



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Hybridfilter for fjernelse af lugt- og drivhusgasser fra septiktanke og iltfri spildevandsnet

MUDP-rapport

Maj 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Asbjørn Haaning Nielsen

Jes Vollertsen

Jørgen Højmark

Marta Simon

Elise Alice Rudelle

Fotos:

Asbjørn Haaning Nielsen

ISBN: 978-87-93710-18-4

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

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Sammenfatning</b>	<b>4</b>
<b>1. Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2. Filterprodukter fra Hybridfilter A/S</b>	<b>7</b>
2.1 Hybridfilter brøndkarmsfilter	7
2.2 Mini kulfilter	9
<b>3. Randbetingelser og designgrundlag</b>	<b>10</b>
3.1 Udvikling af metode til måling af luftudskiftning.	10
3.2 Iltfrie ledningsnet	11
3.3 Septiktanke	13
<b>4. Sorptions- og nedbrydnings-processer i filterelementer</b>	<b>17</b>
4.1 Forsøg med svovlbrintegas under kontrollerede forhold	17
4.2 Metanadsorption	19
4.3 Reducerede flygtige organiske svovlforbindelser	20
<b>5. Feltundersøgelser af gasfjernelse</b>	<b>22</b>
5.1 Feltundersøgelser i Krogsbølle	22
5.2 Feltundersøgelser i Hjarup	24
5.3 Gasfjernelse fra septiktanke	24
<b>6. Konstruktion og afprøvning af prototype</b>	<b>26</b>
<b>7. Konklusion</b>	<b>27</b>
<b>Litteratur</b>	<b>28</b>

# Sammenfatning

I perioden fra januar 2016 til december 2017 har virksomheden Hybridfilter A/S i samarbejde med Institut for Byggeri og Anlæg ved Aalborg Universitet gennemført projektet "Hybridfilter for fjernelse af lugt- og drivhusgasser fra septiktanke og iltfri spildevandsnet". Projektet var støttet af MUDP og havde til formål at udvikle filterløsninger, der med ét filter kan reducere frigivelse af både lugt- og klimagasser fra spildevandssystemer.

Indledningsvis blev baggrundsniveauer for frigivelse af lugt- og klimagasser undersøgt i både iltfrie spildevandsledninger og septiktanke. Dette var nødvendigt for at etablere det nødvendige designgrundlag for filtrene. Særligt i forhold til frigivelsen af klimagasser er der meget begrænset baggrundsviden omkring frigivelse under danske forhold. I spildevandsledningerne blev der konstateret høje koncentrationer af ildelugtende svovlbrintegas. Gassen blev i særlig grad frigivet i forbindelse med pumpning, hvor der også samtidig sker en betydelig udveksling af luft igennem åbninger i kloaksystemet. I septiktankene blev der ikke på noget tidspunkt konstateret svovlbrinte i afkastluften. Her blev der derimod konstateret metan i forhøjede koncentrationer i forhold til baggrundsniveauer. Metanfrigivelsen fra septiktanke blev vurderet til at være i størrelsesordenen 0,7 g metan per person per dag. For de iltfrie spildevandsledninger var de målte metanniveauer mere usikre, men resultaterne peger på at frigivelsen her er væsentlig mindre end for septiktankene. Samlet vurderes det, at der kun sker en meget lille dannelse af metan fra det organiske stof, der bortledes med spildevand fra husstande og industrier.

Der blev i projektet testet to filtertyper. Dels et mindre aktivt kulfilter til montering på udluftningen fra septiktanke, minirenselanlæg o.l., samt en filtermåtte, som er designet til at stimulere gasfjernelse ved en kombination af adsorption og biologisk omsætning. Hybridfiltermåtten er således imprægneret med både aktivt kul, næringsstoffer og mikroorganismer og tiltænkt anvendelse i almindelige spildevandsledninger.

Begge filtertyper viste i laboratorie- og feltmålinger et stort potentiale for at tilbageholde og omsætte ildelugtende og giftig svovlbrintegas. Detaljerede undersøgelser af hybridfiltermåtten demonstrerede, at et enkelt brøndkarmsfilter kan behandle mange tusinde m<sup>3</sup> luft med et betydeligt svovlbrinteindhold før dets kapacitet er opbrugt. Det blev dokumenteret, at filterets kapacitet er styret af pH værdien af det aktive kul. I takt med at der optages og omsættes svovlbrinte sker der en dannelse af svovlsyre. Dette medfører, at pH værdien med tiden bliver så lav at den biologiske aktivitet inhiberes. Filtrenes evne til at tilbageholde og fjerne metan fra afkastluft fra spildevandssystemer blev fundet til at være meget begrænset. Dette var også tilfældet under forhold, hvor filtrene ikke udsættes for svovlbrinte og dermed forsures. Udover effektivt at kunne fjerne svovlbrinte, viste undersøgelserne, at filtermaterialerne også har en god evne til at fjerne organiske reducerede svovlforbindelser, der både er ildelugtende og som også har en klimaeffekt.

Der er på baggrund af projektets resultater er der blevet udviklet en prototype på et nyt filterprodukt. Hybridfilter A/S vil i samarbejde med producenten af filterelementerne videreudvikle dette til et kommercielt produkt. Det nye filter er i særlig grad tiltænkt anvendelse ved pumpestationer, hvor det kan beskytte pumpehus/bygværk og personale mod høje koncentrationer af giftig svovlbrinte og ildelugtende reducerede svovlforbindelser.

# 1. Indledning

I det åbne land ledes det meste spildevand til septiktank med efterfølgende nedsivning. Et stadigt stigende antal ejendomme tilsluttes dog det offentlige spildevandsnet med et system, hvor hver enkelt har sin egen pumpe, der sender spildevandet ind på et tryksat ledningsnet. I modsætning hertil afleder byerne primært deres spildevand i gravitationsledninger, hvor det strømmer af sig selv til renseanlægget.

Denne forskel i håndtering har stor betydning for de biologiske processer i spildevandet. Kort fortalt er danske byers spildevand primært aerobt (iltet), mens det åbne lands spildevand primært er anaerobt (ilfrit). Under anaerobe forhold omsættes organisk stof i spildevandet først ved sulfatreduktion og fermentation, og siden metandannelse. Mens de første processer fører til bl.a. lugtproblemer, fører den sidste til dannelse af drivhusgasser.

Problemer med lugt og svovlbrinte kan løses på mange måder, men især i forbindelse med septiktanke, tryksatte systemer, pumpestationer og oppumpningsbrønde er det hensigtsmæssigt at rense den afkastede luft. I dag findes der filtre, der løser dette lugtproblem effektivt og økonomisk. Der er dog ingen filtre på markedet, der i lille og mellemstor skala samtidigt løser problemet med drivhusgasser.

Hybridfilter A/S har i samarbejde med Fritzmeier Umwelttechnik i Tyskland udviklet og implementeret et filterkoncept, der passer til såvel de mindste som de mellemstore luftafkast. Disse filtre er baseret på en kombination af sorption og bionedbrydning, og fjerner effektivt og økonomisk lugt og svovlbrinte fra kloakluft. I nærværende projekt har fokus været at videreudvikle dette filterkoncept, så det ud over at løse den primære opgave – lugtproblemet – også kan løse problemet med drivhusgasser. Målet har været at opnå dette uden merpris for kunden. Sidstnævnte er væsentligt, da kundernes primære motivation for at installere et filter er at løse lugtproblemet, og fjernelse af drivhusgas alene opfattes som en ekstra fordel ved det konkrete filter. Ved at kombinere lugt- og drivhusgasbekæmpelse er det vores forventning, at fjernelse af drivhusgasser fra septiktanke og det åbne lands tryksatte systemer kan adresseres økonomisk og effektivt, da det løses implicit med lugtfjernelsen. Miljøeffekten af tiltaget bliver derfor, at drivhusgasser fjernes som en sidegevinst, når man alligevel har behov for at fjerne lugt. Der findes en lang række filterteknologier, der adresserer sorption og nedbrydning af svovlbrinte og andre lugtstoffer. De primære teknologier er aktiv-kul filtrering, kemisk skrubning og biofiltrering, der alle er velundersøgt og -dokumenteret i den internationale litteratur. Der er dog kun beskeden viden om hvordan disse teknologier samtidigt kan nedbryde metan (se fx Kennelly m.fl., 2012). En af udfordringerne er, at oxidationen af svovlbrinte – et af de vigtigste lugtstoffer i septiktanke og afløbssystemer – er stærkt syredannende (se fx Vollertsen m.fl., 2008). Surhedsgraden i et svovlbrinteoxiderende biofilter kommer hurtigt langt under pH 5, og inhiberer herved de mikroorganismer, der er i stand til at omsætte metan og lattergas. En anden udfordring er, at metan kun i ringe grad binder til aktivt kul, og at der derfor ikke kan opnås samme kemiske retention, som der kan for svovlbrinte og andre ildelugtende stoffer.

Så længe der ikke er et lovkrav herom, er det vanskeligt at forestille sig, at husejere eller de selvejende kloakforsyninger, etablerer teknologi alene med det formål at fjerne drivhusgasser fra septiktanke og andre spildevandssystemer. Det er derfor nærliggende at integrere fjernelsen af drivhusgasser i teknologier, der i forvejen anvendes der, hvor drivhusgasserne forekommer. Sådant teknologi findes og anvendes i dag til bekæmpelse af lugt fra septiktanke og anaerobe dele af afløbssystemet. Kloaklugt kan være en væsentlig gene for naboer og forbi-passerende, og der installeres derfor hyppigt lugtfiltere til afhjælpning heraf.

På sigt, og ud over Danmarks grænser, er der et stigende fokus på reduktion af lugt- og drivhusgasser også fra de mange små og spredte kilder. Septiktanke og pumpeledninger hører til i denne kategori, og vi forventer derfor, at et lugtfilter der samtidigt – og uden meromkostning – fjerner drivhusgasser, vil være attraktivt mange steder. Det skal her bemærkes, at mens lugt fra spildevandssystemer kan være ganske generende under danske forhold, så er det mange gange værre under mere sydlige himmelstrøg. Teknologien har derfor et ikke uvæsentligt potentiale for at opnå stor udbredelse og dermed væsentlig effekt.

## 2. Filterprodukter fra Hybridfilter A/S

Der er i projektet taget udgangspunkt i den eksisterende produktportefølje fra Hybridfilter A/S, som har filtre der kan behandle både små og store luftafkast. Der er således gennemført undersøgelser med Hybridfilter brøndkarmsfiltre og mini kulfiltre. Undersøgelser der har været rettet mod iltfrie ledningsnet har benyttet brøndkarmsfiltre og undersøgelser af gas-frigivelse fra septiktanke har benyttet mini kulfiltre.

### 2.1 Hybridfilter brøndkarmsfilter

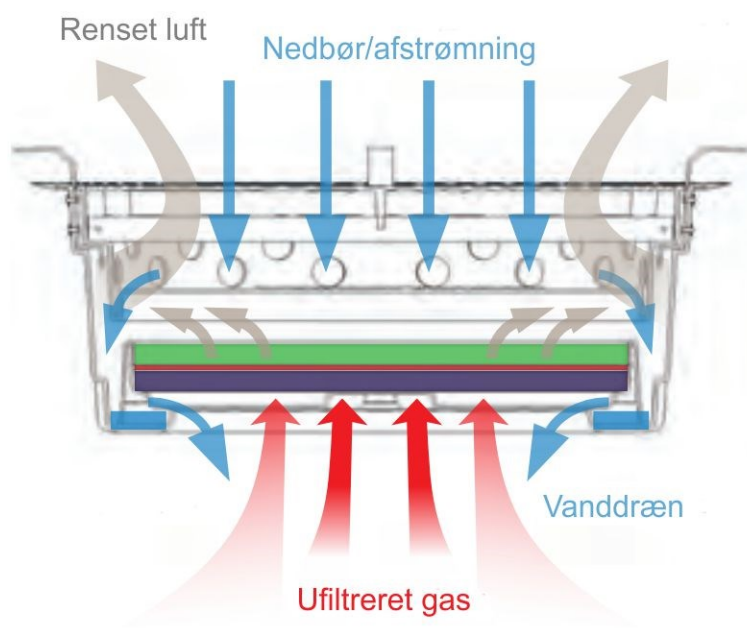
Brøndkarmsfilteret fra Hybridfilter A/S er udviklet til montering i 600 mm brøndkarne, som er en standard dimension i det offentlige kloaksystem. Filterenheden består af flere elementer og produceres i Tyskland af virksomheden Fritzmeier Umwelttechnik. Figur 1 viser opbygningen af et brøndkarmsfilter.



**Figur 1. Opbygning af et brøndkarmsfilter (modificeret fra Fritzmeier Umwelttechnik, 2018)**

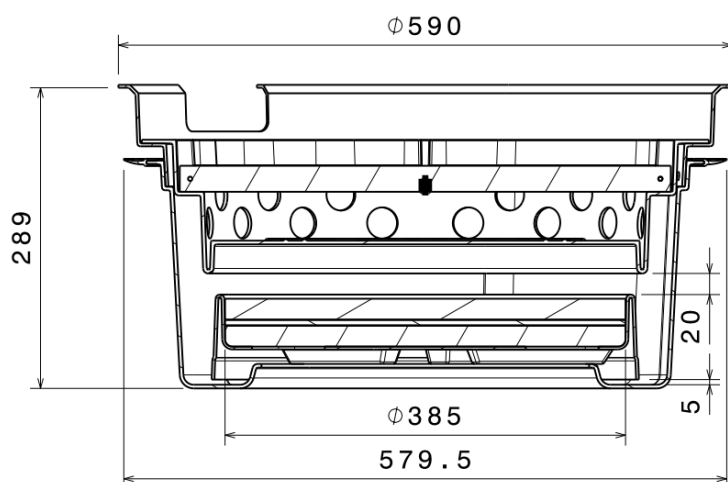
Øverst i filterenheden er der installeret et løvfang, der sikrer, at filteret ikke dækkes med blade, sand og andet materiale fra overfladen. Det underliggende filter er opbygget af tre dele, som er limet sammen til en enhed. Den nederste del er en gasfordelermåtte, der har til formål at sikre en jævn fordeling af luftbevægelsen igennem de overliggende filterelementer. Dernæst er der monteret en såkaldt ITS måtte, der bl.a. er imprægneret med "pakker" med næringsstoffer, der er vigtige for den biologiske omsætning af lugt- og klimagasser. Den øverste del af filteret er selve hybridmåtten, der er coatet med cirka 500 gram aktivt kul, og mikroorganismer, som ifølge producenten har til formål at bidrage til omsætningen af lugtgasserne. Filtermåtterne har en høj porøsitet, hvilket sikrer en næsten uhindret luftudskiftning af kloakken. Tykkelsen af de enkelte lag i filteret er 20 mm for hybridmåtten og gasfordelermåtten. ITS måtten består af et vævet materiale med en tykkelse på cirka 1 mm. Under filtermåtterne er der installeret en

sifon, der sikrer, at kloakken kan bortlede overfladevand uden samtidig at gennemvæde filteret. Figur 2 viser de mulige gas og vandstrømme igennem et hybridfilter.



**Figur 2. Vand- og gasstrømme i et brøndkarmsfilter. Modificeret fra Fritzmeier Umwelttechnik (2018).**

Alle delene er monteret i en tætsluttende brøndring, der installeres øverst i kloakbrønden. Den fysiske størrelse af filterenheden er vist i Figur 3.



**Figur 3. Teknisk illustration af filterenheden (Fritzmeier Umwelttechnik, 2018).**

Hybridfiltrene er tiltænkt installation under et kloakdæksel, der ikke begrænser den naturlige ventilation væsentligt. Udluftning af kloakken gennem dækslerne kan have flere fordele. Det vil dels kunne reducere luftfugtigheden i kloakken i visse perioder af året, hvorved kondensation af vand på de korroderende overflader reduceres. Dette vil forringe de fysiske forhold for de svovlsyredannende mikroorganismer. Ligeledes vil den forøgede ventilation kunne reducere korrosionshastigheden lokalet, idet den svovlbrinteholdige luft udbredes over en længere strækning. Særligt omkring oppumpningsbrønde vil en uhindret udluftning af kloakken gennem dækslerne kunne reducere risikoen for udsugning af vandlåse i ejendomme.



## 2.2 Mini kulfilter

Mini kulfiltrene er designet til lugtfjernelse fra septiktanke, min-reuseanlæg o.l. Filteret kan monteres på mufteenden af et Ø75 mm eller Ø110 mm rør, som typisk anvendes til udluftning af sådanne systemer. Filteret består af en slagfast beholder i plast, som fyldes med cirka 210 gram aktivt kul i pilleform. Over kulpillerne er der monteret en perforeret plade, der har til formål at sikre en jævn fordeling af luftgennemstrømningen. Øverst på filterenheden er der monteret et låg, der beskytter kulpillerne mod nedbør, men samtidig tillader uhindret luftudskiftning. Kulpillerne er stavformede og har en diameter på 4 mm og en længde på cirka 5 til 10 mm. I modsætning til brøndkarmsfilteret er mini-kulfilteret hverken imprægneret med mikroorganismer eller næringsstoffer. Figur 4 viser et foto af et mini kulfilter fra Hybridfilter A/S.



**Figur 4. Foto af et mini kulfilter.**

Det anbefales normalt fra producenten af septiktanken, at både tilløbsrør og tank udluftes. Ofte vil udluftningen af begge dele være tilsluttet samme rør. Mindre tanke kan udluftes via tilløbsrøret.

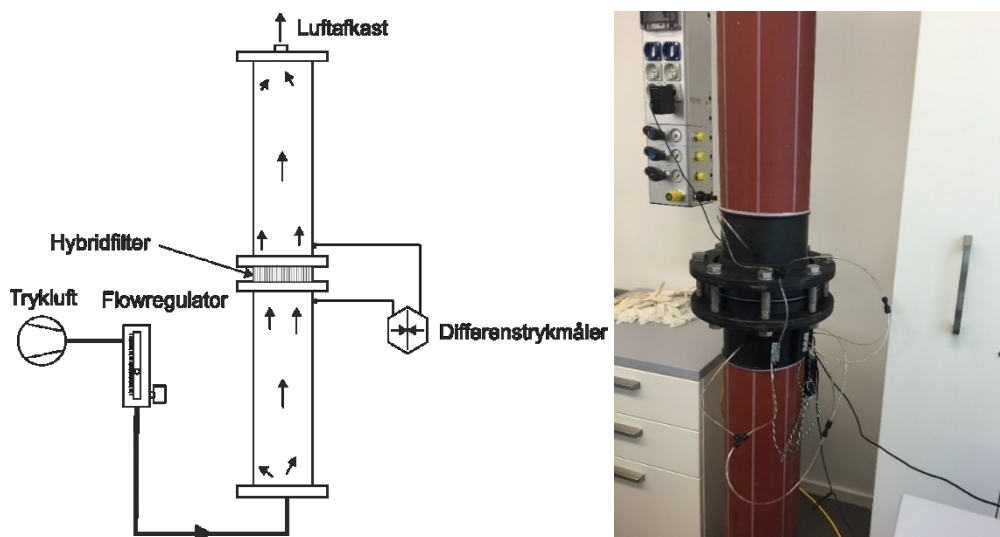
## 3. Randbetingelser og designgrundlag

Der findes kun meget lidt viden om luftmængderne, der afkastes fra septiktanke, tryksatte systemer, oppumpningsbrønde og pumpestationer, samt hvad luften indeholder af problematiske gasser. Samtidigt vides fra teoretiske betragtninger i kombination med målinger i afløbssystemer, at afkastets flow og stofindhold varierer meget over tid. Viden om størrelserne og den tidlige variation er dog behæftet med ganske stor usikkerhed, og er utilstrækkelig til en optimal dimensionering af en filterløsning.

Det er afgørende for en korrekt dimensionering at kende disse randbetingelser. For at tilvejebringe denne nødvendige viden har der været gennemført undersøgelser i iltrfri ledningsnet i det åbne land. Undersøgelserne er foretaget i oppumpningsbrønde, hvor der i forvejen er installeret brøndkarmsfiltre fra Hybridfilter A/S. Der har desuden været gennemført målekampagner i to septiktanke tilsluttet enkelt-husstande i det åbne land. For begge typer spildevandssystemer er der lavet målinger af svovlbrinte, drivhusgasser samt af luftafkast.

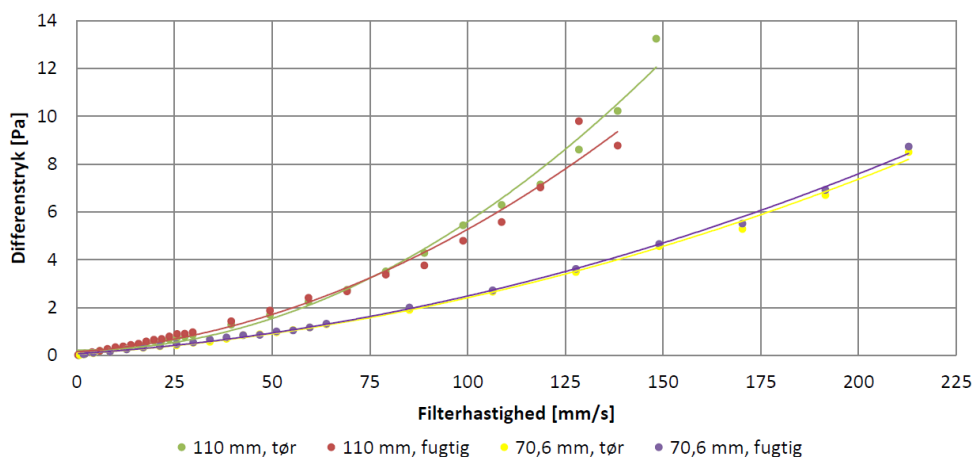
### 3.1 Udvikling af metode til måling af luftudskiftning.

En af de store udfordringer ved måling af fjernelse af lugt- og drivhusgasser i filterelementerne har været at bestemme luftudskiftningen. I både septiktanke og spildevandsnet er luftudskiftningen styret af små trykforskelle mellem udeluften og lufttrykket inde i beholderen/ledningerne. Erfaringer fra udlandet har vist, at trykforskellene typisk er i størrelsesordenen nogle få pascal (mindre end 1 mm vandsøjle). Lufthastighederne er derfor ofte så lave, at de ikke kan måles med traditionelle teknikker, som benytter vinge-anemometre eller *hot-wire* anemometre. Sidstnævnte er den mest følsomme metode og benytter afkølingen af en metaltråd til at bestemme lufthastigheden. Med denne teknologi er det muligt at måle hastigheder ned til cirka 0,1 m/s, hvilket dog kun sjældent overskrides i praksis. På den baggrund har der i projektet været udviklet en målemetode til estimering af luftafkast baseret på registrering af trykforskelle. Metoden er kalibreret for filterindsatser til både septiktanke og til kloakbrønde. For at måle luftudskiftningen i systemer uden filtre er metoden ligeledes kalibreret for trykforskelle, der opstår igennem en indsnævring af flowvejen. I praksis har dette været gennemført ved at indsætte en perforeret plade i flowvejen igennem hvilken luftudskiftningen er foregået. Hulstørrelsen har været nogenlunde svarende til løftehullerne i et almindeligt kloakdæksel. Det vurderes derfor ikke, at metoden har påvirket luftudskiftningen væsentligt. Figur 5 viser måleprincippet (t.v.) samt et foto af den anvendte forsøgsopstilling (t.h.).



**Figur 5. Illustration (t.v) og foto (t.h.) af forsøgsopstilling til måling af tryktab igennem filtermætte eller indsnævring ved forskellige luftflow.**

Forsøgene har været gennemført ved forskellige temperaturer og luftfugtigheder, således at den empiriske sammenhæng også har kunnet anvendes i forbindelse med feltmålinger. Figur 6 viser eksempler på sammenhørende målinger af luftflow og trykforskel over et hybridfilter. I forsøgene er der testet filterudsnit af forskellig størrelse og forsøgene er gennemført med både tør og fugtig luft.



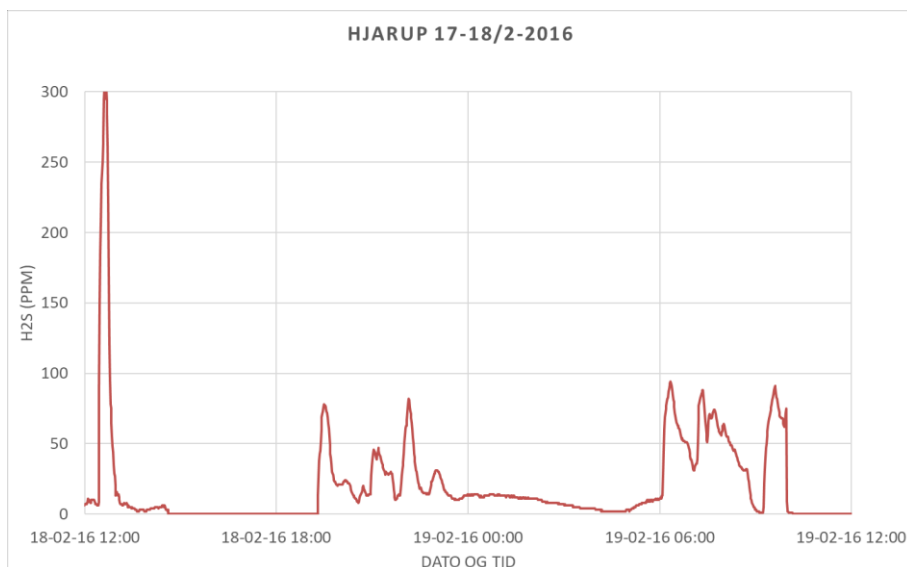
**Figur 6. Sammenhænge mellem luftflow (filterhastighed) og differenstryk for forsøg med filterudsnit med diametre på hhv. 70,6 og 110 mm, med tør og fugtig luft (Mogensen, m.fl., 2017).**

På baggrund af målingerne er der opstillet empiriske sammenhænge mellem trykforskel og filterhastighed, som efterfølgende er blevet benyttet til at estimere luftudskiftningen i feltmålinger, hvor der er registreret trykforskel hen over filtrene.

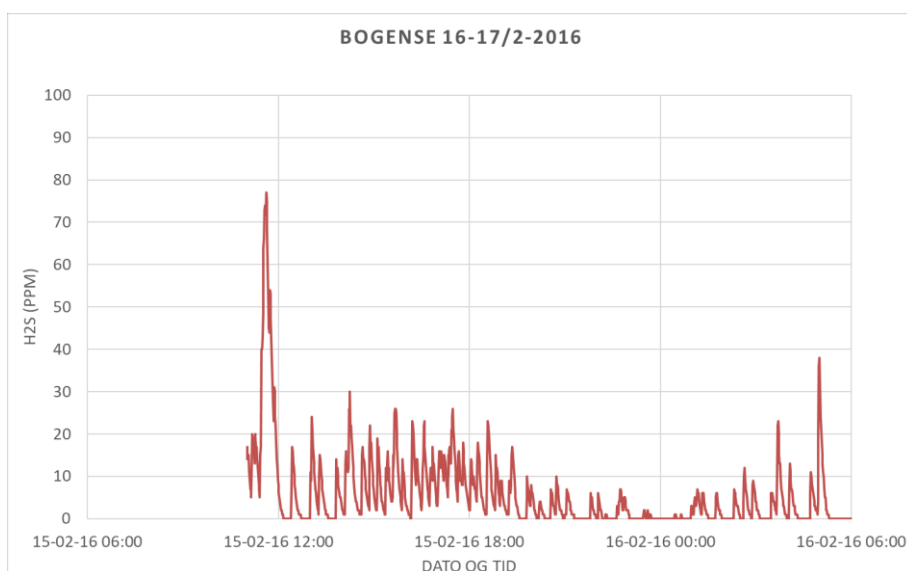
### 3.2 Iltfrie ledningsnet

Der har indledningsvis i projektet været gennemført feltmålinger af svovlbrinte- og metanindhold i kloakatmosfæren nedstrøms for lange trykledninger i det åbne land. Målingerne har været udført på to lokaliteter nær Kolding (Hjarup og Aller) og ved en lokalitet nær Bogense på Nordfyn. På alle lokaliteterne har der i måleperioden været installeret Hybridfilter brøndkarms-

filtre i oppumpningsbrønden. Svovlbrinte-indholdet i gasfasen blev målt on-line med elektrokemiske gasmålere (Odalogger) igennem en periode på cirka 2 døgn på hver station. Metan blev målt ved hjælp af gaskromatografi med flamme-ioniserings detektor (GC-FID) på stikprøver, som blev udtaget i forbindelse med opsætning og nedtagning af svovlbrintemålerne. Der blev udtaget stikprøver til metanbestemmelse fra både gasfasen og fra spildevandet. Spildevandsprøvernes sulfidindhold blev desuden analyseret ved methylenblå-metode. På alle måledagene blev der fundet høje koncentrationer af svovlbrinte i kloakatmosfæren på alle lokaliteter. Der blev således målt svovlbrintekoncentrationer op til 300 ppm i gasfasen, hvilket er kendetegnet ved en kraftig lugt og som samtidig kan være sundhedsskadelig. Generelt udviste målingerne stor dynamik og høje svovlbrintekoncentrationer var sammenfaldende med perioder med pumpedrift (Figur 7 og 8).



**Figur 7. Eksempel på målte svovlbrintekoncentrationer i oppumpningsbrønd ved Hjarup nær Kolding.**

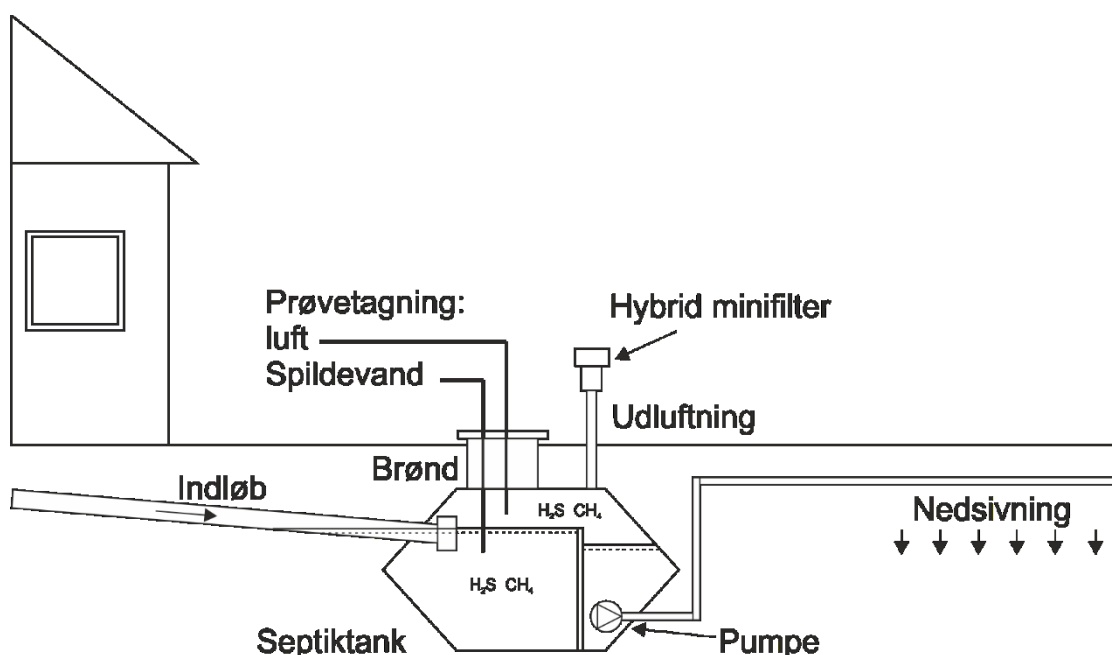


**Figur 8. Eksempel på målte svovlbrintekoncentrationer i oppumpningsbrønd ved Bogen på Nordfyn.**

Resultaterne af metan-målingerne viste koncentrationer op til cirka 1000 ppm i gasfasen ved prøvestation i Hjarup. Metan er cirka 70 gange mere flygtigt end svovlbrinte, så en koncentration på fx 1000 ppm kan opnås ved en koncentration i vandfasen på mindre end 0,1 mg metan/L. Dette svarer til mindre end en promille af det organiske stofindhold i normalt dansk spildevand. For de andre stationer var metan-koncentrationerne væsentligt lavere og tæt ved baggrundskoncentrationen for udeluft (cirka 2 ppm). Samlet indikerer målingerne, at metandannelse kun er af mindre betydning i trykledninger under danske forhold. Der var ingen signifikant sammenhængen mellem metan- og svovlbrinteindholdet i kloakatmosfæren. Samlet blev det konkluderet, at svovlbrintekonzentrationerne var betydelige i en stor del af måletiden – hvorfor en væsentlig belastning af filtrene kan forventes på visse lokaliteter. I modsætning hertil var metan-niveauerne kun høje på den ene lokalitet. Målingerne viste desuden at svovlbrinteindholdet i gasfasen var væsentligt lavere end hvad der kunne forventes ud fra ligevægt med væskefasen. Dette er almindeligt forekomne og skyldes at svovlbrinte fjernes effektivt fra kloakatmosfæren ved oxidationsprocesser på afløbssystemets indvendige overflader – i særdeleshed på korroderende betonoverflader. I modsætning hertil var metan-konzentrationerne ved Hjarup tæt på ligevægt, hvilket indikerer at der kun sker en meget begrænset fjernelse af metan i kloakken.

### 3.3 Septiktanke

Der blev gennemført detaljerede undersøgelser af to septiktanke nær Brovt i Nordjylland. Septiktankene var begge udstyret med pumpe til bortledning af det rensede spildevand. I forhold til et system, hvor det rensede vand videreføres ved gravitation betyder det, at luftudskiftningen fra tanken er begrænset til at foregå via tankens udluftningsrør. Tankene var desuden relativt nye systemer i plast med tætte samlinger. Dette betyder bl.a., at luftudvekslingen mellem septiktanken og udeluften alene sker igennem ventilationsrøret og ikke gennem eventuelle sprækker eller andre utætheder (Figur 9 og 10).

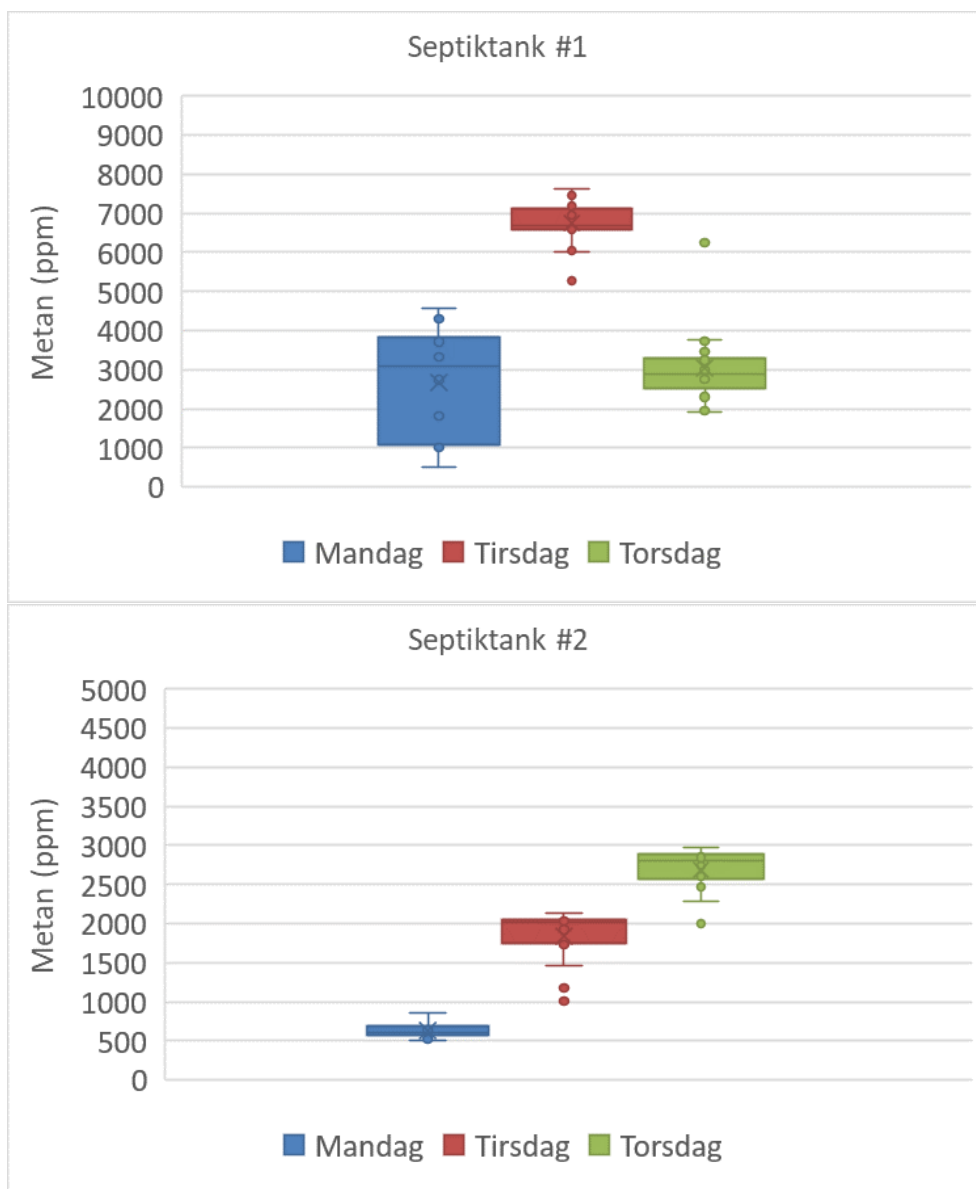


Figur 9. Opbygning og prøvetagningssteder ved undersøgelse af lugt- og klimagasser i septiktanke.



**Figur 10. Brønddæksel med gennemføringer og slanger til prøvetagning i luft og spildevand.**

Målingerne viste, at svovlbriente kun var tilstede i gasfasen i septiktankene i en del af tiden (33-78%). Koncentrationerne var desuden generelt lave med en gennemsnitlig koncentration omkring 2 ppm. I udluftningsrørene, umiddelbart under luftafkastet, blev der ikke konstateret svovlbriente på noget tidspunkt i måleperioden. Dette indikerer, at svovlbriente gassen fjernes effektivt ved oxidationsprocesser på indersiden af rør og i tanken. Der kan således ikke forventes en væsentlig belastning med svovlbriente på evt. filtre, der installeres på luftafkastet. Målingerne viste et betydeligt indhold af metan i både gas- og væskefase i alle de udtagne prøver. Koncentrationerne var væsentligt højere end i de iltfrie spildevandsledninger. Dette var tilfældet både i væske og luftfasen. Metanindholdet viste desuden en svag årstidsvariation, med lavere indhold i årets kolde måneder. Målinger foretaget i foråret, hvor temperaturen var cirka 5 gader højere end i januar havde et metanindhold, der i gennemsnit var 10 % højere. Figur 11 viser et eksempel på målinger af metan i de to septiktanke, hvor der blev gennemført målinger af lange tidsserier.



**Figur 11. Boxplot af metankoncentrationer i to septiktanke. Målingerne er udført over tre måledage i januar måned.**

Luftudskiftningen i septiktankene kunne ikke kvantificeres med de anvendte teknikker. Trykabet ved luftafkastet som resultat af den naturlige ventilation viste sig at være mindre end sensorernes opløsning (0,1 Pa). Det blev også uden held forsøgt at måle lufthastigheden ved udluftningen med et *hot-wire* anemometer monteret på en indsnævring af udluftningsrøret. Som minimum må luftudskiftningen dog være af samme størrelse som vandforbruget, da denne luftmængde fortrænges fra tanken i takt med at den fyldes op mellem hver pumpning. Under antagelse af at luftudskiftet svarer til vandforbruget kan metanfrigivelsen til atmosfæren estimeres til mindre end et gram per person per dag (Boks 1).

## Boks 1. Metanfrigivelse fra septiktanke.

1 mol idealgas har et rumfang på cirka 23 L ved atmosfærisk tryk og 10 grader C. På baggrund af målingerne vil et realistisk estimat på metan-koncentrationen være 5.000 ppm. Begge septiktanke er tilslutte enkelt-ejendomme med to beboere. Hvis der antages et luftudskifte på 200 L per person ækvivalent (PE) om dagen fås en metan-frigivelse på:

$$n_{\text{metan}} = \frac{200 \frac{\text{L}}{\text{PE}} / d}{23 \frac{\text{L}}{\text{mol gas}}} \times \frac{5.000 \text{ mol metan}}{1.000.000 \text{ mol gas}} = 0,043 \frac{\text{mol}}{\text{PE} \times d}$$

Idet metan har en molvægt på 16 g/mol svarer det til en frigivelse på:

$$\text{Masse}_{\text{metan}} = \frac{0,13 \text{ mol}}{d} \times \frac{16 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,695 \frac{\text{g}}{\text{PE} \times d}$$

Metanen stammer fra iltfri nedbrydning af organisk stof, som typisk angives i enheden COD (kemisk iltforbrug). Metan repræsenterer en COD værdi på 4 g COD/g metan, hvorfor frigivelsen kan beregnes til 2,8 g COD/PE/d. Dette svarer til cirka 2,3% af mængden af organisk stof, der udledes fra en person-ækvivalent (120 g/COD/PE/d).

Den estimerede frigivelse stemmer godt overens med tidligere studier af metanfrigivelse fra septiktanke ved samme spildevandstemperaturer (f.eks. Kinnicutt m.fl., 1910). Et nyere og mere omfattende studie af Leverenz, m. fl. (2010) undersøgte flere septiktanke i Californien og fandt at metanfrigivelsen her var væsentligt større. I gennemsnit blev frigivelsen i deres studie fundet til at være 11 g metan/PE/d. En del af forklaringen på forskellene skyldes sandsynligvis forskelle i temperatur, samt tømning-frekvens. Flere af septiktanke i det nævnte studie var gamle og havde aldrig været tømt for slam.

Metan er en kraftigere klimagas end kuldioxid, som er den vigtigste klimagas. Med en tidshorizont på 100 år er den relative klimaeffekt 28 gange højere per molekyle. Det samlede *Carbon-footprint* per dansker er cirka 14,5 tons CO<sub>2</sub>/år (Ivanova m.fl., 2017). Til sammenligningen svarer metanfrigivelsen for en person, der er tilsluttet en septiktank, til en effekt på mindre end en halv promille af den samlede gennemsnitlige udledning:

$$0,695 \frac{\text{gCH}_4}{\text{PE} \times d} \times 365 \frac{d}{\text{år}} \times 28 \frac{\text{gCO}_2}{\text{gCH}_4} \approx 7 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{PE} \times \text{år}}$$



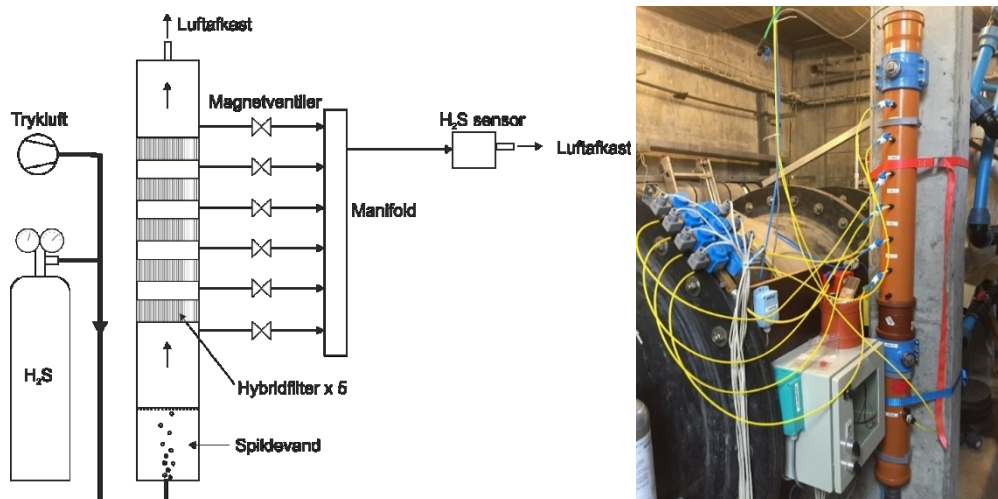
# 4. Sorptions- og nedbrydnings-processer i filterelementer

Der har i undersøgelserne været særlig fokus på svovlbrintefjernelsen i de forskellige filtertyper, da den afledte syredannelse forventes at være den begrænsende faktor i forhold til fjernelsen af drivhusgasser.

## 4.1 Forsøg med svovlbrintegas under kontrollerede forhold

I forbindelse med arbejds pakken er der målt lange tidsserier af fjernelseseffektiviteten af hybridfiltre i serie. Forsøgsopstillingen, som er illustreret i Figur 12, har været installeret i et kloakbygværk i forstadsbyen Frejlev, der ligger cirka 5 km vest for Aalborg. I forsøgene har filterne været udsat for en konstant opadgående luftstrøm. Luften har været fugtmættet ved genombobling af spildevand. Dette har sikret, at luften har indeholdt spildevands-aerosoler med bakterier og næringsstoffer, hvilket er vigtigt for kolonisering af hybridfilterne med svovlbakterier. Fra en trykflaske blev der via et blandekammer løbene tilsat svovlbrinte gas ( $H_2S(g)$ ). Det nederste filter har været udsat for de højeste  $H_2S(g)$  koncentrationer, som i gennemsnit har ligget på 100-200 ppm. Dette svarer til en forholdsvis høj belastning, men er ikke ualmindelig i danske afløbssystemer. Lufthastigheden i opstillingen har varieret mellem 0,4 og 4 mm/s, hvilket svarer til en kontakttid i filterne mellem cirka 5 og 50 sekunder. Producenten anbefaler en kontakttid på minimum 0,2 sekund.

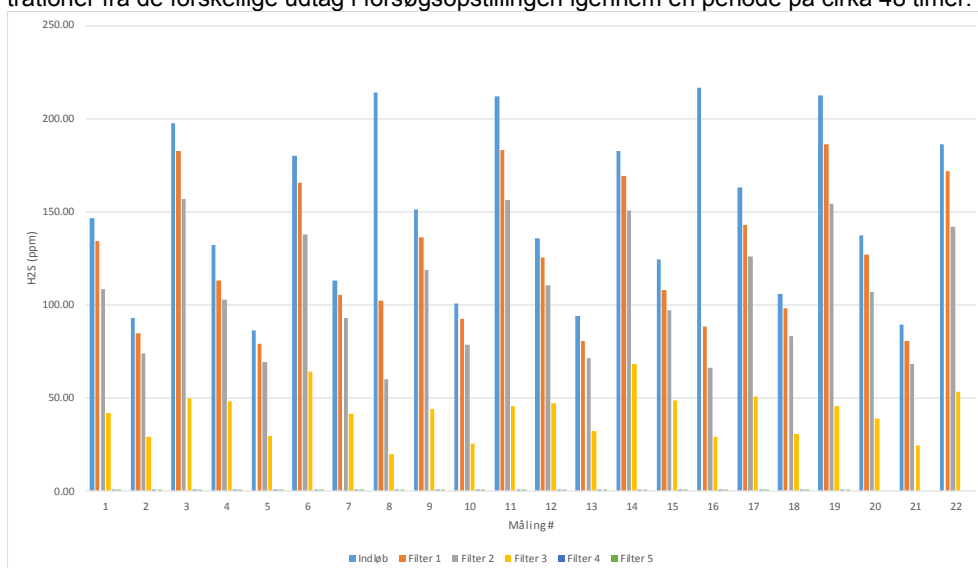
En delstrøm af afkastluften er via en manifold ledt gennem en elektrokemisk  $H_2S(g)$  sensor. Manifoldden var udstyret med et antal magnetventiler, som blev holdt åbne en af gangen i en periode af 15 minutter. Herved var det muligt at måle  $H_2S(g)$  koncentrationen under og over hvert enkelt filter ved hjælp af samme sensor. Forsøgsopstillingen har igennem projektperioden været i drift i mere end 1 år.



Figur 12. Forsøgsopstilling med 5 filtermåtter i serie, der belastes med kloakluft indeholdende svovlbrinte.

Filterelementerne er løbene blevet skiftet, i takt med at deres kapacitet blev opbrugt. I gennemsnit blev der observeret en svovlbrintefjernelse på 47,8 mg S/g kul inden der var gennem-

brud af svovlbrintegas. Dette svarer til en effektiv fjernelseskapacitet på cirka 60 g svovlbrinte i et Ø600 mm brøndkarmsfilter (Grønmo, m.fl., 2017). Figur 13 viser målte svovlbrintekoncentrationer fra de forskellige udtag i forsøgsopstillingen igennem en periode på cirka 48 timer.



**Figur 13. 48 timers måling af svovlbrintekoncentrationer fra de forskellige gasudtag.**

Dataene på figur 13 viser tydeligt, hvordan hybridfiltrene er i stand til at reducere svovlbrinteindholdet i kloakluften. På det pågældende tidspunkt, hvor målingerne er foretaget, er kapaciteten opbrugt i filter 1, 2 og 3. Over filter 4 og 5 måles der stort set ingen svovlbrinte.

Undersøgelse af filterelementerne viste, at svovlbrintegassen omsættes fuldstændigt til svovlsyre i filtrene. Dette blev bekræftet ved måling af pH, total svovlindhold, og sulfat (svovlsyre) i brugte filtre, der havde mistet deres evne til at fjerne svovlbrinte med høj effektivitet. Syredannelsen medfører en betydelig sænkning af filtrenes pH værdi, som med tiden bliver så lav, at de mikrobielle processer hæmmes. Herved mister filtrene deres evne til effektivt at optage og omsætte lugtgasser. De kontrollerede forsøg viste desuden, at efter gennembrud med svovlbrinte falder effektiviteten til et konstant og forholdsvis lavt niveau (omkring 10-20% fjernelse ved de konkrete forhold). Den fortsatte fjernelse skyldes sandsynligvis abiotisk (kemisk) omsætning af svovlbrintegassen.

## Boks 2. Levetidsbetragtning for et hybridfilter.

Ved en fjernelseskapacitet på 60 g svovlbrinte i et Hybridfilter kan filtrenes renseevne ved en given svovlbrintekonzentration estimeres. Hvis der fx tages udgangspunkt i en gennemsnitlig koncentration på 5 ppm H<sub>2</sub>S og en lufttemperatur på 15 grader C, vil filteret i gennemsnit kunne behandle cirka 8000 m<sup>3</sup> luft.

Et mol luft har cirka et volumen på 23 L ved 15 grader C og et tryk på en atmosfære.

Svovlbrintemolekylet har en molarmasse på 34 g/mol. Hermed kan massen af svovlbrintemolekyler i en m<sup>3</sup> luft bestemmes for en koncentration på 5 ppm:

$$\frac{1000 \text{ L/m}^3}{23 \frac{\text{L}}{\text{mol gas}}} = 43,5 \text{ mol gas/m}^3$$
$$43,5 \text{ mol} \frac{\text{gas}}{\text{m}^3} \times \frac{5 \text{ mol H}_2\text{S}}{1.000.000 \text{ mol gas}} \times \frac{34 \text{ g}}{\text{mol}} = 7,4 \text{ mg H}_2\text{S/m}^3$$

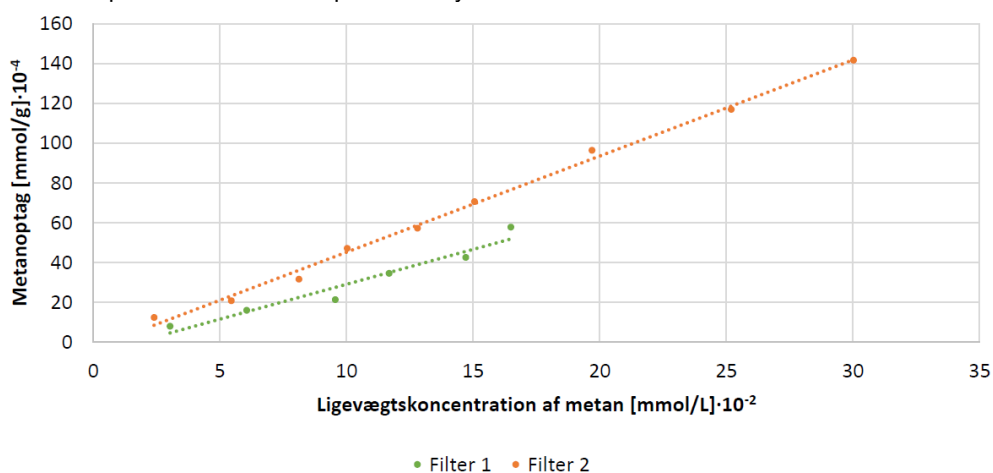
Herefter kan det beregnes, hvor meget svovlbrinteholdig luft med en koncentration på 5 ppm et brøndkarmsfilter i gennemsnit kan behandle:

$$\frac{60 \text{ g/filter}}{7,4 \text{ mg H}_2\text{S/m}^3} \approx 8000 \text{ m}^3/\text{filter}$$

Filteret kan ved de givne forhold behandle en stor mængde luft inden kapaciteten er opbrugt.

## 4.2 Metanadsorption

Sorptionsevnen i forhold til metan for både hybridfilter måtter og mini-kulfiltre blev testet i den indledende del af projektet. Sorptionsegenskaberne blev karakteriseret i form af adsorptionsisotemer, der viser sammenhængen mellem adsorberet stofmængde og koncentration i gasfasen. Undersøgelserne blev gennemført ved, at filtermateriale blev inkuberet i gastætte flasker i en kvælstofatmosfære tilsat metan i forskellige koncentrationer. Efter en periode på mere end en time, hvor indledende forsøg havde vist at der havde indstillet sig ligevægt, blev der udtaget gasprøver til analyse af gaskoncentrationen. Ud fra de målte metankonzentrationer blev det efterfølgende beregnet hvor meget metan filtermaterialet havde optaget. Figur 14 viser adsorptionsisotemer for 2 prøver af Hybridfilter-måtte.



Figur 14. Adsorptionsisoterm for metanoptag i to udsnit af Hybrid Brøndkarmsfiltre (Grønmo m.fl., 2017).

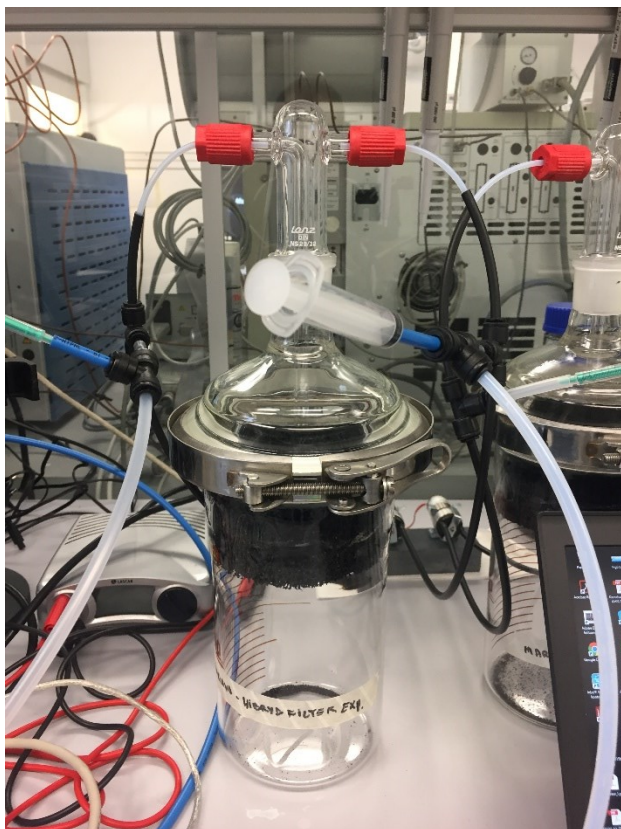
Forsøgene viste, at der inden for de undersøgte koncentrationsområder var en lineær sammenhæng mellem koncentrationen i gasfasen og mængden af metan som var optaget af filtermaterialet. Kulpillerne, der anvendes i mini kulfiltrene, blev også testet. Disse viste samme lineære sammenhæng mellem gaskonzentration og metanoptag. Kulpillernes evne til at ad-

sorbere metan var dog i gennemsnit 56% lavere end for Hybrid Brøndkarmsfiltrene (Grønmo m.fl., 2017).

I forhold til metanindholdet i både kloakatmosfære og afkastluft fra septiktanke viste adsorptionskapaciteten sig at være ret beskedene. Ved en karakteristisk gasfasekoncentration for en septiktank på 5.000 ppm (svarende til  $22 \cdot 10^{-2}$  mmol/L) er adsorptionskapaciteten mindre end  $10 \mu\text{mol/g}$  kul (svarende til 0,16 mg/g kul). Et mini kulfilter med 210 g kul kan således adsorbere cirka 30 mg metan, hvilket er væsentligt mindre end den estimerede metanproduktion per døgn (Boks 1). Adsorptionprocessen alene kan således ikke forventes at nedbringe indholdet af metan i afkastluften fra septiktanke væsentligt.

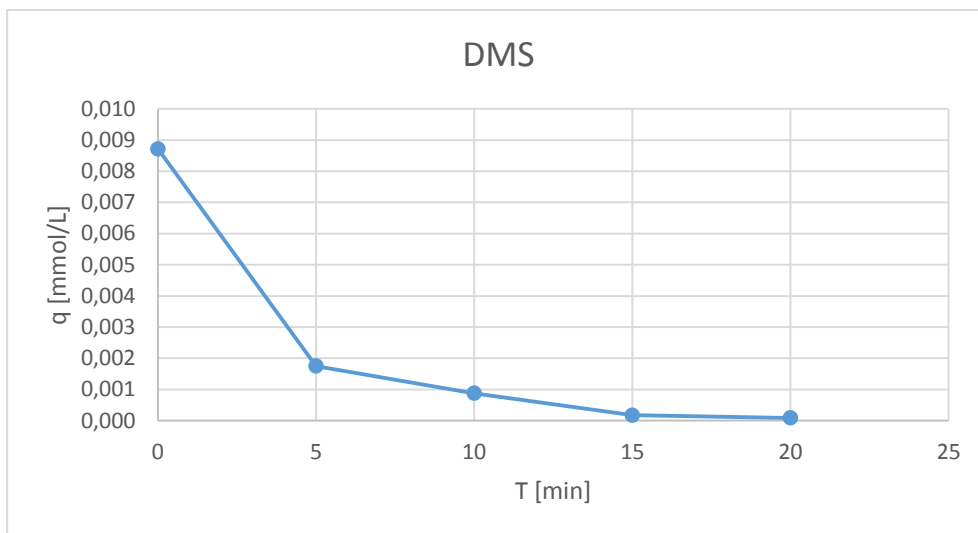
### 4.3 Reducerede flygtige organiske svovlforbindelser

Det har i forbindelse med projektet også været undersøgt i hvilket omfang hybridfiltre er i stand til at tilbageholde og omsætte andre ildelugtende gasser. Her har der været særlig fokus på reducerede organiske svovlforbindelser, der dannes sideløbende med svovlbrinte og methan i iltfrie afløbsledninger. Det vides fra undersøgelser at disse stoffer kan udgøre et væsentligt bidrag til kloaklugt (fx Sivret m.fl., 2016). Udover svovlbrinte er det typisk stofferne methylmercaptan og dimethylsulfid (DMS), som udgør de væsentligste lugtbidrag. DMS er udover at være en vigtig bestanddel af kloaklugt også en betydelig klimagas, der bl.a. har stor betydning for skydannelse og herigennem for jordens albedo (refleksion af solindstråling).



**Figur 15. Forsøgsopstilling til undersøgelse af fjernelse af reducerede organiske svovlforbindelser (metyl mercaptan og dimetylsulfid (DMS)).**

Der blev lavet undersøgelser af filtrenes evne til at tilbageholde og omsætte metyl mercaptan og DMS i en glasreaktor, hvor syntetisk kloakluft recirkuleres igennem en eller flere filtermåtter (Figur 15). De reducerede svovlforbindelser blev kvantificeret i gasprøver ved *headspace* gas-kromatografi med masse-spektrometrisk detektion (HSGCMS). Figur 16 viser et eksempel på kvantificering af DMS fjernelse i et aktivt hybridfilter.



**Figur 16. Tidsserie af lugtstoffet dimethylsulfid (DMS) i en fugtig luftfase, der recirkuleres igennem et aktiveret hybridfilter (Aburlacitei, 2017).**

Overordnet viste forsøgene, at hybridfiltrene var i stand til effektivt at tilbageholde og omsætte de organiske svovlforbindelser. Omsætnings hastigheden var dog generelt langsommere end for svovlbrinte gas. Ved lave lufthastigheder som er karakteristisk for naturligt ventilerede afløbssystemer vil filtrene dog kunne fjerne hovedparten af de organiske svovlforbindelser.

## 5. Feltundersøgelser af gasfjernelse

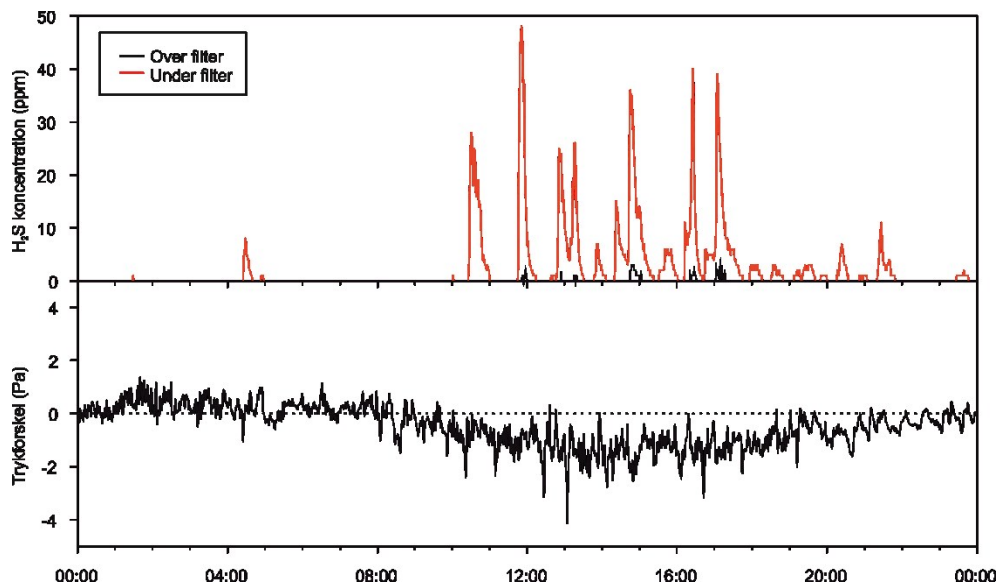
I forbindelse med projektet har der været gennemført feltundersøgelser af tilbageholdelsen og nedbrydningen af svovlbriente og klimagasser i to filtertyper fra Hybridfilter A/S. Undersøgelserne vedrørende gasfjernelse i brøndkarmsfiltre fra iltfrie spildevandsnet har primært været gennemført i landsbyen Krogsbølle på Nordfyn. Der er desuden gennemført stikprøvemålinger i en oppumpningsbrønd ved Hjarup nær Kolding. Gasfjernelse fra afkastluft fra septiktanke er gennemført på lokaliteter nær Brovst i Nordjylland.

### 5.1 Feltundersøgelser i Krogsbølle

I landsbyen Krogsbølle er der gennemført længerevarende målinger tre gange i løbet af 2016. Hver gang er målingerne gennemført på to lokaliteter på samme ledningsstreg (Figur 17). Feltundersøgelserne er udført nedstrøms for en længere trykledning, der pumper spildevand fra ejendomme i det åbne land. Der har tidligere været store problemer med svovlbrienterelateret lugt og korrosion langs ledningsstrækningen. Frem til foråret 2016 har der derfor været doseret en jernopløsning til spildevandet i den nedstrøms beliggende pumpestation. Dette har haft til formål at udfælde og derigennem binde opløst sulfid i spildevandet. I forbindelse med målekampagnen er der stoppet for den tidligere anvendte svovlbrientebekæmpelse.

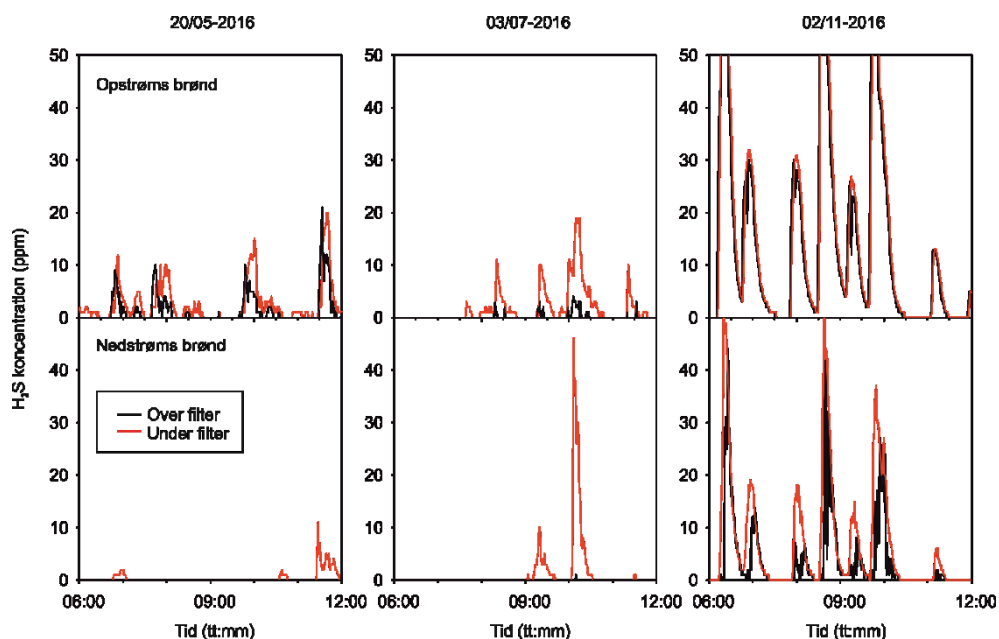


Figur 17. Luftfoto af målelokalitet ved Krogsbølle på Nordfyn (t.v.). Den undersøgte ledningsstækning er angivet med rød. Kloakbrønd fra Krogsbølle med hybridfilterindsats (t.h.).



**Figur 18. Resultat af svovlbrinte og trykmålinger udført på samme hybrid brøndkarmsfilter.**

Resultaterne viser, at der i dagtimerne hovedsageligt er en negativ trykforskel mellem afløbssystemet og udeluften (Figur 18). Dette betyder at lufttrykket er højere i afløbssystemet, hvorfor der i denne periode er en luftstrøm ud af afløbssystemet. I samme periode måles der svovlbrintekonzentrationer op til cirka 50 ppm umiddelbart under filterelementet. Dette svarer til en meget kraftig og ubehagelig lugt. Mere end 95% af svovlbrinte-mængden fjernes i filteret og der måles kun sporadisk lave koncentrationer over filteret (Figur 19).



**Figur 19. Eksempel på målinger af svovlbrinte-gas over og under brøndkarmsfilter i to kloakbrønde.**

Ved første måling i maj måned var filtrene helt nye og som følge deraf ikke fuldt effektive. Dette var særligt tydeligt i den opstrøms brønd, hvor der blev målt svovlbrinte både over og under filteret. Gasfjernelsen i hybridfiltrene beror i høj grad på biologiske omsætningsprocesser, hvor lugt- og klimagasserne oxideres med ilt fra atmosfæren som oxidationsmiddel. Erfar-

ringer har vist at helt nye filtre, der kun har været udsat for fugtig kloakluft i en kort periode ikke er fuldt aktive. Fra andre undersøgelser vides det også at udviklingen i materialets pH værdi er af stor betydning for gasfjernelsen. De forskellige typer mikroorganismer, som er involveret i nedbrydningsprocesserne, har hver deres pH optimum (fx Islander m.fl., 1991). I løbet af en periode vil pH værdien af filtrene falde som resultat af den svovlsyredannelse, der finder sted når svovlbrinte oxideres. Som følge heraf vil bakteriefloraen til sidst være domineret af få typer syretolerante svovlbakterier, men som har en meget høj aktivitet. Varigheden af denne udvikling vil afhænge af svovlbrintebelastningen, men vil ofte være relativt kort (i størrelsesordenen dage til uger).

Som det ses af Figur 19 er der en effektiv fjernelse af svovlbrintegas igennem filtrene i juli måned, hvor de har været udsat for svovlbrinteholdig luft igennem flere uger. På dette tidspunkt fjerner hybridfiltrene stort set al svovlbrinten. Der måles kun sporadisk lave koncentrationer få cm over filternes overflade. På dette tidspunkt kan man i by-atmosfæren ikke erkende den karakteristiske lugt af svovlbrinte. I november måned er filternes kapacitet opbrugt og der tilbageholdes ikke længere svovlbrinte i filtrene. Der måles således stort set samme koncentrationer over og under filtrene.

## 5.2 Feltundersøgelser i Hjarup

Den indledende screening af baggrundsværdier for metan og svovlbrinte i iltfrie spildevandsledninger viste at der ved oppumpningsbrønden i Hjarup nær Kolding var koncentrationer i gasfasen på op til cirka 1000 ppm. Målinger foretaget to gange under og over det eksisterende Hybridfilter viste desuden at metan-indholdet i kloakatmosfæren ikke blev reduceret igennem filtret.

## 5.3 Gasfjernelse fra septiktanke

Gasfjernelsen i Hybridfilter-minifilter blev undersøgt ved de samme to lokaliteter, hvor der også blev undersøgt for baggrundsniveauer af lugt- og klimagasser. I forbindelse med undersøgelser blev der installeret mini-kulfiltre fra Hybridfilter A/S, som blev indkøbt i periode på cirka 6 måneder inden undersøgelserne. Mini-kulfiltrene monteres på enden af udluftningsrøret fra septiktankene og efterpolerer luften ved filtrering igennem et lag af piller af aktivt-kul. Et filter indeholder cirka 210 gram piller, som har en forventet levetid på op til 2 år – afhængig af belastningen. På baggrund af de indledende undersøgelser blev det beregnet, at filtrene ville blive belastet med op til cirka 1,5 g metan per dag (cirka 1 g metan/PE/d).





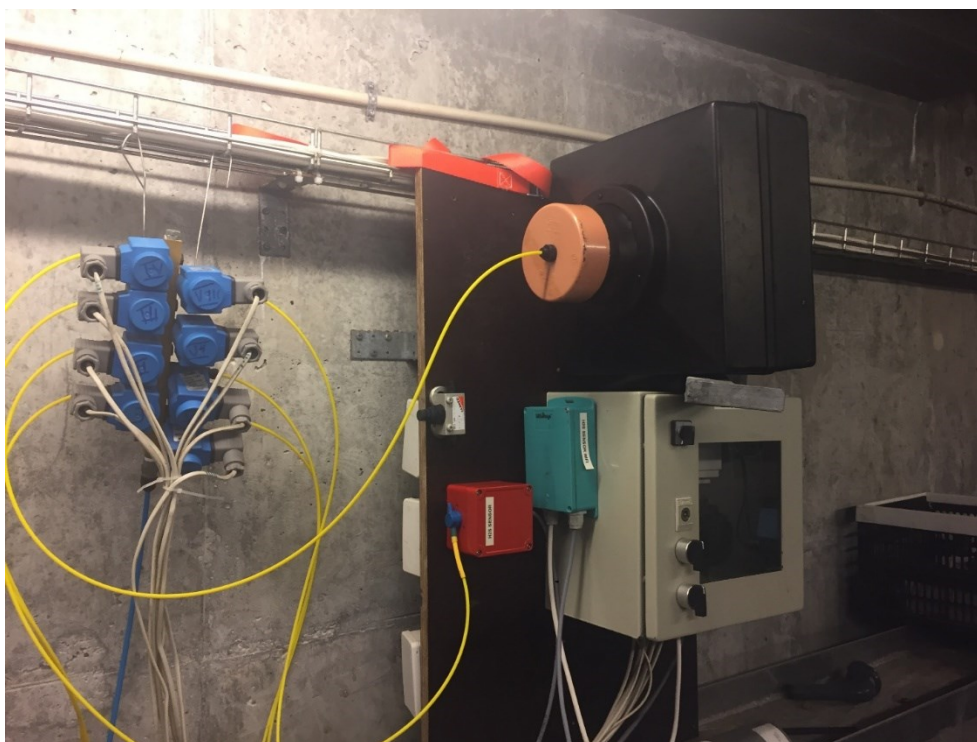
**Figur 20. Udluftning fra septiktank med Hybrid-minifilter og gassensor monteret.**

Der blev i forbindelse med feltmålingerne målt metan i både septiktankene samt under og over mini-kulfiltrene. Feltmålingerne var besværliggjort af det meget lille luftudskifte, som det ikke var muligt at kvantificere med de anvendte teknikker. Der blev således suppleret med en række målinger, hvor luft fra septiktankene blev pumpet igennem filtrene med et kontrolleret luftflow.

Samlet viste målingerne, at metanfjernelsen i de aktiverede filtre var ubetydelig. Dette blev observeret på trods af gunstige forhold for metanoxiderende bakterier i mini-filtrene. Kulpillerernes overflade-pH blev bestemt til at være cirka 7 og altså omkring neutral. Dette stemmer overens med observationerne af meget lave svovlbrintekonzentrationer i septiktankene. Der blev på intet tidspunkt konstateret svovlbrinte ved udluftningen. Under sådanne forhold og med tilgang til både ilt, metan og en høj luftfugighed burde metanoxiderende bakterier have mulighed for at kolonisere filtrene.

## 6. Konstruktion og afprøvning af prototype

På baggrund af resultaterne fra undersøgelserne er det klart at fjernelse af visse drivhusgasser forudsætter et filter med et dybere filterlag. Der er således udviklet en prototype på et filter, der indeholder en væsentligt tykkere hybridmåtte (Figur 21). Prototypen har endvidere en bedre kontakt mellem siderne på filterindslutningen og filterelementet, hvorved der sikres en mere effektiv fordeling af kloakluften i filterenheden.



**Figur 21. Prototype tilsluttet luftstrøm indeholdende svovlbrintegas**

Prototypen har været installeret i målebygværket i Frejlev siden sommeren 2017, hvor den har filtreret svovlbrinteholdig kloakluft med et indhold på cirka 100 ppm  $H_2S$ . Der har inden for projektperioden ikke været gennembrud af svovlbrintegas i prototypen.

På baggrund af erfaringerne fra projektet vil Hybridfilter A/S i samarbejde med Fritzmeier-Umwelttechnik arbejde hen imod at implementere en videreudvikling af prototypen som et produkt der kan markedsføres. Produktet vil i første omgang blive rettet mod installation i spildevandspumpestationer, hvor filtret udover at fjerne lugt også vil bidrage til et bedre og mere sikkert arbejdsmiljø ved at reducere risikoen for høje svovlbrintekonzentrationer i pumpehuse o.l..

## 7. Konklusion

Projektet har indledningsvis dokumenteret baggrunds niveauer for frigivelse af svovlbrinte og klimagasser fra iltfrie spildevandsledninger og septiktanke. For alle de undersøgte spildevandsledninger blev der fundet svovlbrintegas i koncentrationer, der var forbundet med kraftig lugt. I visse perioder var koncentrationsniveauerne også sundhedsskadelige. I forhold til klimagassen metan var der stor spredning på dataene. Kun på en enkelt lokalitet blev der fundet metan i betydelig mængde. På trods heraf blev frigivelsen dog vurderet at være meget lille. For septiktankene blev der ikke på noget tidspunkt konstateret svovlbrinte i afkastluften. Der blev derimod fundet metan i koncentrationer op til cirka 10.000 ppm. Luftudskiftningen i septiktankene var meget begrænset. Som kilde til klimagasser blev metanfrigivelse fra septiktanke derfor vurderet at være ubetydelig i det samlede CO<sub>2</sub>-regnskab.

Projektet har desuden dokumenteret effektiviteten af aktivkul baserede filtre til fjernelse af lugt og klimagasser fra iltfrie kloakledningsnet og septiktanke. Specifikt viste undersøgelserne, at de testede filtertyper – i forhold til deres størrelse – har en stor kapacitet for at tilbageholde og omsætte ildelugtende svovlbrintegas og andre reducerede lugtstoffer. Herunder også klimagassen dimethylsulfid. Med tiden mister filtrene deres effektivitet. Projektet viste, at effektiviteten blev hæmmet når der var opnået en kraftig forsurening af filtrene som resultat af en stor omsætning af svovlbrintegas. I forhold til klimagassen metan, var det ikke i samme grad muligt at opnå en vedvarende og effektiv reduktion i koncentrationsniveauerne. Det var også tilfældet for aktiv-kulfiltere, som ikke blev udsat for svovlbrinte.

Undersøgelserne har tilvejebragt viden om sammenhænge mellem gastransport og tryktab over filtrene. Denne viden kan benyttes i designsammenhæng ved estimation af luftudskiftningen før og efter installation af filterelementer. Det er desuden muligt at forudsige effekten af filteropbygninger med flere lag. Resultaterne fra undersøgelserne muliggør desuden, at der kan laves en levetidsberegning for Hybridfiltere ved forskellige svovlbrintebelastninger.

På baggrund af projektets resultater er der blevet udviklet en prototype for et hybridfilter, der har en længere levetid og mere effektiv udnyttelse af filterenes kapacitet. Filteret er blevet testet i projektets sidste seks måneder. I testperioden har der ikke været gennembrud af lugt. Det forventes, at prototypen vil blive videreudviklet til et kommercielt produkt, der fremadrettet vil indgå i Hybridfilter A/S produktportefølje.

# Litteratur

- Aburlacitei, M. (2017). Analysis of removing organic sulfur compounds from sewer-off gas by activated carbon. Kandidatspeciale ved Civilingeniøruddannelsen i Miljøteknologi ved Aalborg Universitet.
- Fritzmeier-Umwelttechnik (2018). Coalsi brochure.
- Islander, R.L., Devanny, J.S., Mansfeld, F., Postyn, A., Shih, H. (1991). Microbial ecology of crown corrosion in sewers. *Journal of Environmental Engineering*, 117(6), 751-770.
- Kennelly, C., Clifford, E., Gerrity, S., Walsh, R., Rodgers, M., Collins, G. (2012). A horizontal flow biofilm reactor (HFBR) technology for the removal of methane and hydrogen sulphide at low temperatures. *Water Science and Technology*, 66(9), 1997-2006.
- Kinnicutt, L.P., Winslow, C.E.A., Pratt, R.W. (1910). *Sewage Disposal*, John Wiley and Sons. New York
- Leverenz, H.L., Tchobanoglous, G., Darby, J.L. (2010). Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Septic Systems. WERF report DEC1R09. Water Environment Research Foundation.
- Mogensen, M.B., Grønmo, M., Tranekær, C. (2017). Svovlbrinte- og metanfjernelse i Hybrid Filter A/S produkter til anvendelse i kloak og septiktank - Undersøgelser og forbedringer. Kandidatspeciale ved Civilingeniøruddannelsen i Miljøteknologi ved Aalborg Universitet.
- Sivret, E.C., Wang, B., Parcsi, G., Stuetz, R.M. (2016). Prioritisation of odorants emitted from sewers using odour activity values. *Water Research*, 88(1), 308-321.
- Vollertsen, J., Nielsen, A.H., Jensen, H.S., Wium-Andersen, T., Hvitved-Jacobsen, T. (2008). Corrosion of concrete sewers—the kinetics of hydrogen sulfide oxidation. *Science of the Total Environment*, 394(1), 162-170.



### **Hybridfilter for fjernelse af lugt- og drivhusgasser fra septiktanke og iltfri spildevandsnet**

I perioden fra januar 2016 til december 2017 har virksomheden Hybridfilter A/S i samarbejde med Institut for Byggeri og Anlæg ved Aalborg Universitet gennemført projektet "Hybridfilter for fjernelse af lugt- og drivhusgasser fra septiktanke og iltfri spildevandsnet". Projektet var støttet af MUDP og havde til formål at udvikle filterløsninger, der med ét filter kan reducere frigivelse af både lugt- og klimagasser fra spildevandssystemer.



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø

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