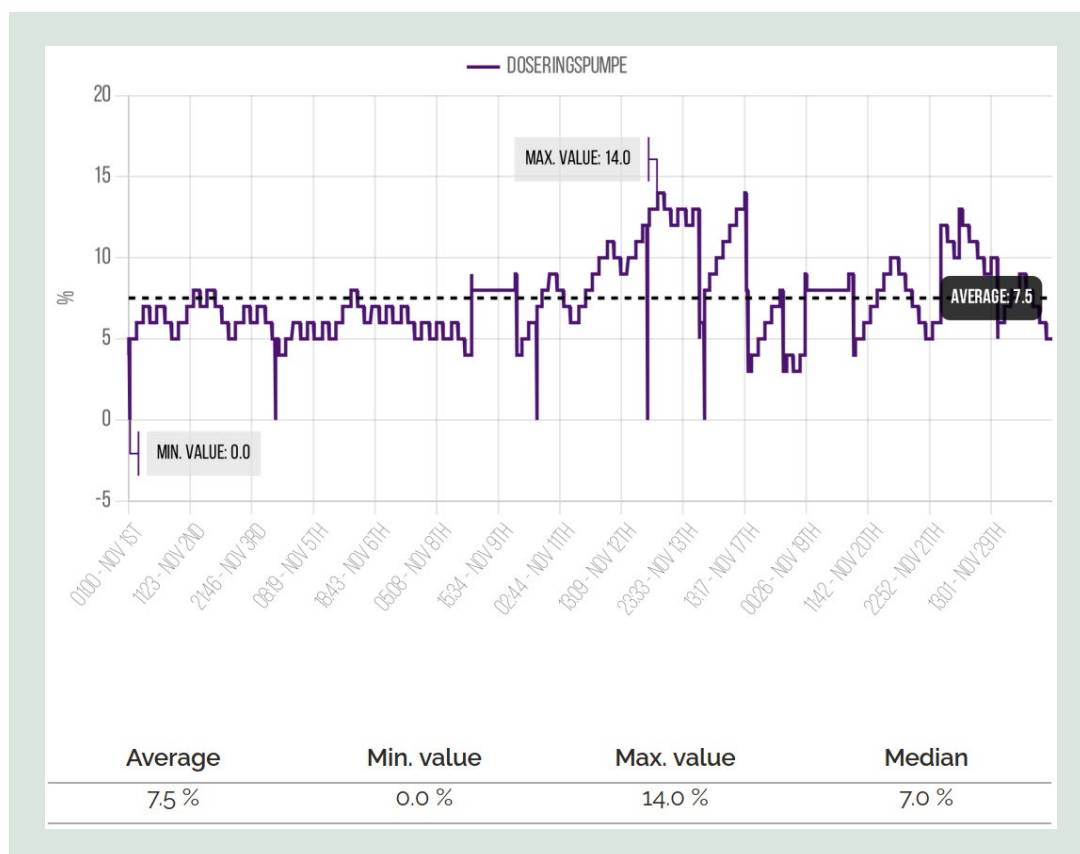
Kvantificering af kemidoseringsanalyse

For at kvantificere analysen benyttes yderligere to sammenligningsperioder, oktober og november 2022, hvor Consibio Cloud har styret kemidoseringsmængden. I samme periode i 2021 har den gennemsnitlige doseringsmængde per dag været 20,6 %, se FIGUR 18.

For både oktober og november 2022 ligger den dagsgennemsnitlige doseringsmængde på hhv. 6,8, se FIGUR 21, og 7,5 %, se FIGUR 22. Det giver et besparelsespotentiale på mellem 63,5 og 67%, svarende til mellem 10.500 og 11.000 kr.



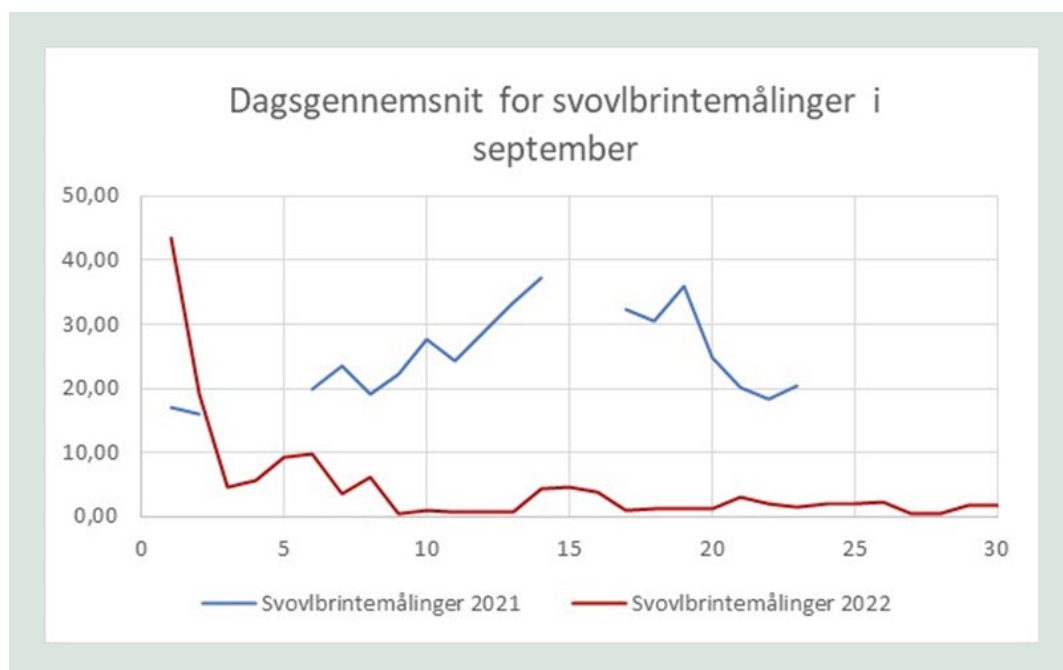
FIGUR 21. Doseringsydelse af kemitilsætning i perioden oktober 2022 (Consibio Cloud).



FIGUR 22. Doseringsydelse af kemtilsætning i perioden november 2022 (*Consibio Cloud*).

4.1.4 Sammenligning af svovlbrinteniveau

For at vurdere effekten af de algoritmestyrede svovlbrinteforebyggende tiltag betragtes koncentrationerne af svovlbrinte i oppumpningsbrønde ved de to perioder. Her kan en betydelig mindskning af svovlbrintekonzentration konstateres for september 2022 kontra 2021. Dette kan indikere, at algoritmestyringen har effektiviseret svovlbrinteforebyggelsen.



FIGUR 23. Sammenligning af målt svovlbrintekonzentration i biofilterets indtag i september 2021 og september 2022. Enhed [ppm] som funktion af dag (*Consibio Cloud*).

4.1.5 Arbejdsmiljø og klagehåndtering

Et af hovedformålene med projektet er at mindske lugtgener og dermed klager, samt at forbedre arbejdsmiljøet.

Ved Hedensted Spildevand forventes der 2-4 svovlbrinterelaterede klager årligt. Klagerne forventes at have en omkostning på omkring 4.500 kr. per år i forbindelse med administration og drift. Dette er forudsat at kemidoseringen opretholdes ved optimalt niveau. For større forsyningsselskaber, samt forsyningsselskaber der ikke opretholder samme forebyggelsesniveau, kan det forventes at der er et højere antal klager, og dermed er der potentiale for en større årlig besparelse.

Ved at benytte projektets kombination af overvågning, algoritmestyring og integrerede svovlbrinteforebyggende tiltag, kan lugtgener nedbringes. En alarm kan tilknyttes ved biofilterets luftudtag, således driften kan reagere på forhøjede svovlbrintekonzentration før der opstår en klage. Dette optimerer forhold for arbejdsmiljø, da udsættelse for u hensigtsmæssigt høje koncentrationer af svovlbrinte kan undgås i området omkring oppumpningsbrønden, og monitoreringen af svovlbrintekonzentrationen i filterets udtag vil kunne oplyse driftsmedarbejderen om risiko på forhånd.

5. Konklusion

Indledningsvist er der ud fra monitorering, korrelationer og estimeringer for svovlbrinteproduktion, gennemarbejdet en algoritme til forudsigelse af svovlbrinteniveau i oppumpningsbrønden.

Ved registrering af målte data i spildevandssystemet og algoritme-forudsigelse af svovlbrinteniveau, er der udviklet og testet en digital platform, Consibio Cloud, der kan styre samspillet mellem forskellige svovlbrinteforebyggende tiltag. Dette indebærer at prioritere mellem doseringsmængden af kemi og afsendelse af rensegris. Vægtningen er baseret på økonomi, hvor der prioriteres kemidosering indtil en vis pris, hvorefter det vægtes at være nødvendigt med afsendelse af rensegris for at rense systemet i bund. For at sikre at vægtningen samtidig tager højde for minimering af lugtgener, er en alarm indsat ved en forud fastsat øvre grænse for målt svovlbrintekonzentration [ppm] i udtaget på BBK Bio Airclean's biofilter. Med den digitale platform er det også muligt at overvåge alle sensorer og kunne reagere ved nedbrud.

En coated rensegris er udviklet succesfuldt af Svendborg Motorværksted, og forebyggelse ved hjælp af rensegrisafsendelse er blevet optimeret. Det er blevet dokumenteret gennem miniforsøg, at rensegris har en betydelig indvirkning på biofilmen i trykledninger og svovlbrinteproduktionen, hvor den udviklede rensegris med coating af slibemiddel driftssikkert kan nedbringe biofilm i ledninger.

Den automatiske afsendelse af rensegris er optimeret gennem videreudvikling af magasin til opbevaring af rensegris og afsendelsesløsning ved pumpestationen. En ny version af magasinet kan opbevare både bløde og coatede rensegris, hvilket forenkler driften.

Biofilter udviklet af BBK Bio Airclean til rensning af kloakluft, er videreudviklet og optimeret til brug ved oppumpningsbrønde i kloaksystemer. Filteret er gjort mindre og dermed mere mobilt, hvilket forøger muligheden for implementering, trods begrænset plads.

Ved at implementere biofilter til rensning af kloakluft er det muligt at håndtere spidsbelastninger af svovlbrinte, som har vist sig at kunne yde over 95% rensning af svovlbrinte i kloakluften. Biofilteret kan samtidig øge besparelsen på kemidosering, da denne kan korrigeres efter biofilterets kapacitet. Biofilterets sammensætning er i projektet blevet optimeret, hvor der sikres lavt tryktab og høj kontaktoverflade til omdannelse af svovlbrinte. Levetiden kan opretholdes ved gødning og pH-regulering, hvorfor det har potentiale til at blive en lang og holdbar metode.

Gennem projektet er der dokumenteret tiltag, der kan give en besparelse på op til 70% kemidosering, ved at nedjustere doseringsmængden ud fra automatisk vurdering af behov. Dermed mindskes den totale driftsomkostning for kemitilsætning uden at forværre svovlbrinteproblematikkerne.

Cloudstyringen er testet i et begrænset omfang og ved én testlokation. Det har vist positiv effekt ved testlokationen og med stort potentiale for videreudvikling og etablering hos danske forsyningsselskaber. For at kende det mere nøjagtige besparelsesniveau ved brug af digital cloudstyring i samspil mellem rensegris, biofilter samt intelligent kemistyring, kræves en længere testperiode samt flere testlokationer. Desto mere den integrerede løsning bliver udbredt, desto mere feedback vil algoritmen få og dermed vil den økonomiske besparelse kunne øges.

6. Perspektivering

Projektet har været begrænset af manglende rensegrisaftandelse under perioden, hvor Consibio Clouds algoritme har styret valg af forebyggende tiltag. Derudover vil vurdering af besparelspotentiale gavne af bredere sammenligningsgrundlag, der er baseret på en længere kontinuert periode, hvor udsving og differencer i større grad kan afkodes.

Ved en længere periode til test af det integrerede system, er det interessant at se på hvad tilbagebetalingstiden er for hver af de implementerede løsninger, og om andre faktorer giver betydelige spidsbelastninger af svovlbrinte.

I projektet er der betragtet enkelte ledningsstrækninger, men en helhedsbetragtning af ledningerne i forlængelse af hinanden vil være fordelagtigt, da en fejlvurdering af kemidoseringsen på en strækning kan lede til, at det nedstrøms system påvirkes af overskydende svovlbrinte.

Et andet aspekt, der er interessant at dykke ned i, er levetiden på anlæg, som forlænges ved fjernelse af svovlbrinteproblematikker. Dette leder til endnu et besparelspotentiale men kræver længerevarende forsøg for at belyse.

Ved at facilitere en videre proces ud fra de givne målsætninger, vil man kunne komme helt i dybden med de økonomiske fordele, der er ved hver af løsningerne.

I projektet var det forventet at der ville være en tilbagebetalingstid på 3-4 år. Ud fra de skønnede prissætninger på Consibio, Svendborg Motorværksted og BBK Bio Airclean's løsninger er den samlede anlægspris på op imod 500.000 kr. De samlede driftsomkostninger på løsningerne er omkring 30.000 kr. årligt.

Ud fra de tre måneders data fra testlokationen ved Hedensted Spildevand, kan en antaget tilbagebetalingstid beregnes, baseret på besparelsen på kemi på gennemsnitligt 11.000 kr. om måneden. Dette giver en tilbagebetalingstid på 4,8 år. Det er dog svært at konkludere at dette vil være gældende, da der mangler vurdering af flere perspektiver og faktorer.

7. Litteratur

Miljøstyrelsen. (1988). Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger. Miljøprojekt nr. 96

Integreret digital svovlbrinteforebyggelse i lange kloakledninger - MUDP-projekt

I perioden fra november 2020 til december 2022 har Sweco A/S i samarbejde med Consibio ApS, Svendborg Motorværksted ApS, BBK Bio Airclean A/S og forsyningsselskaberne Svendborg Vand & Affald A/S, FFV Energi & Miljø A/S samt Hedensted Spildevand A/S gennemført projektet "Integreret digital svovlbrinteforebyggelse i lange kloakledninger". Formålet var at udvikle en teknologi, hvor svovlbrinteforebyggelsen kan styres med en nyudviklet cloudløsning, hvor målet var at minimere omkostningerne relateret til svovlbrintedannelse i spildevandspumpestationer. Dette blev opnået gennem udvikling af ét digitalt system, som styrer samspillet mellem svovlbrinte, kemidosering, rensegris til fjernelse af biofilm og biofilter til håndtering af spidsbelastninger. Gennem projektet blev der videreudviklet og optimeret på automatisk rensegrisafsendelse inklusive opbevaringsmagasin, samt en coatet rensegris. Et kompakt og effektivt biofilter blev udviklet, hvor en optimal sammensætning mellem bakteriekultur, leca og kompost blev testet og defineret. Projektet var støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk