



On-site detektion af CFC-gas i præisolerede fjernvarmerør -Et MUDP projekt



MUDP Rapport
August 2022

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Niels Winther,

Maj Frederiksen og

Casper Laur Byg, Teknologisk Institut

Grafiker/bureau: Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-7038-433-9

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, som er et program 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

Web: www.ecoinnovation.dk

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

Indhold

1.	Resumé og konklusion	6
2.	Summary and Conclusions	9
3.	Baggrund	11
3.1	CFC-gasser og brug i isolering i fjernvarmerør	11
3.2	Status i dag	12
3.3	Motivationen for målemetoden	12
4.	Præisolerede fjernvarmerør	14
4.1	Opbygning af præisolerede fjernvarmerør	14
4.2	Egenskaber af opskumningsgasser til fjernvarmerør	14
4.3	Indsamling af rør	16
5.	Krav til sensorløsning og udvælgelse af teknologi	17
5.1	Forventninger til brug af udstyret	17
5.2	Kravspecifikation	17
5.3	Målingsstrategier	17
5.4	Screening af sensorteknologier	17
5.5	Valg af detektionsprincipper og udstyr	19
6.	Laboratorietest af sensorteknologier	21
6.1	Test af IR-baserede sensorer	21
6.1.1	Tru Pointe IR	21
6.1.2	Bacharach PGM-IR	22
6.2	Laboratorietest af PID-sensoren	23
6.3	Konklusion og valg af sensor til videre arbejde	23
7.	Udvikling af måleprobe	24
7.1	Krav og overvejelser	24
7.2	Designiterationer	24
7.3	Den endelige udgave af probe	25
8.	Målinger på indsamlede rør	29
8.1	Måling med probe og PGM-IR	29
8.2	Bestemmelse med GC-FID	30
8.3	Bestemmelse med PTR-MS	31
8.4	Sammenfatning af måleresultater og diskussion	33
8.4.1	Separationssikkerhed	33
8.4.2	Målesikkerhed	35
9.	On-site demonstration	36
9.1	Ved Teknologisk Institut	36
9.2	Ved Stena Recycling	38
9.3	I opgravninger i samarbejde med AffaldVarme Aarhus	41

Bilag 1.Kalibreringsprocedure	44
Bilag 2.Vejledning til brug af måleudstyr	46

Forord

Projektet blev udført af Teknologisk Institut med deltagelse af Stena Recycling og GasDetect i perioden januar 2016 til december 2018. Miljøministeriet har ydet tilskud til projektet gennem Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) 2015. Projektet omfattede teknologiudvikling, laboratorieundersøgelser og målekampagner.

Målet for dette projekt var at demonstrere en hurtig og effektiv teknologisk metode til on-site at bestemme, hvorvidt der er CFC-gas i skummet i præisolerede fjernvarmerør. Denne metode gør det således muligt for oparbejdningsvirksomhederne at sortere CFC-gasholdige fjernvarmerør fra nyere cyclopentanrør, som ikke er problematiske for klimaet.

Projektet er fulgt af Mikkel Aaman Sørensen og Toke Winther fra Miljøstyrelsen.

Aarhus, februar 2020

1. Resumé og konklusion

I dag er det ifølge Montrealprotokollen og EF forordningen 1005/2009 ulovligt at benytte såkaldte CFC-gasser (Chloro-Fluoro-Carbon-gasser), da disse nedbryder ozonlaget. Ydermere er gasserne skadelige for klimaet på grund af deres særdeles potente drivhusgaseffekt. CFC-gas kaldes også for Freon®. Indtil ca. 1992 blev der anvendt CFC-gas til opskumning af isolering i fjernvarmerør. Det betyder, at der med fjernvarmerør i dag er nedgravet ca. 4.000 tons CFC-gas i Danmark¹. Når fjernvarmerørene opgraves i forbindelse med renoveringer, håndteres rørene i scredder anlæg, hvorved CFC-gassen frigives til atmosfæren.

Målet for dette projekt var at demonstrere en hurtig og effektiv teknologisk metode til on-site at bestemme, hvorvidt der er CFC-gas i skummet i præisolerede fjernvarmerør. Denne metode gør det således muligt for oparbejdningsvirksomhederne at sortere CFC-gasholdige fjernvarmerør fra nyere cyclopentanrør, som ikke er problematiske for klimaet.

I projektet indgik identificering af eksisterende sensorteknologier til detektion af CFC, målemetodeudvikling og validering af den udviklede målemetode. Projektet blev udført af Teknologisk Institut med deltagelse af Stena Recycling og GasDetect i perioden januar 2016 til december 2018. Miljøministeriet har ydet tilskud til projektet gennem Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) 2015. Projektet omfattede teknologiudvikling, laboratorieundersøgelser og målekampanjer.

Indledningsvis blev der indsamlet viden om bl.a. indholdsstoffer og deres mængder i isoleringen på præisolerede fjernvarmerør. Desuden blev det undersøgt, hvordan håndteringen af rørene foregår. Ud fra den indsamlede viden og på baggrund af erfaring med håndtering af målinger og dokumentation blev kravene til en sensorløsning defineret af projektets partnere. Sensorløsningen skulle designes til at udføre hurtige on-site målinger i al slags vejr, være brugervenligt udformet, økonomisk i brug og kræve et minimum af vedligehold. Måleteknisk skal sensorløsningen kunne skelne CFC- og HCFC-gasser² fra gastyper benyttet i nyere rør, nemlig cyclopentan, CO₂ og atmosfærisk luft. Adskillige sensorteknologier blev screenet, og infrarødbaseret sensorteknologi (IR) blev udvalgt til detektion af CFC- og HCFC-gasser, da teknologien er moden, selektiv og forholdsvis billig.

Laboratorieforsøg viste, at den udvalgte sensor baseret på IR-teknologi reagerede kraftigt og lineært på CFC-11, som er den mest anvendte CFC-gas i skummet i præisolerede fjernvarmerør. Desuden reagerede sensoren meget svagt på cyclopentan, og der kunne derfor defineres en grænseværdi for, hvornår isoleringsskum indeholder CFC-gasser. Målingerne på gas fra isoleringsskum viste en tydelig forskel i værdierne for skum indeholdende CFC/HCFC og skum indeholdende cyclopentan.

IR-sensorens detektionsprincip bygger på absorption af IR-lys ved tilstedeværelsen af kulstof-fluor-bindinger, og sensoren vil derfor også kunne detektere de øvrige relevante CFC- og HCFC-gasser. Ovenstående blev bekræftet ved målinger på skumprøver fra præisolerede fjernvarmerør indsamlet i projektet.

¹ Miljøprojekt nr. 1826 (2016) og nr. 1827 (2016)

² HCFC-gasser indeholder - ligesom CFC-gasser - klor, fluor og kulstof, men også brint. HCFC-gasser er blevet anvendt som erstatning for CFC-gasser, men også de har en skadelig virkning på ozonlaget og klimaet.

Målingerne med IR-teknologien blev valideret med en kombination af standardiserede GC-FID-målinger og screeningsmålinger med PTR-MS. PTR-MS-målingerne viste desuden, at der ud over rør med den gængse CFC-11 også var rør indeholdende HCFC-141 og HCFC-142.³

Det var en vigtig del af projektets arbejde at optimere prøveudtagningen, så den udviklede sensorløsning blev brugervenlig og pålidelig. Det blev valgt, at gassen til målingen skulle trækkes ud af skummet ved at destruere/komprimere et lille volumen af skummet i enden af de præisolerede fjernvarmerør. Udtrækningen blev foretaget vha. en almindelig rawlplug, der også fungerede som et prisbilligt engangsfilter for at undgå tilstopning af måleslangen med skumstøv. Rawlpluggen blev monteret på en specialdesignet probe, som hamres ind i skummet vha. en hammer eller et påmonteret slaglod. Målingen kan derved foretages effektivt, brugervenligt og pålideligt.

Målemetoden er blevet demonstreret ad flere omgange på oparbejdningspladsen hos Stena Recycling i Grenaa samt ved opgravning af ældre fjernvarmerør flere steder i Aarhus Kommune. Sensorløsningen har virket pålideligt, og målingerne kan foretages af lægmand efter en kort introduktion til sensorløsningen – enten ved personlig oplæring eller ved at følge en manual.

³ CFC-11 er forbindelsen CCl_3F , HCFC-141 er $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2\text{F}$, mens HCFC-142 er $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClF}_2$.

2. Summary and Conclusions

Currently, the Montreal Protocol and EU regulation 1005/2009 make it illegal to use the so-called CFC-gases (Chlorofluorocarbons), because these deplete the ozone layer. In addition, these gases are harmful towards the climate due to their significantly potent greenhouse effect. A CFC-gas is also known as Freon[®]. Until approx. 1992, the CFC-gas was used for expanding foam of district heating pipes. This means that today together with heating pipes approx. 4000 tons of CFC-gas has been buried in Denmark⁴. When district heating pipes are excavated in connection with renovation works, the pipes are handled in shredding plants, where CFC-gases are released into the atmosphere.

The aim of this project was to demonstrate a fast and effective technological method for on-site detection of the presence of CFC-gas in the foam of a pre-insulated district heating pipe. This method makes it possible for reprocessing plants to sort CFC-containing district heating pipes from newer cyclopentane pipes, which are not problematic for the climate.

This project involved identification of existing sensor technologies for detection of CFC, development of measuring methods and validation of the developed measuring method. The project was carried out by Danish Technological Institute together with Stena Recycling and GasDetect from January 2016 to December 2018. The Ministry of Food and Environment of Denmark has provided funding to the project through the Ecoinnovation program 2015 (MUDP). The project involved technology development, laboratory tests and measuring campaigns.

Initially, the knowledge was collected on, among others, chemical substances and their amounts in insulation of pre-insulated district heating pipes. The handling of pipes was also investigated. Based on the collected knowledge and experience with handling measurements and documentation, the requirements for a sensor solution were defined by the project partners. The sensor solution had to be designed to be able to carry out fast on-site measurements in all types of weather, it had a user-friendly design, economical usage and required a minimum maintenance. From a metrological perspective, the sensor solution had to differentiate between CFC and HCFC gases⁵ from gas types used in more recent pipes, that is cyclopentane, CO₂ and atmospheric air. Various sensor technologies were screened, and the infrared-based sensor technology (IR) was selected for the detection of CFC and HCFC-gases, because the technology is mature, selective and comparatively inexpensive.

Laboratory tests showed that selected sensor based on IR-technology reacted strongly and linearly on CFC-11, which is the most applied CFC-gas in foam of pre-insulated district heating pipes. The sensor showed very low signal for cyclopentane, and it was thus possible to define a limit value for when the insulation foam contains CFC-gases. Measurements on gas from insulation foam showed a clear difference in values for foam containing CFC/HCFC, and foam containing cyclopentane.

The detection principle of the IR sensor is built on absorption of IR light in presence of carbon-fluorine bonds, and the sensor will thus also be able to detect other relevant CFC and HCFC

⁴ Environmental project no. 1826 (2016) and no. 1827 (2016)

⁵ HCFC-gases, just as CFC-gases, contain chlorine, fluorine and carbon, but also hydrogen. HCFC-gases were used as substitution for CFC-gases, but they also have a harmful impact on the ozone layer and climate.

gases. The above-mentioned was confirmed with measurements on foam samples from pre-insulated district heating pipes collected in the project.

Measurements with the IR-technology were validated with a combination of standardized GC-FID-measurements and screening measurements with PTR-MS. PTR-MS measurements also showed that in addition to pipes with prevalent CFC-11, there were also pipes containing HCFC-141 and HCFC-142.⁶

An important part of the project work was to optimize sampling, so that the developed sensor solution was user-friendly and reliable. It was decided that the gas for measurements would be extracted from foam by destructing/compressing a small volume of foam at the end of the pre-insulated district heating pipes. The extraction was performed using an ordinary rawlplug, which also functioned as an inexpensive one-time filter to avoid clogging of the measuring tube with foam dust. The rawlplug was mounted on a specially designed probe, which was inserted in the foam with a hammer or a built-in sliding weight. The measurement can thus be carried out in an effective, user-friendly and reliable way.

The measuring method has been demonstrated several times at the reprocessing plant at Stena Recycling in Grenaa and at the excavation of old district heating pipes in many places in Aarhus Municipality. The sensor solution has functioned reliably, and the measurements may be performed by laymen after a short introduction to the sensor solution either by personal training or by following the manual.

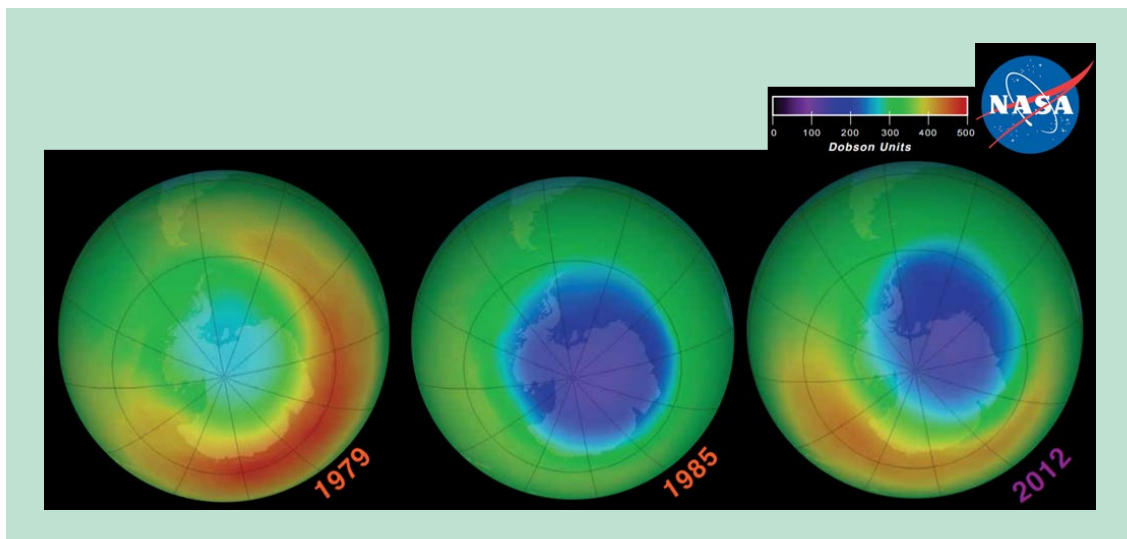
⁶ CFC-11 is the compound CCl_3F , HCFC-141 is $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2\text{F}$, while HCFC-142 is $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClF}_2$.

3. Baggrund

Dette afsnit beskriver de klimamæssige problemstillinger ved de fjernvarmerør, der blev lagt, indtil CFC-gasserne blev udfaset. Størrelsesordenen og status i dag gennemgås.

3.1 CFC-gasser og brug i isolering i fjernvarmerør

CFC/HCFC-gas (Chloro-Fluoro-Carbon/Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon), populært også kaldet Freon[®], er en gruppe af kunstigt fremstillede, ikke-brændbare og meget stabile gasser. De har tidligere været anvendt i vid udstrækning som kølemiddel i køleenheder, drivgas i spraydåser, og opskumningsmiddel til polyuretan (PUR). I 1985 blev det påvist, at de menneskeskabte CFC-gasser havde en direkte sammenhæng med en reduktion af ozonlaget over Antarktis på hele 30%. Som reaktion på dette blev der med Montrealprotokollen fra 1987⁷ igangsat en udfasning af gasserne. FIGUR 1 viser ozonlagets tilstand i 1979, 1985 og 2012, og det ses, at ozonlaget i 2012 var i bedring i forhold til 1985 – sandsynligvis som resultat at udfasningen af CFC-gasser. Udover nedbrydningen af ozonlaget er CFC/HCFC-gasserne også potente drivhusgasser, og den mest brugte CFC-gas til fjernvarmerør (CFC-11) har en drivhuseffekt, der er 4.660 gange større end CO₂⁸.



FIGUR 1. Udvikling i ozonlagets tilstand over tid. Der blev observeret en betydelig forværring fra 1979 til 1985, mens tilstanden i 2012 var lettere forbedret i forhold til 1985.

Som et led i udfasningen har der også været stor fokus på håndteringen af affaldsprodukter, og specielt køleenheder indeholdende CFC-gasser har været i fokus. Der har i mindre grad været fokuseret på et andet udbredt produkt, nemlig præisolerede fjernvarmerør, som, hvad staldelen angår, kan genanvendes. Fra 1962 og frem til 1994 er der i Danmark fremstillet og

⁷ <https://mst.dk/kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-stoffer/ozonlags-nedbrydende-stoffer/international-regulering/>, besøgt d. 3/1 2019

⁸ Greenhouse gas Protocol – Global Warming Potential Values - https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf (tilgået 12/11 2018)

nedgravet ca. 26.000 km fjernvarmerør isoleret med PUR (polyurethan), som primært er opskummet med brug af CFC/HCFC-gas.⁹ Set ud fra den forventede levetid for præisolerede fjernvarmerør forventes det, at mængden af rør til genanvendelse vil stige markant de kommende 5-20 år med sorteringsmæssige udfordringer til følge. Det er estimeret, at der er ca. 4.000-4.500 tons CFC-gas indkapslet i fjernvarmerør alene i Danmark, svarende til omkring 1/3 af Danmarks samlede årlige CO₂-udledning.¹⁰ Problemstillingen er langt fra et isoleret dansk fænomen, men er også aktuell i mange andre nord- og østeuropæiske lande og i Tyskland. Miljøstyrelsen har senest i 2016 udvalgt dette emne til nærmere undersøgelse for at sikre forsat mulighed for at genvinde stålet i brugte præisolerede fjernvarmerør på miljømæssigt forsvarlig vis.¹¹

3.2 Status i dag

I dag opgraves ca. halvdelen af de brugte fjernvarmerør ved udskiftning, hvorefter de neddeles med henblik på at genvinde stålet. De resterende fjernvarmerør efterlades i jorden uden yderligere håndtering. De efterladte rør udgør ikke en øjeblikkelig miljørisiko, da udsivningen af gassen er meget lille. Neddelingsproblematikken bliver imidlertid blot udskudt til det tidspunkt i fremtiden, hvor rørene formodentlig skal graves op.

Ved neddeling af fjernvarmerørene frigives stort set al den gas, som er indeholdt i PUR-skumisoleringen, til miljøet. CFC/HCFC-gas er ikke umiddelbart skadelig for de personer, som håndterer rørene, men er yderst skadelig for miljøet i form af nedbrydning af ozonlaget og er samtidig en medvirkende faktor ved klimaforandringerne i form af en meget kraftig drivhuseffekt. Som tidligere nævnt antages det, at der i de nedgravede fjernvarmerør findes CFC-gas med en potentiel drivhuseffekt svarende til ca. 1/3 af Danmarks årlige CO₂-ækvivalent udledning. Den betydelige ressource i form af stål, som de CFC-holdige fjernvarmerør udgør, er fortsat ønskværdig at udnytte uden at påvirke miljøet unødigt ved at kunne håndtere dem på en miljømæssigt forsvarlig måde på genvindingspladserne.

3.3 Motivationen for målemetoden

For at muliggøre en miljømæssigt forsvarlig og effektiv håndtering af CFC-gassen og forsat sikre, at stålet i præisolerede fjernvarmerør kan genvindes, er det nødvendigt at vide, om der er CFC-gas i isoleringssskummet. For at fastslå, hvorvidt der er CFC-gas i isoleringen, kræves i dag en procedure, hvor en skumprøve udtages og opløses og efterfølgende undergår dyre og tidskrævende laboratorieanalyser. Der er derfor et stort behov for at identificere og validere en praktisk og kosteffektiv målemetode til on-site detektion af CFC-gas, hvilket vil blive adresseret i dette projekt.

Den teknologiske løsning, der er udviklet i dette projekt, vil muliggøre simpel og hurtig detektion af CFC-gas i isoleringen om fjernvarmerør og dermed facilitere en genvindingsproces, hvor miljøet ikke bliver påvirket af CFC-gasserne. Med en fuldt implementeret genvindingsløsning vil man herved uden øget miljøpåvirkning kunne grave udtjente fjernvarmerør op og genvinde hele den betydelige mængde stål. Alene i Danmark vil der være tale om ca. 253.900 ton

⁹ Miljøprojekt nr. 1826 (2016) og nr. 1827 (2016)

¹⁰ CFC-11 = 4.660 x CO₂(*), og Danmarks årlige CO₂-ækvivalent udslip (**) = 49 mio. ton. Antages det, at al CFC-gas i fjernvarmerør er CFC-11, svarer udledningen af CFC-gassen fra fjernvarmerør til udledning af 18,6 mio. ton CO₂, hvilket er ca. 1/3 af Danmarks årlige udledning af CO₂.

* https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf

** <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyt/NytHtml?cid=25004> (fratrasket international skibstransport)

¹¹ Miljøprojekt nr. 1824, 1826 og 1827 (2016)

stål,¹² som kan genvindes. Da stål er udpeget som en af de ressourcer, der vil blive knaphed på i fremtiden,¹³ vil der med stor sandsynlighed blive gravet betydelige mængder fjernvarmerør op til genvinding i resten af Europa, hvor specielt de nordiske og østeuropæiske lande samt Tyskland har anvendt fjernvarme.

CFC-gasser har ikke alene været brugt til opskumning af PUR-skum til isolering af fjernvarmerør. Gasserne har også været anvendt inden for byggeri, bl.a. til at opskumme isolering omkring porte og døre og til isolering af huse¹⁴. En naturlig forlængelse af at anvende en løsning til detektion af CFC-gas i PUR-skum omkring fjernvarmerør vil være at udbrede løsningen til detektion af CFC-gas i byggematerialer og hermed også muliggøre en miljømæssigt forsvarlig håndtering af disse materialer.

Den hurtige on-site løsning til detektion af CFC-gas, der er udviklet i dette projekt, vil ikke alene have effekt i Danmark. Muligheden for at identificere store mængder CFC-gas og forhindre, at gassen lukkes direkte ud i miljøet, vil også kunne udbredes til andre lande. Eksempelvis har man i Sverige estimeret, at der ligger ca. 2.000 ton CFC-gas nedgravet i fjernvarmerør. Føjl! Bogmærke er ikke defineret.

¹² 1 km fjernvarmerør består af 9.765,5 kg stålør(*), og 26.000 km præisolerede fjernvarmerør isoleret med PUR-skum er nedgravet(**). Den samlede mængde stål, som kan genvindes fra de nedgravede rør, forudsat at alt stålet kan genvindes, er 9.765,5 kg/km x 26.000 km = 253.903.000 kg eller 253.903 ton.

*Miljøprojekt nr. 1827, 2016

**Miljøprojekt nr. 1826, 2016

¹³ Delivering the Circular Economy – A Toolkit for Policymakers – Case Study Denmark, findes på:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/programmes/government/toolkit-for-policymakers>

¹⁴ [http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/](http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-007-0/html/kap04.htm)

[87-7052-007-0/html/kap04.htm](http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-007-0/html/kap04.htm)

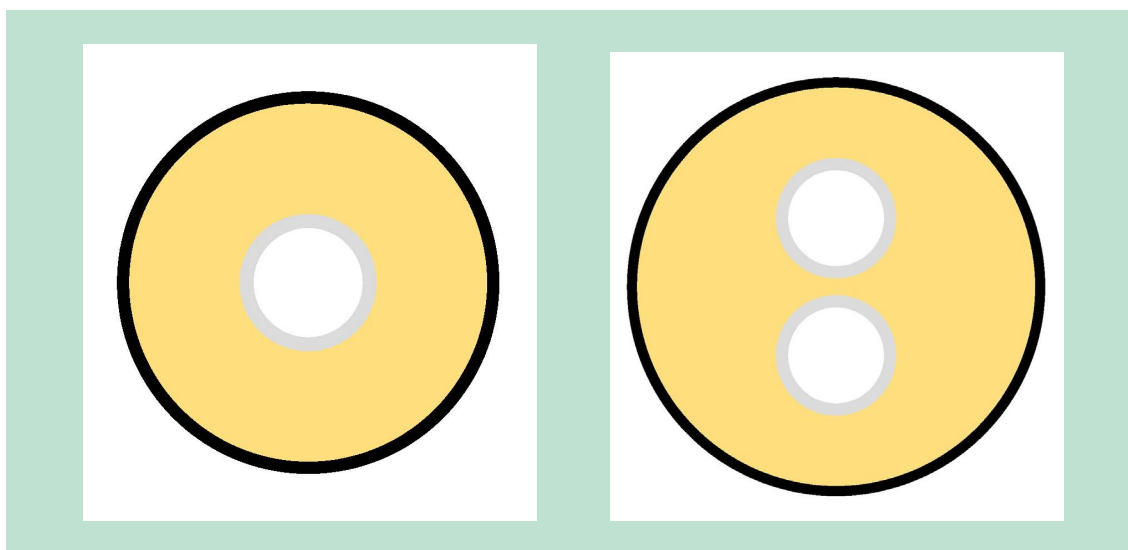
4. Præisolerede fjernvarmerør

4.1 Opbygning af præisolerede fjernvarmerør

Præisolerede fjernvarmerør er en dansk opfindelse fra starten af 1960'erne, og den nye type rør erstattede de rør, der tidligere blev lagt i betonkanaler. Formålet var i begge tilfælde at levere (spild)-varme fra centrale kraftvarmeværker for derved at undgå individuel opvarmning af bygninger med oliefyr, brændeovn eller lignende. De præisolerede rør, der er nedgravet fx i veje, er isoleret med et lag opskummet polyuretan (PUR). Opbygningen er skitseret på FIGUR 2 og består af et eller to medierør, hvori fjernvarmevandet løber, isolerende skum i form af PUR samt en ydre kappe bestående af plast (HDPE).

Under opskumningen af isoleringen blandes matrixvæsken (polyoler og isocyanater, som er byggestenene til PUR) med en opskumningsgas på væskeform, som overgår til gas under opvarmningen forårsaget af polymeriseringen af PUR. Når skummet er færdighærdet, bidrager gassen som yderligere isolering, typisk med en samlet varmekonduktivitet på 0,025 W/(m K), der vil kunne opretholdes i årtier uden nævneværdig cellegasdiffusion. Skummet er hårdt og har typisk celledimensioner på <0,5 mm.

Yderkappen af rørene består af tung polyethylen (HD-PE), som beskytter skummet mod vand, vejr og mekaniske påvirkninger. Udviklingen af præisolerede fjernvarmerør har de sidste 10-20 år - udover et tykkere isoleringslag - ført til en såkaldt twinrørskonstruktion (FIGUR 2), og der er typisk også ilagt to metaltråde i skummet til identifikation af evt. læk fra medierørene.




FIGUR 2. Opbygning af fjernvarmerør. Til venstre enkelt rør og til højre et twinrør. Den sorte yderkappe er HD-PE (3-13 mm), gul farve markerer isoleringsskum af polyuretan (PUR), grå farve markerer stålmedierøret (2-13 mm), og den hvide cirkel i midten markerer mediet, der oftest er vand.

4.2 Egenskaber af opskumningsgasser til fjernvarmerør

Der har primært været anvendt to typer opskumningsmidler til isoleringsskum i fjernvarmerør: CFC/HCFC-gasser og cyclopentan. I en kort periode i 1990'erne efter udfasningen af CFC-gasser blev der anvendt CO₂, som dog viste sig at have ekstrem høj diffusion fra skummet, hvorved isoleringsevnen ikke kunne opretholdes tilstrækkelig længe.

Af TABEL 1 fremgår de kemiske, tekniske og klimamæssige egenskaber af CFC/HCFC-gasser og cyclopentan til opskumning af isolering af fjernvarmerør.

TABEL 1. Egenskaber af CFC/HCFC-gasser og cyclopentan.

	CFC-/HCFC-gasser	Cyclopentan
Kemisk struktur	CFC: $\text{CCl}_m\text{F}_{4-m}$ og $\text{C}_2\text{Cl}_m\text{F}_{6-m}$ HCFC: $\text{CCl}_m\text{F}_n\text{H}_{4-m-n}$ og $\text{C}_2\text{Cl}_x\text{F}_y\text{H}_{6-x-y}$ Hvor m, n, x, y er forskellig fra 0	C_5H_{10} : 
Kogepunkt¹⁵	CFC11 / CCl_3F : 24 °C HCFC-113 / $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$: 47 °C HCFC-141b / $\text{C}_2\text{H}_3\text{FCl}_2$: 32 °C HCFC-142b / $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$: -9 °C HCFC-150 / $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$: 84 °C	49 °C
Flammepunkt¹⁶	CFC-11: ikke-brændbar HCFC-113: 195 °C HCFC-141b: ikke-brændbar HCFC-142b: ikke-brændbar HCFC-150: 13 °C	-37 °C
Produktionsår (cirkatal)	CFC-11 1960-1992 (udelukkende frem til ca. 1985) HCFC 1990-1992	1989/1992 til i dag
Arbejds miljø	Gasserne er ikke giftige (CFC-11) eller svagt giftige (HCFC). Der er ikke eksplosionsfare under neddeling (medmindre skummet findeles)	Brandfarligt Eksplosionsgrænse (LEL, UEL) 1-9 % Tydelig lugt (kemisk, sød) Brandfare under neddeling og klipning Arbejds miljøgrænse 1.720 mg/m ³ (US REL TWA)
Klima	CFC/HCFC nedbrydes meget langsomt i atmosfæren og er derfor meget klimaproblematisk og nedbryder ozonlaget. GWP-potentiale (CO_2 -equivalent 100 år) ¹⁷ CFC-11: 4.660 HCFC-113: 5.820 HCFC-141b: 782 HCFC-142b: 1.980	Nedbrydes hurtigt til CO_2 i atmosfæren med relativt lille miljøpåvirkning
Isoleringsklasser	1 (24-87 mm)	1-6 (1-4 fjernvarme, 5-6 fjernkøling)
Anden markering	Enkeltrør (stål)	Enkelt- og twinrør, lige (stål) og fleksible (PEX/AluPEX), kobberalarmtråde Print på rør: CP

¹⁵ NIST

¹⁶ Flammepunkt er baseret på middelværdier fundet gennem <http://www.chemspider.com>

¹⁷ Greenhouse Gas Protocol – Global Warming Potential Values - https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf (tilgået 12/11 2018)

4.3 Indsamling af rør

I projektet er der indsamlet ca. 35 rørprøver fra forskellige steder i Danmark. Alle rørprøverne forventedes at indeholde CFC-gas. Disse rørprøver stammer fra en række forskellige fjernvarmeselskaber, som har foretaget udskiftning af rør i projektperioden. Rørprøverne er primært indsamlet i perioden december 2016 til april 2017 og er opbevaret udendørs i hele projektperioden.

Rørene er indsamlet fra Helsingør, Hobro, Holstebro, Silkeborg, Vejle og Aarhus. Dimensionerne på de indsamlede rør var mellem DN20 og DN150 svarende til størrelser mellem 26,9/90 mm og 168,3/250 mm. De oprindelige rørlængder (i tracé) er ikke kendte, og der blev indsamlet ca. 1-2 m lange rørstykker til projektet. Der har for de fleste dimensioners vedkommende været parvise stykker (frem/retur) undtagen fra Hobro og Vejle, hvor de blev udtaget fra store blandede bunker.

Derudover er et mindre antal rør blevet opsamlet på genanvendelsespladsen hos Stena Recycling i Grenaa.

5. Krav til sensorløsning og udvælgelse af teknologi

I dette kapitel gennemgås kravene til den udviklede løsning samt overvejelser omkring valg af sensorteknologi.

5.1 Forventninger til brug af udstyret

Der blev taget udgangspunkt i, at udstyret skal bruges on-site, fx:

- I forbindelse med opgravning af fjernvarmerør
- På pladser, hvor stål oparbejdes (fx hos Stena Recycling)

5.2 Kravspecifikation

Ud fra ovenstående forventninger og på baggrund af krav og ønsker fra slutbrugere blev der sammensat en kravspecifikation. De overordnede krav til den udviklede løsning til detektion af CFC- og HCFC-gasser var:

- Skal kunne skelne CFC-/HCFC-gasser fra cyclopentan, CO₂ og atmosfærisk luft
- Skal kunne udføres on-site, hvilket vil sige udenfor i al slags vejr (-10 °C til 30 °C og vådt som tørt)
- Skal kunne måle hurtigt – en måling må maksimalt tage 60 sekunder
- Skal kunne operere med et minimum af vedligehold
- Skal være håndholdt/mobilt – højst 30 cm x 20 cm x 10 cm og højst 2 kg
- Skal være økonomisk og brugervenlig.

5.3 Målingsstrategier

De mest gængse opskumningsgasser benyttet i præisolerede fjernvarmerør er cyclopentan, CO₂ og CFC-11. Derudover er nogle HCFC'er (HCFC-141b, HCFC-142b, og HCFC-150) benyttet. CO₂ blev dog kun brugt i en meget kort periode. Der blev derfor identificeret to mulige målingsstrategier:

1. Ideelt set detekteres det, om der er CFC eller HCFC i isoleringen, og der sorteres baseret på dette.
2. Alternativt kan det detekteres, om der er cyclopentan i skummet. Er dette tilfældet, frikendes røret for at indeholde CFC og HCFC. Er det ikke tilfældet, antages røret at indeholde CFC eller HCFC. Dette vil dog medføre, at en lille mængde rør, som er udgasset eller indeholder CO₂, vil blive kategoriseret som indeholdende CFC eller HCFC.

5.4 Screening af sensorteknologier

Ud fra de kriterier, der blev defineret i kravspecifikationen, blev forskellige sensorteknologier screenet. Udelukkende teknologier, der kunne gøres transportable, og som kunne give et testresultat inden for et minut, blev udvalgt til nærmere undersøgelser.

Røntgenfluorescens

Røntgenfluorescens (XRF) er en udbredt analysemetode til bestemmelse af en prøves grundstofsammensætning, oftest af grundstofferne fra natrium og tungere i det periodiske system. XRF-udstyr er kommercielt tilgængeligt både som stationært og håndholdt udstyr. Teknikken er velfunderet og er testet under forskellige forhold.

CFC- og HCFC-gasser er karakteriseret ved et højt indhold af klor og/eller fluor. Dog er det vanskeligt at få information om fluorindholdet ved hjælp af XRF, hvorfor klor vil være den eneste indikator for tilstedeværelse af gasserne. Desuden giver teknikken ikke direkte information om kilden til klor, hvorfor tilstedeværelsen af andre stoffer indeholdende klor vil kunne give anledning til falske positive resultater.

Prisen for håndholdt XRF-udstyr ligger omkring 250.000 kr.

Infrarød absorption

De fleste molekyler, inklusive CFC- og HCFC-gasser, absorberer lys i det midt-infrarøde område ved specifikke frekvenser svarende til specifikke vibrationelle tilstande i molekylet. Absorptionerne kan korreleres med bindinger eller kemiske grupper i molekylet ud fra deres spektrale placering og styrke, og teknikken kan således benyttes til at opnå information om molekylets opbygning og koncentration.

CFC- og HCFC-gasser indeholder alle fluor bundet til kulstof. Denne type af bindinger giver anledning til en stærk absorption af infrarødt lys i området $1000-1400\text{ cm}^{-1}$ svarende til bølgelængder omkring $9\text{ }\mu\text{m}$, hvilket benyttes i infrarøde (IR) sensorer til gasserne.

Det er ikke et problem med sensorforgiftning. Teknikken kan måle på meget høje koncentrationer, og der findes relativt små og billige sensorer på markedet. Der kan være problemer med krydsinterferens fra andre gasser. Der vil desuden være behov for at indbygge IR-sensorerne i et instrument med pumpe, filter, databehandling m.m. Alternativt kan der købes sensorer, der allerede er integreret med pumper, filtre m.m. og indpakket.

Høj luftfugtighed kan give problemer for målingerne og for udstyret. Støv og vanddråber kan ligeledes være et problem, men til denne type brug vil et filter sandsynligvis kunne bruges, og derved kan problemer med støv og vanddråber elimineres eller begrænses stærkt.

Prisen for en "rå-sensor" er i størrelsesordenen 3.000-5.000 kr., og et færdigbygget udstyr 25.000-50.000 kr.

Ramanspektroskopi

Ramanspektroskopi giver - ligesom infrarød absorption – information om vibrationelle tilstande i molekyler. Teknikken benytter en laser til at belyse prøven, og det lys, der efter interaktion med prøven har skiftet energi i forhold til det indkomne laserlys, detekteres.

Hvad angår infrarød absorption kræves der mere avanceret udstyr, idet der skal benyttes såvel en stabil laserkilde som forstærkning, da Ramansignaler er meget lave. Til gengæld er Ramanspektroskopi ikke påvirket af høj luftfugtighed. Tilgængeligheden af kommercielt, håndholdt Ramanudstyr er meget begrænset.

Photo ionisation detector (PID)

Fotoioniseringsdetektorer benyttes ofte til at bestemme indholdet af flygtige organiske forbindelser - såkaldte volatile organic compounds (VOC'er) - på gasfase. Teknikken benytter sig af fotoionisering ved UV-lys og efterfølgende måling af antallet af ioniserede molekyler. De kommercielt tilgængelige sensorer er ikke designet til CFC-gasser, da disse har et for højt ioniseringspotentiale i forhold til de kommercielt anvendte lyskilder. Teknikken har derfor begrænset relevans til måling af CFC-gasser, om end cyclopentan kan detekteres som en alternativ udelukkelsesmetode beskrevet i afsnit 4.3. Prisen for et færdigbygget udstyr ligger på ca. 25.000.

Termisk konduktivitet

Termisk konduktivitet af en gas kan bestemmes ved at bestemme varmeafgivelsen fra et opvarmet filament/ledning omgivet af gassen. CFC-gasser er kendt for deres lave termiske kon-

duktivitet, og tilstedeværelsen af CFC-gasser vil således give anledning til et fald i den termiske konduktivitet i forhold til ren atmosfærisk luft. Tilstedeværelsen af forhøjede koncentrationer af CO₂ eller cyclopentan vil dog også give anledning til et fald i den termiske konduktivitet, hvorfor teknikken ikke kan benyttes til detektion af CFC i præisolerede fjernvarmerør. Desuden er teknikken ikke god til detektion af lave koncentrationer af gasser.

Heated diode

Heated diode-sensorer kan måle gasser indeholdende halogener. Dette sker ved at måle den strøm, der genereres, når alkalimetallatomer reagerer med halogenatomerne, der grundet en meget høj temperatur er blevet splittet fra gasmolekylerne. Den meget høje temperatur (omkring 800 °C) gør sensoren uegnet til brug nær brandbare gasser. Da mange præisolerede fjernvarmerør er opskummet med cyclopentan – en meget brandbar gas – er det ikke oplagt at benytte denne type sensor. Derudover skal sensoren udskiftes med jævne mellemrum, hvilket under normalt brug (identifikation af mindre lækager i kølesystemer) er efter 100 timers brug, men ved høje koncentrationer af halogenerede gasser vil det være oftere.

5.5 Valg af detektionsprincipper og udstyr

Opsummering af fordelene og ulemperne ved de screenede sensorteknologier er givet i TABEL 2 nedenfor.

TABEL 2. Opsummering af fordele og ulemper ved de forskellige sensorteknologier.
+ betyder god, 0 betyder neutral og – betyder problematisk.

Teknologi	Pris	Selektivitet	Levetid	Tilgængelig og gennemprøvet	Sikkerhed
IR	0	+	+	+	+
XRF	-	0	+	+	+
Raman	0	+	+	+	+
PID	+	-	+	-	+
Termisk konduktivitet	+	-	+	+	+
Heated diode	+	+	-	+	-

Baseret på resultaterne fra screeningen beskrevet i afsnit 4.4 blev to sensorteknologier udvalgt til test:

1. IR-baseret sensorteknologi til detektion af CFC-gasser – da denne teknologi er moden, selektiv og relativt billig.
2. En fotoioniseringsdetektor (PID), som kan detektere cyclopentan – da denne teknologi er gennemprøvet og god til detektion af cyclopentan.

Ud fra screeningen og på baggrund af kontakt til leverandører af IR-udstyr var der god evidens for, at en IR-sensor ville kunne detektere CFC- samt HCFC-gasser, hvorved detektion af cyclopentan med en PID blot ville være til verifikation af metoden og til at indsamle ekstra information og erfaring med måling på gas fra skum.

Den primære producent af IR-udstyr til detektion af CFC samt HCFC er Bacharach (fra USA), som bl.a. producerer læksøgere til køleindustrien. GasDetect er forhandler for Bacharach i Danmark. Gennem dialog med firmaet blev to stykker IR-baseret måleudstyr identificeret. Begge typer af IR-måleudstyr måler absorptionen af lys med bølglængder omkring 9,25 µm, hvilket stemmer overens med absorptionen for kulstof-fluor-bindinger, hvorfor både CFC- og HCFC-gasser kan detekteres. De to måleinstrumenter var:

- Tru Pointe IR, som er en håndholdt udgave. Denne udgave giver et respons mellem nul og otte og måler forskelle i koncentrationer, så man – i tilfælde af læk søgning – kan identificere lækket ved at gå mod altid stigende koncentrationer.
- PGM-IR, som er lidt større end Tru Pointe IR og derfor kommer i en skuldertaske. Til gengæld kan udstyret beregne absolutte koncentrationer. Et display viser den beregnede koncentration af CFC-gas (eller HCFC), og udstyret har et kulfilter, så der løbende foretages nulmålinger i felten.

Projektpartnerne havde allerede en håndholdt PID-sensor fra Dräger, som opererer med en lampe med fotonenergier på 10,6 eV, hvilket er nok til at ionisere – og derved detektere – cyclopentan, men ikke CFC- og HCFC-gasser. Denne sensor blev benyttet til forsøg i dette projekt. De tre måleinstrumenter kan ses i FIGUR 3.



FIGUR 3. De tre måleinstrumenter: Tru Pointe IR (venstre), PGM-IR (midten) og PID-sensoren (højre).

6. Laboratorietest af sensorteknologier

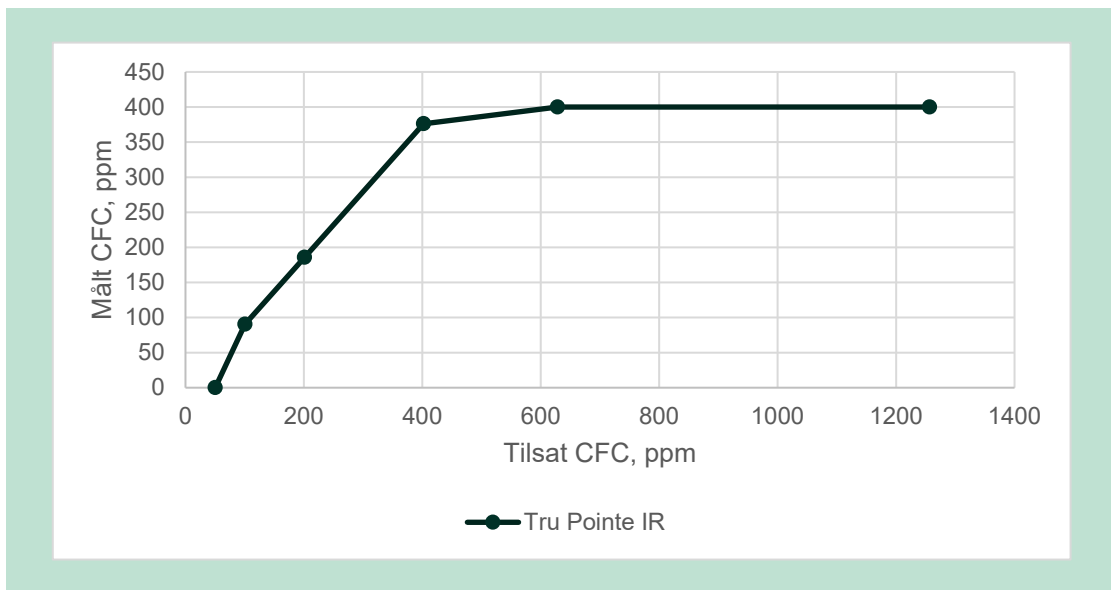
I dette kapitel beskrives resultaterne fra de udførte laboratorietests med IR-sensorer og PID-sensoren.

6.1 Test af IR-baserede sensorer

De to stykker IR-baserede udstyr er begge blevet testet i laboratoriet ved at udsætte dem for kendte koncentrationer af CFC-11 (trichlorofluoremethan) samt høje koncentrationer af cyclopentan.

6.1.1 Tru Pointe IR

Det håndholdte Tru Pointe IR-udstyr er udviklet til identificering af læk i kølesystemer og måler derfor ændringer i koncentrationen af gasser indeholdende fluor-carbon-bindinger (CFC, HCFC samt evt. andre gasser med denne type bindinger). Da det er ændringen, der registreres, giver udstyret ikke direkte en måling af koncentrationen af de relevante gasser, men derimod lyser et antal dioder (mellem nul og otte) på udstyret. Dette er forsøgt korreleret med den kendte koncentration af CFC-11 i FIGUR 4, hvor det ses, at sensoren går i mætning ved koncentrationer mellem 400 og 600 ppm.



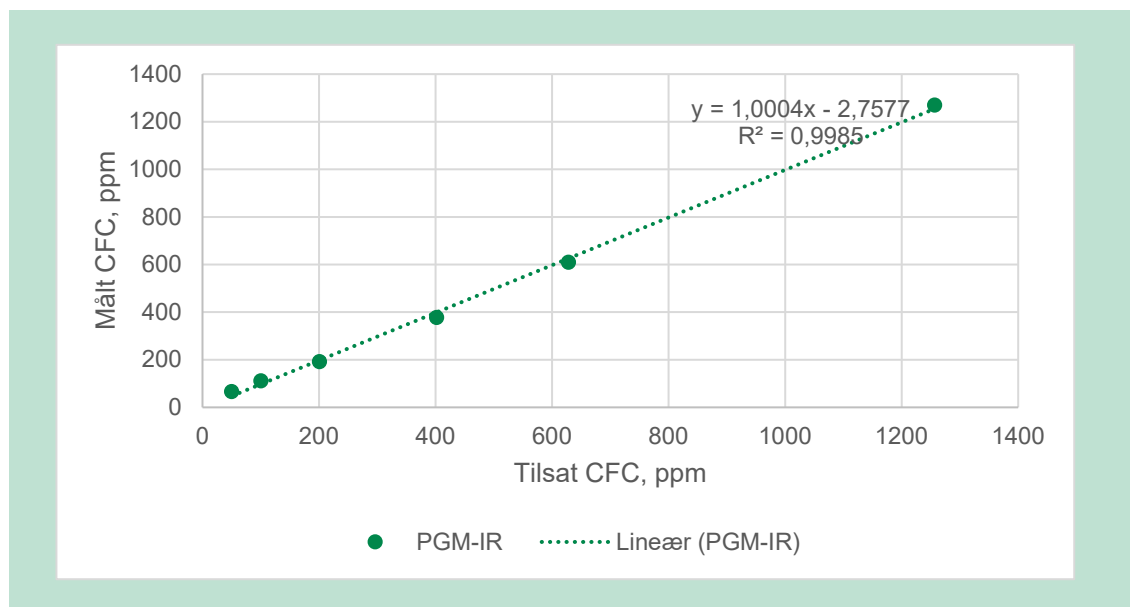
FIGUR 4. Respons af Tru Pointe IR udsat for kendte koncentrationer af CFC-11.

Mætningen af sensoren ved relativt lave koncentrationer af CFC-11 gas og de relative målinger gør desværre udstyret uegnet til målinger på præisolerede fjernvarmerør. Desuden påvirker luftfugtighed, trykændringer og svage mekaniske stød målingerne, hvilket gør anvendelsen af udstyret vanskeligt til formålet.

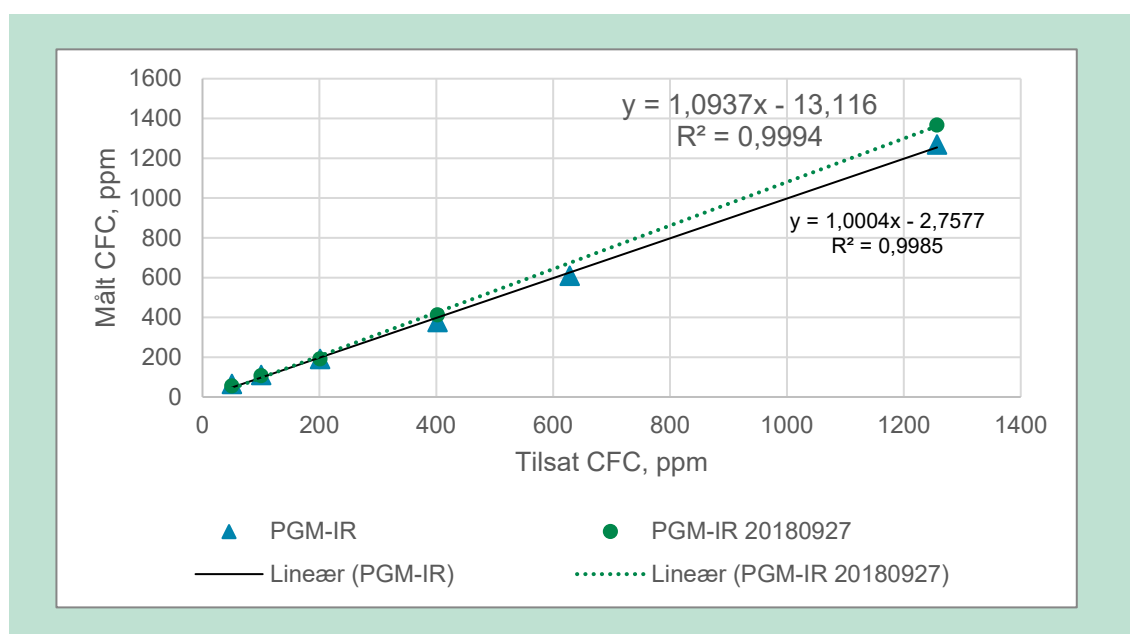
6.1.2 Bacharach PGM-IR

De første resultater fra laboratorieforsøg med CFC-11 er vist i FIGUR 5. PMG-IR-udstyret viser rigtig god linearitet. Udstyret har et meget større måleområde end vist i figuren og går først i mætning ved 65.000 ppm svarende til 6,5 % CFC-11 i luft.

Samme type målinger, som vist i FIGUR 5, er blevet gentaget efter ca. 10 måneders brug af udstyret. I mellemtiden har udstyret været benyttet til måling på rørprøver hos Teknologisk Institut og i diverse feltmålinger. En sammenligning af målingerne, som blev foretaget da udstyret var nyt og igen efter ca. 10 måneder, er vist i FIGUR 6. Der observeres en lille drift i resultaterne. Driften er mindre end 10 % og så lille, at en årlig eller halvårlig kalibrering af udstyret må antages at være rigeligt for at sikre pålidelige målinger.

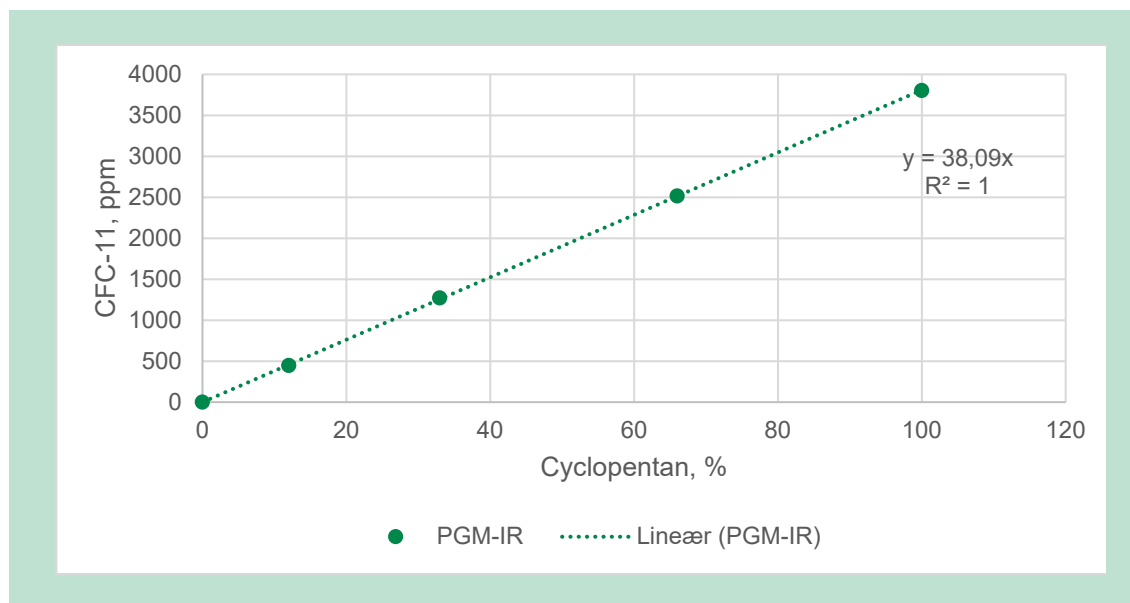


FIGUR 5. Respons af PGM-IR på kendte CFC-11-koncentrationer.



FIGUR 6. Respons af PGM-IR på kendte CFC-11-koncentrationer – efter 10 måneders brug.

Krydsfølsomheden over for cyclopentan er blevet undersøgt i laboratoriet (FIGUR 7). For PGM-IR ses et udslag på knap 4000 ppm for luft mættet med cyclopentan. Grundet (utilsigtet) fortynding af analysegassen under prøveopsamlingen af gas fra skum, forventes cyclopentan-koncentrationerne altid at være lavere end dette.



FIGUR 7. Krydsfølsomhed af PGM-IR-udstyret. Målt CFC-11-signal i ppm er plottet som funktion af procent af mættet cyclopentan (dvs. 100 % svarer til ca. 370.000 ppm ved 25 °C).

6.2 Laboratorietest af PID-sensoren

Der blev foretaget målinger med PID-sensoren på stykker af skum fra nye præisolerede fjernvarmerør, som med sikkerhed indeholdt cyclopentan, men ikke CFC eller HCFC. Alle målinger på skummet fra nye rør gav anledning til høje målinger på PID-sensoren, mens målinger på skum fra ældre rør, som forventes at indeholde CFC-gas, ikke gav anledning til noget signal på PID-sensoren.

PID-sensoren viste således tilfredsstillende resultater i forhold til at kunne bruges til negativ bestemmelse ved at identificere cyclopentanholdige rør. Der er ikke udført yderligere undersøgelser af den negative bestemmelse.

6.3 Konklusion og valg af sensor til videre arbejde

PID-sensoren havde vist lovende resultater i forhold til at identificere rør med cyclopentan, mens de to IR-baserede sensorer havde vist lovende resultater i forhold til at identificere rør med CFC-11. Da IR-sensorerne kan give en positiv bestemmelse af CFC-11, kan disse også detektere de øvrige relevante CFC- og HCFC-gasser, da detektionsprincippet bygger på absorption af IR-lys på grund af tilstedeværelsen af kulstof-fluor-bindinger.

Det blev derfor valgt af fokusere på IR-sensorteknologien i den resterende del af projektet. Især resultaterne opnået med PGM-IR-udstyret i laboratoriet blev vurderet meget lovende. Det forventedes, at der kunne defineres en grænseværdi baseret på målinger med dette instrument, som ville kunne benyttes til sortering af præisolerede fjernvarmerør.

Tru Pointe IR-udstyret var derimod ikke egnet til anvendelsen pga. mætning af sensoren og på grund af den usikkerhed, der opstår på grund af de relative målinger og følsomheden over for omgivelserne.

7. Udvikling af måleprobe

En væsentlig del af projektet har været at optimere prøveudtagningen, så den udviklede løsning er brugervenlig og pålidelig.

7.1 Krav og overvejelser

Gasudtagningen fra skummet er vigtigt for selve målemetoden. Det har været et udtalt ønske, at brugervenligheden var i fokus, og at der ikke skulle foretages komplicerede udboringer eller fx kemisk opløsning af skummet. Derfor blev det valgt, at gassen til målingen skulle trækkes ud af skummet ved at destruere/komprimere et lille volumen af skummet i enden af de præisolerede fjernvarmerør. Dette kræver et dedikeret stykke udstyr, dvs. en probe, da PUR-skummet er hårdt og ikke umiddelbart kan knuses uden værktøj.

Det er desuden nødvendigt, at målemetoden er pålidelig og reproducerbar, så selve måltagningen ikke bidrager væsentligt til usikkerheden ved metoden. Derfor er det vigtigt, at gassen udtages på samme måde hver gang.

Skummet (PUR-skelettet og opskumningsgassen) fra forskellige rør kan have forskellig densitet, og det er ikke hensigtsmæssigt at skulle tage højde for denne faktor under måltagningen. Fremgangsmåden er derfor at lade måleinstrumentet suge gassen fra et veldefineret volumen af destruerede skumceller.

Knust PUR-skum danner et meget fint og klæbrigt pulver, som meget let kan forurene måleudstyret. Ved gentagen brug vil pulveret klumpe sammen til en tæt prop, som kan stoppe måleudstyret. Der skal derfor anvendes filtre, så denne tilstopning undgås.

I designet har der også været fokus på ergonomien, arbejdssikkerheden og holdbarheden.

7.2 Designiterationer

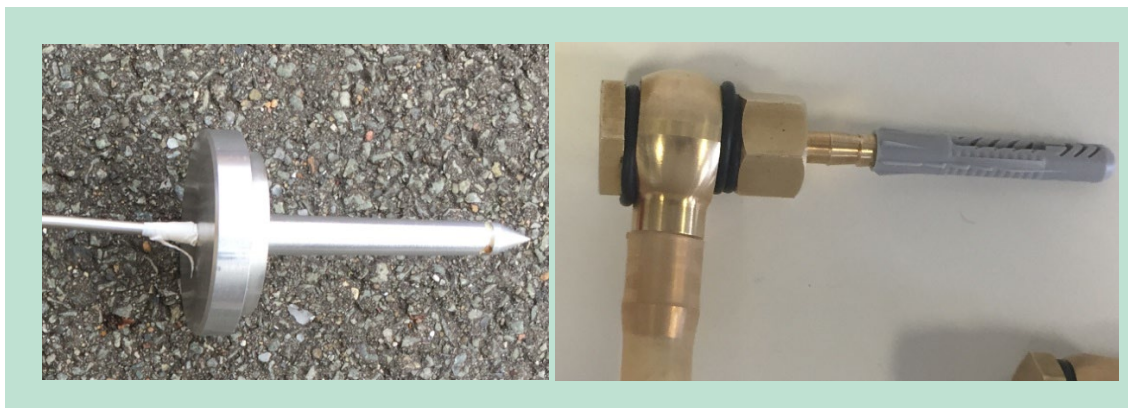
Der er blevet designet, udformet og testet tre versioner af proben. Første og anden udgave er vist i FIGUR 8. Den endelige udgave er beskrevet i detaljer i afsnit 6.3.

Den første version af proben blev udformet som et hult spyd med to huller tæt på spidsen, som presses ind i skummet. Gassen fra de komprimerede celler suges igennem to huller ind i hulrummet på langs af spyddet. Denne udgave fungerede som proof-of-principle og muliggjorde de første reelle målinger på skum fra fjernvarmerør. Desværre stoppede hullerne og hulrummet meget hurtigt til med PUR-støv, hvilket besværliggjorde målingerne, da spyddet ofte skulle renses med trykluft. Desuden var ergonomien af proben ikke tilfredsstillende, da der ikke kunne anvendes slagværktøj til at indføre proben pga. den centrale placering af slangen, der benyttes til at få suget gassen hen til måleudstyret.

I designet af de næste versioner af proben er der taget højde for problemet med ophobning af PUR-pulver og tilstopning af måleproben. Dette blev gjort vha. en rawlplug (beregnet til montage i væg), der fungerer som et økonomisk engangsfilter. Rawlpluggen bliver monteret på spidsen af proben, og denne hamres ind i skummet. Efter endt måling hives proben ud, mens rawlpluggen oftest bliver siddende i skummet. En måling kan derved foretages på ca. 30 sekunder og har en meget lille omkostning i form af en rawlplug.

I anden version af proben (højre side i FIGUR 8) blev en slangestuds på en såkaldt banjonipæl anvendt. Det viste sig dog at være svært at tætne banjonipælen tilfredsstillende når den

også skal holde til slag med en hammer på den flade side. Desuden manglede der et håndtag til at holde selve proben med. Disse problemer blev der taget hånd om i sidste udgave af proben.



FIGUR 8. Første og anden udgave af proben. Funktionen af den første probe er som et hult spyd, som presses ind i skummet. Ved anden udgave anvendes en rawlplug som filter, og en såkaldt banjonippel bruges til at føre gassen fra rawlpluggen til slangen.

7.3 Den endelige udgave af probe

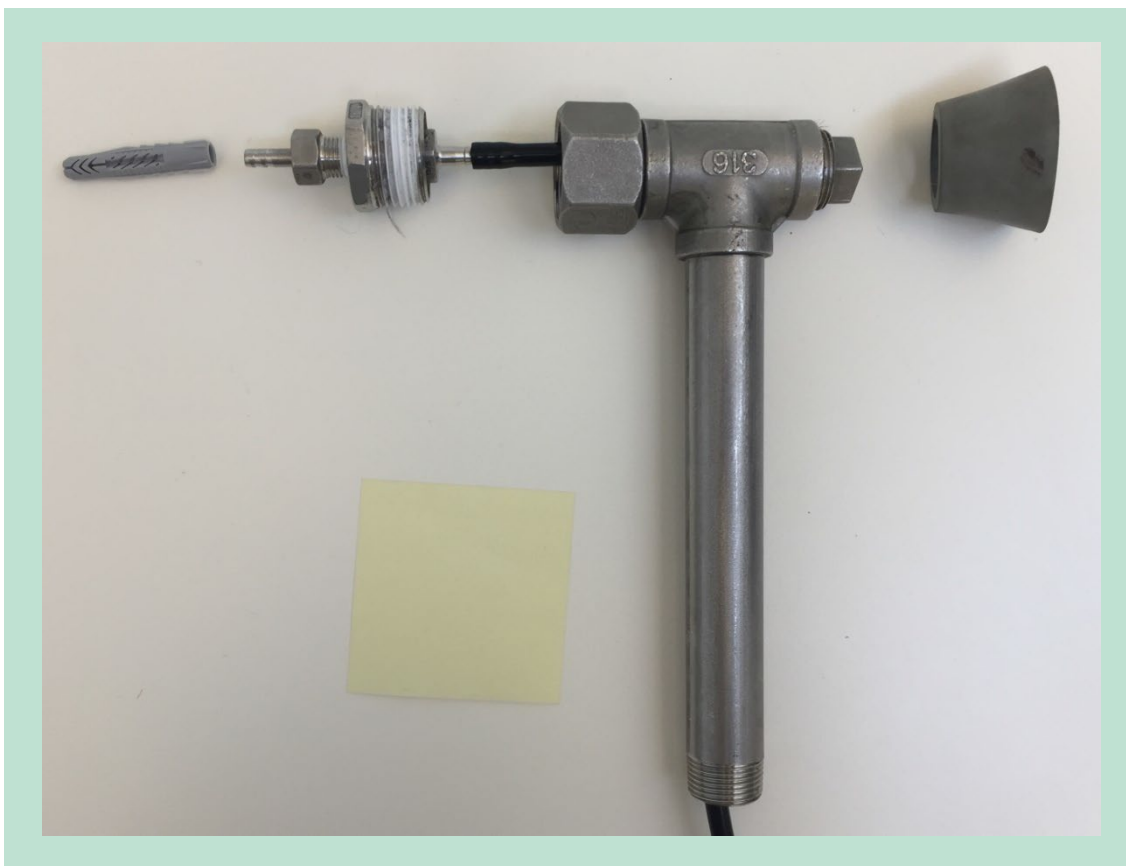
Baseret på erfaringerne fra de foregående udgaver af proben blev den endelige udgave af proben designet, som vist i figur FIGUR 9. Den er udført i rustfrit stål (316) beregnet til rørsystemer og er derfor tilpas mekanisk robust og tager ikke skade af vand. Det lange (nippel)rør fungerer som håndtag, og måleslangen er ført igennem håndtaget og tilsluttet en slangestuds. Denne slangestuds har forbindelse til en anden slangestuds, som fungerer som holder for rawlpluggen.

De materialer, der er anvendt til den endelige probe, er således:

- $\frac{3}{4}$ " \times 200 mm nippelrør
- $\frac{3}{4}$ " T-stykke
- $\frac{3}{4}$ " prop
- $\frac{3}{4}$ " \times 1" nippelmuffe
- $\frac{1}{4}$ " \times 1" reduktionsnippel
- $\frac{1}{4}$ " \times 6,3 mm slangenippel
- $\frac{1}{4}$ " \times 6,3 mm slangenippel neddrejet til 6 mm og afkortet til to "led".

Der er eksperimenteret med en del forskellige rawlplugs på markedet, og den, der er fundet bedst egnet, er Fischer rawlplugs UX-8x50¹⁸, se FIGUR 10. Den har fornuftige dimensioner, den slutter tæt om slangestudsens og har ikke for store huller. Den har også en tilpas stivhed og styrke, så den ikke flekser eller bukker under indhamringen i skummet. Desuden er den let tilgængelig på markedet og kan købes i de gængse byggemarkeder. Det anbefales ikke at anvende andre typer eller størrelser af rawlplugs til målingerne.

¹⁸ <https://www.fischerdanmark.dk/da/produkter/almindelig-befaestigelse/universalduebel-ux/universalduebel-ux>, <https://ao.dk/dybel-allround-ux-8-x-50-pk-50-892300430>



FIGUR 9. Den tredje version af proben (uden slaglod). Den er udført i rustfrit stål, og den sorte gasslange er ført helt igennem hovedet til en slangestuds, der er forbundet til en anden slangestuds med rawplug.



FIGUR 10. Den anvendte rawplug er af typen UX-8x50 fra Fischer.

Der er endvidere eksperimenteret med forskellige metoder til at hamre proben ind i skummet, se FIGUR 11. Den simple løsning er at anvende en hammer og banke direkte på proppen. Der kan anvendes en form for nylonhammer eller lignende, så der ikke er metal-mod-metal-kontakt. I praksis fungerer en hammer ganske godt sammen med proppen. Alternativet til en hammer er at fastmontere et såkaldt slaglod til proppen i enden. Slagloddet er tilpasset proppen og er ikke en standardvare og har derfor en væsentligt højere pris end en hammer. Den store fordel ved slagloddet er, at loddet er fastmonteret som en del af udstyret. For at forebygge, at slagloddet kan klemme en finger mellem loddet og proppen, er der indsat en gummitragt, som forhindrer, at en finger kan komme ind til proppen. Ulempen med slagloddet er, at prøvetagning i meget snævre omgivelser ikke er mulig. Desuden tilføjer loddet en del vægt til proppen, som kan være en belastning ved gentagen brug.



FIGUR 11. Anvendelse af nylonhammer (til venstre) eller slaglod (til højre) til at hamre proben ind i skummet.

Funktionen af proben

I de følgende billeder beskrives funktionen af proben, og hvordan målingen i praksis foregår. Udstyret i sin helhed med proben, måleinstrumentet og dertilhørende udstyr er vist i FIGUR 12. Funktionen af proben er groft beskrevet i FIGUR 13, mens en udførlig vejledning til selve måletagningen og fortolkning af resultatet er vedhæftet i Bilag 2.



FIGUR 12. Den komplette pakke til udførelsen af målemetoden (vist uden taske på måleinstrumentet).



1. Montér en rawplug på spidsen af måleproben



2. Placer den frie ende af rawpluggen på skummet i fjernvarmerøret
3. Slå rawpluggen helt ind i skummet ved hjælp af slaghammeren med 3-6 slag (OBS: slagloddet skal holdes, så der ikke er mulighed for at få en finger i klemme)
4. Lad måleproben sidde med rawpluggen i skummet, og afvent instrumentets reaktion (ca. 15 sekunder)

FIGUR 13. Funktionen af proben.

8. Målinger på indsamlede rør

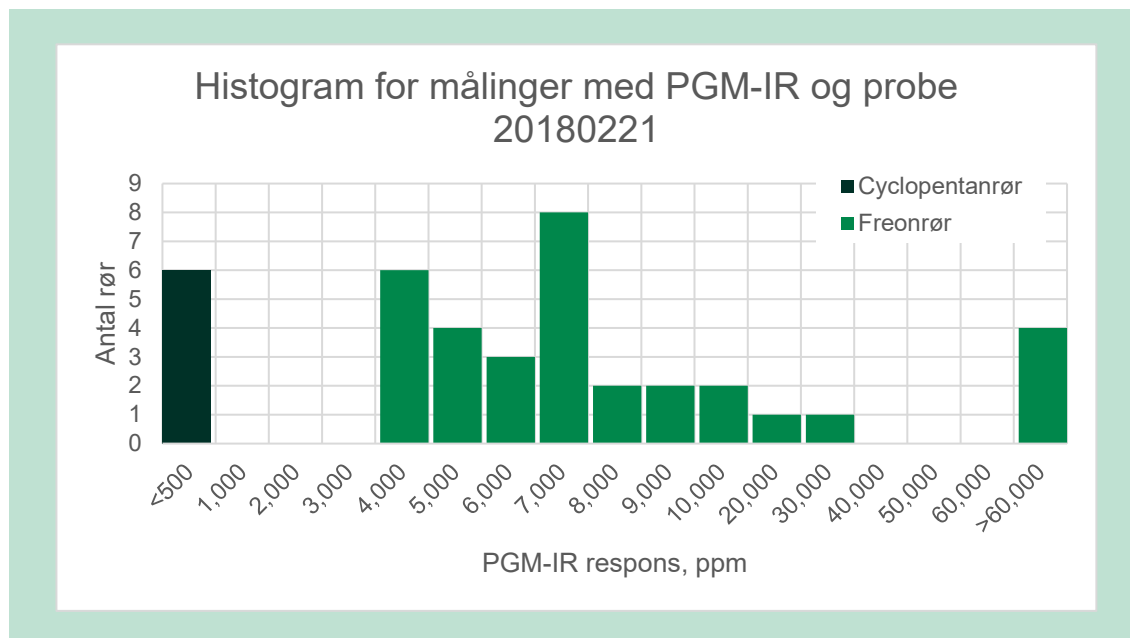
Der er foretaget målinger med den udviklede sensorløsning på rør indsamlet forskellige steder i Danmark. Disse målinger sammenholdes med resultaterne fra en standardiseret analysemetode (GC-FID) samt mere dybdegående analyser foretaget med PTR-MS for at validere den udviklede målemetode.

8.1 Måling med probe og PGM-IR

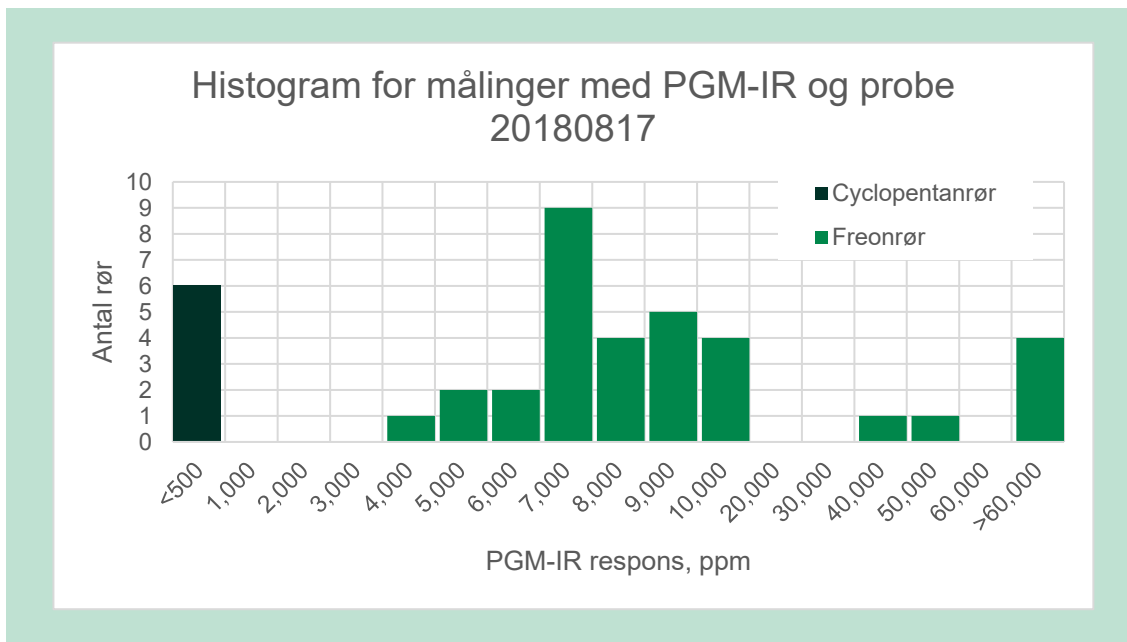
Der er foretaget målinger med gasudtagningsproben med rawlplugs som engangsfilter to gange: den 21. februar 2018 samt den 17. august 2018 – altså både i koldt og i varmt vejr. Der er målt på de samme rør begge gange, og rørene har været opbevaret udendørs mellem målingerne. Resultaterne fra de to målekampanjer kan ses i FIGUR 14 og FIGUR 15, og data er sammenfattet i TABEL 4 på side 19.

Der er lidt forskel i antallet af rør i de enkelte koncentrationsintervaller ved de to målinger. Dette kan skyldes måleusikkerheder eller det varmere vejr i august (ca. 20 °C) i forhold til februar (ca. 5 °C), som giver anledning til en større fordamning (damptryk) af opskumningsgasserne.

For begge målekampanjer er der seks rør (heriblandt de fire fabriksnye cyclopentanrør), der ikke giver anledning til høje målinger (<500 ppm), mens resten af rørene giver anledning til målinger på over 4.000 ppm. Der kan således defineres en grænseværdi på 1.000 ppm, under hvilken det er usandsynligt, at rørene indeholder CFC- eller HCFC-gas.



FIGUR 14. Antal rør med forskellige målte koncentrationer af CFC-11 – målt den 21. februar 2018.



FIGUR 15. Antal rør med forskellige målte koncentrationer af CFC-11 – målt den 17. august 2018.

8.2 Bestemmelse med GC-FID

Indholdet af cyclopentan og CFC-11 er blevet bestemt for 13 udvalgte rør ved hjælp af gaschromatografi med en flammeioniseringsdetektor (GC-FID). Der er blevet analyseret for cyclopentan, CFC-11 og HCC-150 (en HCC-forbindelse)¹⁹. Det er dog ikke muligt at adskille CFC-11 og HCFC-21 (en HCFC-forbindelse)²⁰ gaschromatografisk ved GC-FID, hvorfor resultaterne for CFC-11 i teorien skal ses som en sum af CFC-11 og R21. Indholdet af gasserne er bestemt i tripliket og som vægtprocent af skummet. Resultaterne er vist i TABEL 3.

¹⁹ 1,2-Dichloroethan (C₂H₄Cl₂), en HCC-forbindelse. Denne forbindelse er også kaldt R150.

²⁰ Dichlorofluoromethan (CHFC1₂), en HCFC-forbindelse. Denne forbindelse er også kaldt R21.

TABEL 3. Vægtprocent af de tre gasser cyclopentan, CFC-11 og R150 bestemt vha. GC-FID. Resultaterne er middelværdien af tripliktmålinger. Der er desuden foretaget ekstra dobbeltbestemmelse på flere rør.

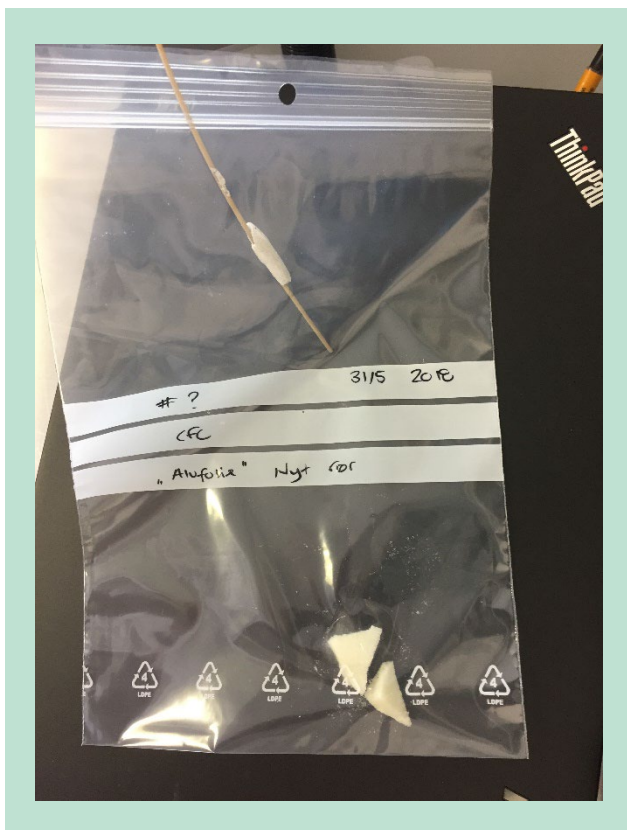
Rør nr.	Cyclopentan (w%)	CFC-11 (w%)	R150 (w%)
1	0	6,2	0
1 prøve 2	0	7,1	0
2	0	6,6	0,35
2 prøve 2	0	8,3	0,34
11	0	7,2	0
13	0	6,5	0
13 prøve 2	0	6,2	0
17	0	0	0
20	0	6,6	0
21	0	8,0	0
21 prøve 2	0	8,3	0
24	0,11	0,53	0
25	0,11	0,51	0
29	0	0	0
29 prøve 2	0	0	0
33	0	0	0
33 prøve 2	0	0	0
38 Isoplus*	1,6	0	0
39 Setpipe*	4,3	0	0
39 Setpipe*	4,3	0	0

* Nye rør direkte fra fabrik

For at identificere indholdet i de rør, der ikke gav anledning til et stærkt signal fra CFC-11 eller cyclopentan i GC-MS-analyserne, blev der foretaget PTR-MS-screening på skum fra disse rør samt referencerør.

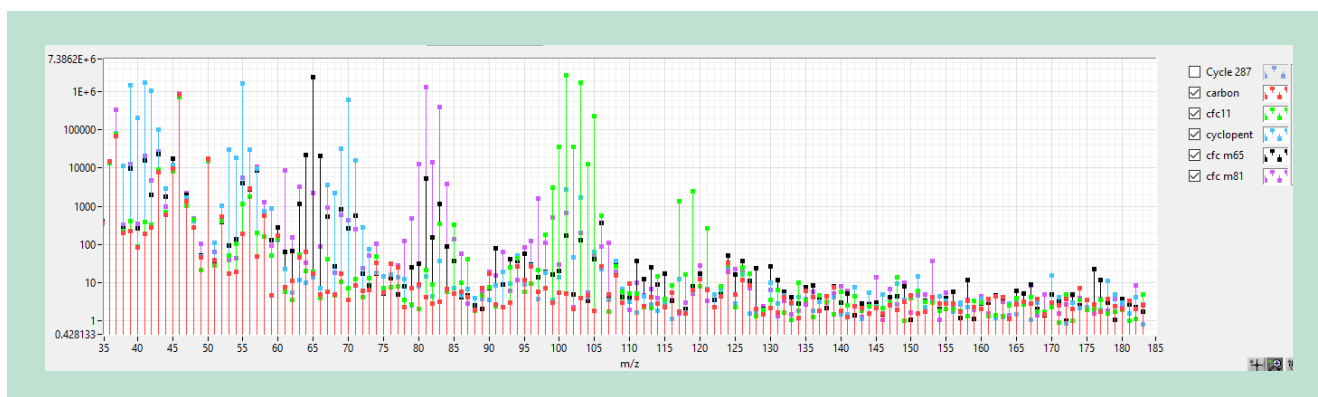
8.3 Bestemmelse med PTR-MS

Proton-transfer-reaction mass spectrometry (PTR-MS) er en analytisk metode, der i lighed med GC-FID kan analysere VOC'er. Der blev foretaget analyse af den gas, som blev frigivet ved at trykke lidt på en lille mængde skum placeret i en plastpose (se billede i FIGUR 16). Der er foretaget en ikke-quantitativ bestemmelse af indholdet af CFC/HCFC og cyclopentan med PTR-MS, ligesom det relative indhold af de forskellige gasser heller ikke er bestemt ved de udførte målinger.

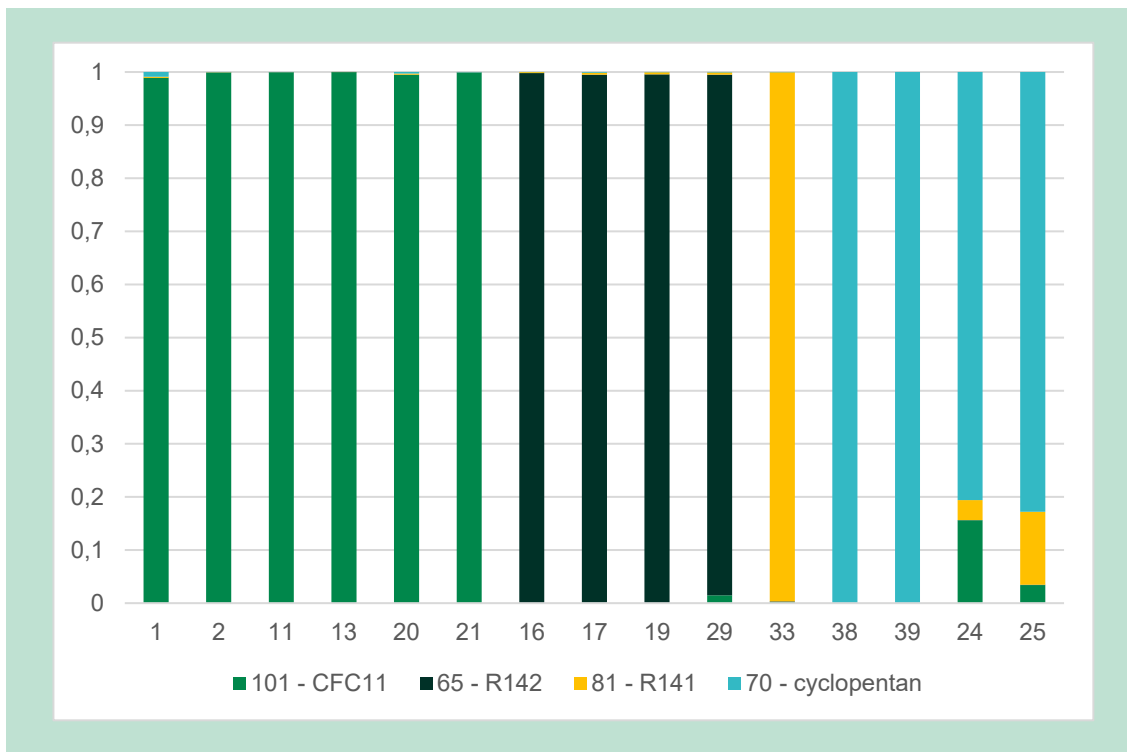


FIGUR 16. Billede af PTR-MS-måling på skum placeret i en plastikpose. PTR-MS'en suger gas igennem slangen, der er placeret i posen.

Ud over måling på skumprøverne er der målt på referencestoffer i form af CFC-11 og cyclopentan. CFC-11 og cyclopentan giver anledning til høj intensitet ved henholdsvis masse 101 og masse 70. Masser identificeret i rør, som viste begrænset udslag ved masse 101 og 70, var især masse 65 og masse 81, hvilket stemmer overens med fragmenter af henholdsvis HCFC-142 ($C_2H_3F_2Cl$) og HCFC-141 ($C_2H_3Cl_2F$). Eksempler på PTR-MS-spektre kan ses i FIGUR 17, og den relative intensitet ved de fire masser (65, 70, 81 og 101) er plottet for de 15 analyserede rør i FIGUR 18. De rør, som gav udslag for CFC med det håndholdte udstyr, men som ikke viste CFC-11 eller HCFC-150 i GC-FID-analysen (rør nr. 17, 29 og 33), ser ud til at indeholde enten HCFC-141 eller HCFC-142.



FIGUR 17. PTR-MS-spektre fra CFC-11 (grøn), cyclopentan (blå), et rør sandsynligvis indeholdende HCFC-142b (sort) og et rør sandsynligvis indeholdende HCFC-141b (lilla). Y-aksen er logaritmisk og viser en ubehandlet iontælling (raw ion count).



FIGUR 18. PTR-MS-resultater for de 15 analyserede rør. Den procentvise fordeling mellem masserne kan ikke direkte relateres til koncentrationen af de forskellige forbindelser.

8.4 Sammenfatning af måleresultater og diskussion

Måleresultaterne fra samtlige rør er vist i TABEL 4 nedenfor. Især resultaterne for rør nummer 17, 29 og 33 er værd at notere, idet målingerne på disse rør med GC-FID ikke viste CFC-11, mens målingerne med IR-udstyret gav anledning til meget høje målinger. PTR-MS-målingerne kunne efterfølgende sandsynliggøre, at disse rør indeholder HCFC-142 eller HCFC-141, som begge er HCFC-forbindelser.

8.4.1 Separationssikkerhed

Der er god overensstemmelse mellem de rør, som IR-metoden slår ud på, og de rør, der indeholder CFC- og HCFC-forbindelser. De rør, som IR-metoden ikke slår nævneværdigt ud på (<500 ppm), indeholder ikke CFC eller HCFC eller er som minimum domineret af cyclopentan og indeholder således kun små mængder af CFC eller HCFC (rør 24 og 25).

Det må antages, at der er meget få præisolerede fjernvarmerør, hvortil der er benyttet en kombination af flere opskumningsmidler. Det er ikke lykkedes at finde kilder, der angiver, hvor stor en del, eller hvornår der evt. bevidst er benyttet en blanding af opskumningsmidler til opskumning af PUR i præisolerede fjernvarmerør.

TABEL 4. Måleresultater fra skumprøver fra rør. Ikke alle rør er målt med GC-FID eller PTR-MS. – betyder ikke målt, 0 betyder målt, men ikke detekteret.

Rørnummer	IR-måling 180221 (ppm)	IR-måling 180817 (ppm)	Detekteret med GC-FID	Dominerende respons, PTR-MS
1	7720	7911	CFC-11	CFC-11
2	10594	11900	CFC-11 + R150	CFC-11
3	6651	9430	-	-
4	5277	7720	-	-
5	9826	7432	-	-
6	4997	5968	-	-
7	8145	6845	-	-
8	5462	9414	-	-
9	7396	5788	-	-
10	7615	7958	-	-
11	7427	8576	CFC-11	CFC-11
12	7187	8196	-	-
13	4815	7055	CFC-11	CFC-11
14	5464	7228	-	-
15	8171	9971	-	-
16	65000	65000	-	HCFC-142
17	65000	65000	0	HCFC-142
18	7966	7567	-	-
19	65000	65000	-	HCFC-142
20	5714	9478	CFC-11	CFC-11
21	4640	7850	CFC-11	CFC-11
22	7199	9125	-	-
23	6961	8971	-	-
24	149	164	CFC-11 + Cyclopentan	Cyclopentan
25	136	319	CFC-11 + Cyclopentan	Cyclopentan
26	7420	10726	-	-
27	11055	12194	-	-
28	4733	7567	-	-
29	65000	65000	0	HCFC-142
30	4406	6705	-	-
31	4705	4321	-	-
32	9251	10477	-	-
33	24665	57230	0	HCFC-141
34	36975	49180	-	-
35	6510	8212	-	-
36 – Logstor*	161	-	-	-
37 – Brugg*	181	-	-	-
38 – Isoplus*	64	-	Cyclopentan	Cyclopentan
39 – Set Pipe*	209	-	Cyclopentan	Cyclopentan

* Nye rør direkte fra fabrik

8.4.2 Målesikkerhed

Der er under projektet udført mange hundrede målinger med udstyret. De mange målinger danner basis for en vurdering af sikkerheden af en måling og mulige fejlkilder.

Ved at måle 16 gange i samme rør er standardafvigelsen af en måling bestemt til ca. 10 % af den målte værdi. Dette er ganske tilfredsstillende set i forhold til, at der er en tolerance på mere end 400 % fra grænseværdien (1.000 ppm) til den minimale målte værdi for et rør med CFC-gas (4.300 ppm).

Desuden er målinger af en snitflade, som er mere end seks måneder gammel, sammenlignet med en ny snitflade, og det er fundet, at målingerne i den nye snitflade er ca. 6 % højere end i den gamle snitflade.

Der er under projektet udført to laboratoriekalibreringer af udstyret, og der er fundet en svag stigning af responset på ca. 10 %. Mellem de to kalibreringer har udstyret været brugt til minimum hundrede målinger og udsat for transport adskillige gange. En ændring af responset er forventet for denne type udstyr; dog er ændringen så lille, at det ikke betyder for validiteten af målingerne.

Der er identificeret nogle potentielle fejlkilder og målefejl, som bør undgås. Det gælder bl.a. tilstopning pga. misvedligeholdelse af filtre, fejlaflæsning af displayet (ikke aflæsning af peakværdi eller manglende nulstilling af peakværdi) og procedurefejl, såsom at fjerne prøben, før måling er afsluttet. Disse fejl kan undgås ved sikre, at prøvetageren er trænet i at udføre målingerne, og at udstyret er vedligeholdt.

Det anbefales, at udstyret kalibreres årligt af en autoriseret virksomhed, såsom GasDetect, og at filtre udskiftes efter behov eller som minimum ved kalibrering.

9. On-site demonstration

Måleudstyret er testet on-site ad flere omgange i løbet af projektet. Test og testresultater beskrives i dette afsnit.

9.1 Ved Teknologisk Institut

Målemetoden og proben er udviklet hos Teknologisk Institut i Aarhus, og udstyret er derfor blevet testet over mange omgange på de indsamlede rør. Ved hvert udviklingstrin for proben er der målt på minimum 10 rør, og ad tre omgange er alle 35 rør målt: den første probe er benyttet d. 28/9 2017, og tredje probe er benyttet d. 21/2 2018 (ved 5 °C) og d. 17/8 2018 (ved 25 °C).

Billeder af målingerne og opbevaringen af rørene er vist i FIGUR 19 og FIGUR 20. Hovedkonklusionerne vedr. disse målinger er opsummeret i kapitel 7.



FIGUR 19. Opbevaring og måling af indsamlede fjernvarmerør hos Teknologisk Institut i Aarhus.



FIGUR 20. Udvikling af metode og måltagning på fjernvarmerør hos Teknologisk Institut i Aarhus. Øverst testes slaglodet til at hamre rawlpluggen i skummet. Nederst benyttes en nylonhammer til samme formål.

9.2 Ved Stena Recycling

Stena Recycling har interesse i at kunne udføre målingerne, så CFC-holdige fjernvarmerør kan sorteres fra cyclopentanholdige fjernvarmerør. Der tages i dag generelt ingen forholdsregler for at undgå eller minimere evt. udslip under neddelingen af de CFC-holdige fjernvarmerør. Stena Recycling er dog interesseret i at kunne håndtere de CFC-holdige fjernvarmerør på forsvarelig vis ift klimaet. Proben og metoden er udviklet med input fra Stena Recycling til primært den praktiske del af måletagningen og til, hvilke krav der skal stilles til robusthed og brugervenlighed.

I perioden fra d. 13/4 2018 til d. 22/6 2018 har Stena Recycling i Grenaa udført en længerevarende målekampagne, hvor udstyret primært blev brugt til indgangskontrol og til enkelte spotmålinger af fjernvarmerør på pladsen. Det blev fundet, at rene vognlæs med fjernvarmerør hovedsageligt består af cyclopentanrør i form af overskuds rør og fejlproducerede rør. Disse opbevares separat, inden de neddeles til 1-2 meters længder og kommer i shredderen sammen med udglødet jern fra kraftvarmeværker. På FIGUR 21 kan den midlertidige opbevaring ses, og på FIGUR 22 vises et eksempel på spotmålinger på pladsen.

Der blev under målekampagnen også identificeret et enkelt relativt rent vognlæs med fjernvarmerør, som indeholdt CFC-gas – se FIGUR 23. Det vurderes dog, at det vil være meget arbejdskrævende at sortere fjernvarmerørene selv i relativt rene vognlæs, hvilket i udpræget grad taler for kildesortering af de opgravede fjernvarmerør.

Erfaringerne fra målekampagnen har ud over kortlægning af omfanget af rørene været, at der ønskes en form for dokumentation for en måling, som på kort sigt kan udgøres af et foto af udstyret taget efter en måling. På længere sigt vil det være fordelagtigt, at udstyret kan udskrive et målingsresultat, hvilket dog kræver en opdatering af udstyret.



FIGUR 21. Midlertidig opbevaring af fjernvarmerør hos Stena Recycling.



FIGUR 22. Eksempler på måletagning på et fjernvarmerør på pladsen hos Stena Recycling i Grenaa.



FIGUR 23. Eksempel på indgangskontrol udført hos Stena Recycling. Rørene blev målt til at indeholde CFC-gas, da peakværdien (pk) er 5.937 ppm, hvilket er et godt stykke over grænseværdien på 1.000 ppm.

9.3 I opgravninger i samarbejde med AffaldVarme Aarhus

I samarbejde med AffaldVarme Aarhus er der udført målinger i forbindelse med renovering af ledningsnet, hvor fjernvarmerør produceret før 1990 blev opgravet. Dette havde til formål at opnå erfaringer med metoden under realistiske betingelser. Målingerne blev udført d. 14/8 2018 på Harestien og Lindevej og d. 1/10 2018 på Møllestien. Der blev i alle målinger målt CFC-gas i fjernvarmerørene. Billeder fra kampagnerne kan se på FIGUR 24, FIGUR 25 og FIGUR 26.



FIGUR 24. Målinger udført på Harestien i Aarhus d. 14/8 2018 på rør samlet i container efter opgravningen.



FIGUR 25. Målinger udført i opgravningen på Lindevej i Aarhus d. 14/8 2018.



FIGUR 26. Målinger udført umiddelbart efter opgravning på Møllestien i Aarhus d. 1/10 2018.

Bilag 1. Kalibreringsprocedure

Kalibreringsprocedure for CFC-11 (Trichlorofluoromethane)

Formålet med dette forsøg er at bestemme målenøjagtigheden af udstyret fra Bacharach til måling af CFC-11-gas.

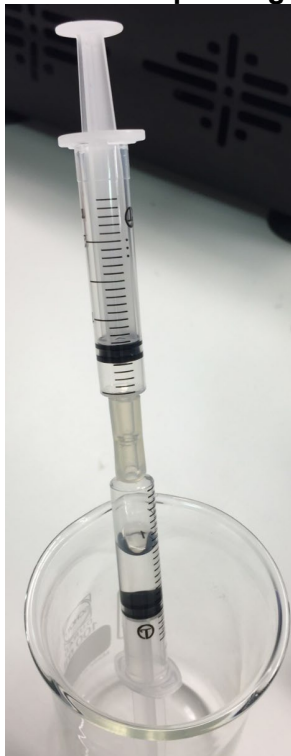
Udstyr

- Bacharach PGM-IR, serial: 17072959, partnr. 3015-5720, refrigerent monitor
- Bacharach Tru-Pointe IR, serial: CF1086 on low setting (0.5oz/yr)
- Sigma Aldrich Trichlorofluoromethane (CAS 75-69-4), LOT SHB4149V, 800 ml)
- Stor glasbeholder (23,72 L målt ved fyldning med vand)
- Diverse engangssprøjter (2 mL fra Terumo, 1, 5, 10 ml, 30 mL fra Chirana) og lille silikoneslange til direkte sammenslutning
- Parafilm til lukning af glasbeholder
- Pumpe til beluftning med labluft 60 L/min
- Magnetomrører og teflonmagnet

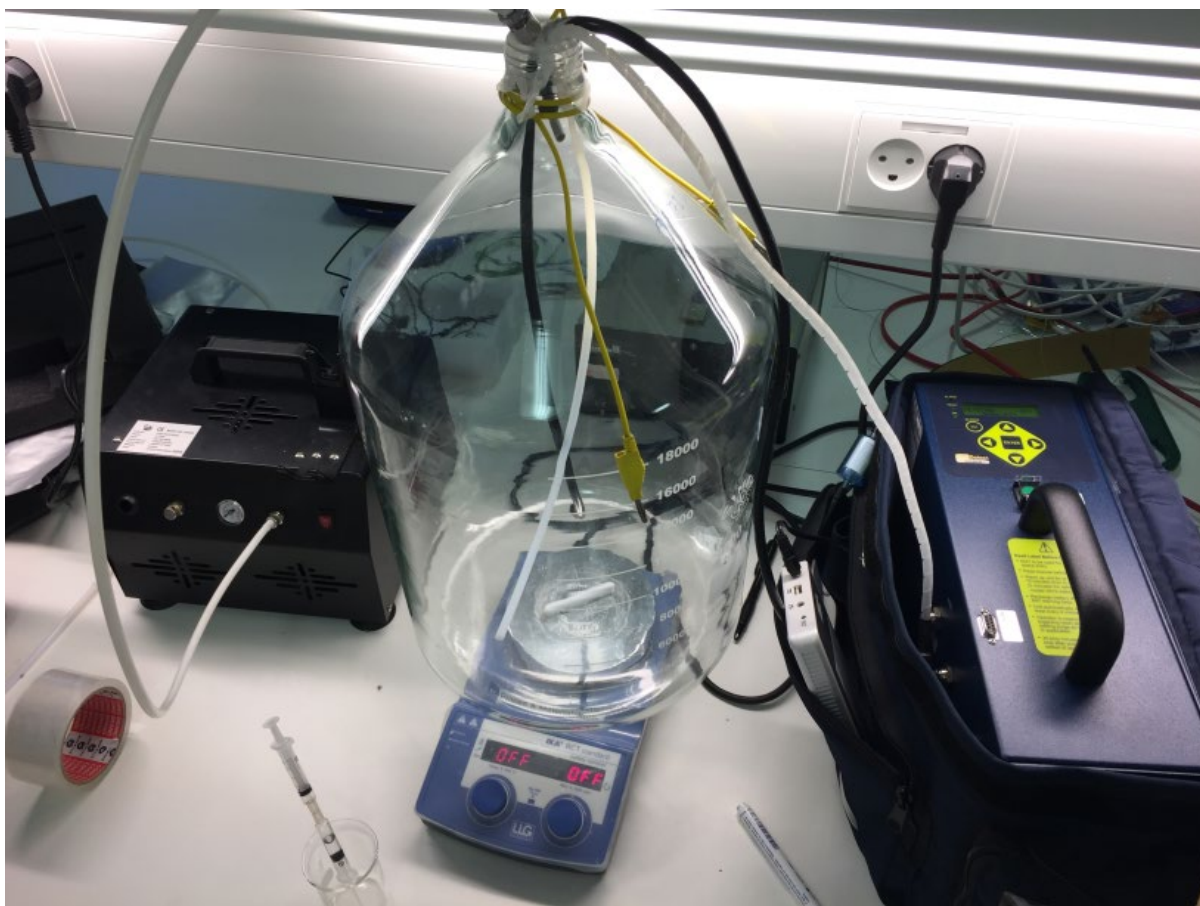
Procedure

1. Opvarmning af detektorer ca. 20 minutter
2. Overfør ca. 1-2 ml CFC til 2-10 ml sprøjte. En anden sprøjte placeres i direkte sammenslutning med denne vha. silikoneslangen (se billedet)
3. Måle- og exhaustslangen fra PGM-IR føres ned i glasbeholderen sammen med slangen fra pumpen til udluftning, og der lukkes til med parafilm. En magnetomrører og magnet benyttes til at blande gassen i beholderen ved ca. 600 rpm
4. Afvent, at PGM-IR viser mellem 0-3 ppm (Setting: R11 og 65.000 ppm range)
5. Luften i sprøjterne minimeres ved at afkoble og skubbe luften ud af sprøjten med væske, så væsken står op i silikoneslangen. Sammenkobl sprøjterne, og træk ønskede antal mL gas op, uden at der kommer kondens eller væske i sprøjten. Væsken kan evt. varmes, op når der trækkes store gasvolumener. OBS 2,4 mL gas i 24 L svarer til 100 ppm
6. Tilsæt CFC-gassen, og skyl sprøjten 2 gange med gas fra beholderen. Luk til med parafilm
7. Vent ca. 30 sekunder, til målingen er stabil (+/-1 ppm), og noter aflæsningen fra PGM-IR
8. Indstil Trupointe IR til "low", og vælg peak for at gemme peakværdien. Hvis der ikke gives udslag ved "low", kan den ændres til "med" eller "high"
9. Løft parafilmen, og indfør Trupointeproben i glasbeholderen, og aflæs resultatet
10. Udtag proben i min. 5 sekunder, deaktivér og reaktiver peakfunktionen for at gentage målingen 3 gange (punkt 9-10)
11. Skyl glasbeholderen med luft minimum 2-5 minutter ved ca. 60 L/min (jo højere koncentration, des længere tid)
12. Gentag punkt 4-11 for hver gentagelse og given tilsat koncentration af CFC

Billeder af opstillingen



Figur 27. Sammenkobling af sprøjterne. CFC-væsken befinder sig i den nederste sprøjte, og den øverste benyttes til at afmåle gassen



Figur 28. Billede af opstillingen: (fra venstre) luftpumpe, glasbeholder på magnetomrører med slange til pumpe, måleslange og exhaustslange. PGM-IR-måleren ses til højre.

Bilag 2. Vejledning til brug af måleudstyr

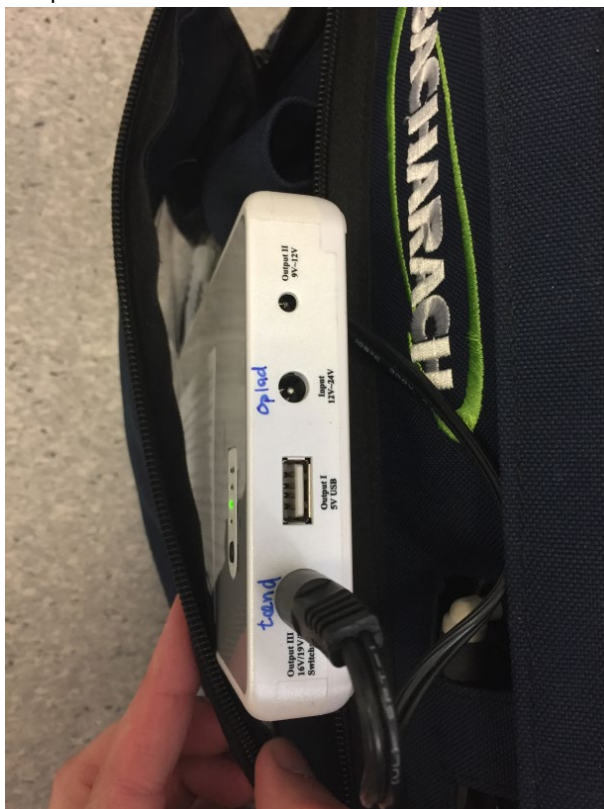
Udstyret:

- Bacharach PGM-IR
- Prototype prøve-tager (evt. med slaglod)
- Rawplugs (Fischer UX 8x50)
- Digitalkamera til dokumentation



Foretag en måling

Tænd instrumentet ved at sætte strømstikket i batteripakken i venstre lomme (billede) og tryk på tændknappen oven på kassen



5. Vent ca. 8 min til displayet ikke viser "warm up" og tallet ikke stiger mere



6. Montér en rawplug på spidsen af måleproben



7. Placer den frie ende af rawpluggen på skummet i fjernvarmerøret



8. Hammer rawpluggen helt ind i skummet ved hjælp af slaghammeren med 3-6 slag (OBS: slagloddet skal holdes så der ikke er mulighed for at få en finger i klemme)
9. Lad måleproben sidde med rawpluggen i skummet og afvent instrumentets reaktion (ca. 15 sekunder)
 - a. Hvis instrumentet bipper og peak-værdien i displayet er over 1.000ppm, så **indeholder skummet CFC-gas**



- b. Hvis instrumentet ikke bipper og peak-værdien i displayet er under 1.000ppm, så indeholder skummet **ikke CFC-gas**



- c. Hvis instrumentet ikke bipper og peak-værdien i displayet er **under 25ppm**, så er målingen **ugyldig** og den skal målingen gentages. Hvis dette gentager sig skal slanger og filtre kontrolleres for tilstopninger eller utætheder.
 - d. Hvis instrumentet skriver "**Purge**", så skal målingen gentages. Når instrumentet purger foretages der en nulmåling ved at trække luft ind igennem et kulfilter, og der måles således ikke på gassen fra røret.



10. Målingen dokumenteres ved at tage et billede af displayet med røret i baggrunden
11. Efter afsluttet måling kan der trykkes på ESC og ENTER for at afbryde alarmen og nulstille peak-værdien. Hvis rawlpluggen kommer med ud kan den godt genbruges.
12. Næste måling kan gentages ved at følge punkt 3-8

13. Instrumentet slukkes efter brug ved at trykke på tændknappen oven på kassen og tage stikket ud af batteripakken
14. På batteripakken kan der trykkes på "check"-knappen for at se om batteriet skal lades op. Hvis der kun vises 2 streger skal batteriet oplades i ca. 5 timer med strømforsyningen i tasken.



Displayet

Displayet viser fire ting:

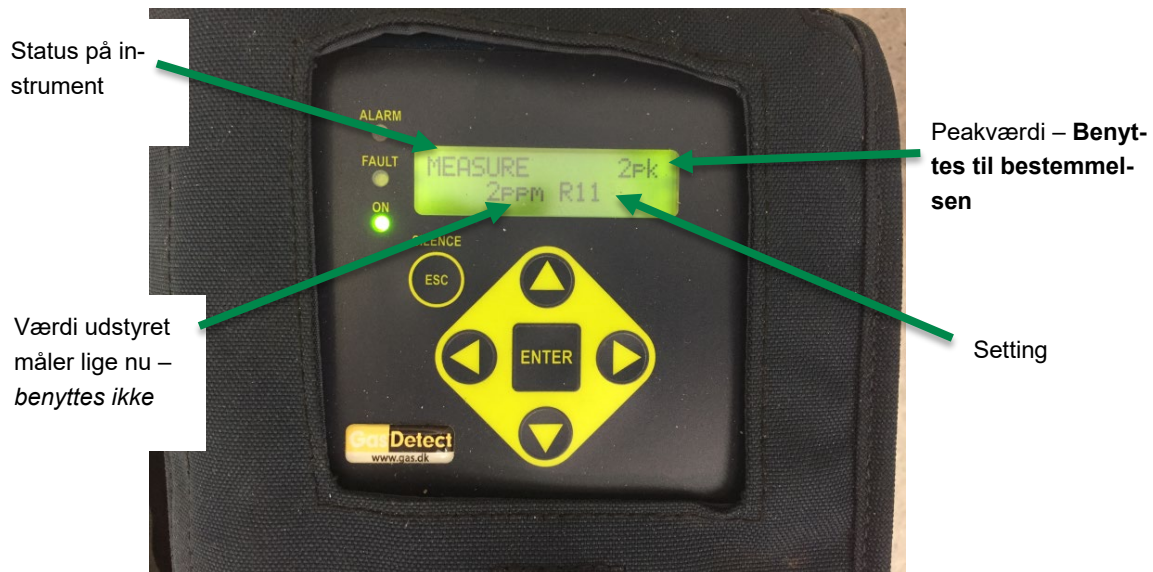
Status på instrumentet, hvilket kan være:

- Measure (instrumentet er klar til måling)
- Warm up (instrumentet varmer op og er ikke klar til at måle endnu)
- Purge (Instrumentet laver en baggrundsmåling og kan ikke benyttes til en måling)
- Error

Den værdi udstyret måler lige nu – benyttes ikke til vurderingen om skummet indeholder CFC-gas men i stedet benyttes peak-værdien.

Peakværdien: den højeste målte værdi siden brugeren sidst nulstillede – *denne bruges til at vurdere om skummet indeholder CFC-gas*

Setting for udstyret – dette skal være R11



On-site detektion af CFC-gas i præisolerede fjernvarmerør

Målet for dette projekt var at demonstrere en hurtig og effektiv teknologisk metode til on-site at bestemme, hvorvidt der er CFC-gas i skummet i præisolerede fjernvarmerør. Denne metode gør det således muligt for oparbejdningsvirksomhederne at sortere CFC-gasholdige fjernvarmerør fra nyere cyclopentanrør, som ikke er problematiske for klimaet. Det var en vigtig del af projektets arbejde at optimere prøveudtagningen, så den udviklede sensorløsning blev brugervenlig og pålidelig.

I projektet indgik identificering af eksisterende sensorteknologier til detektion af CFC, målemetodeudvikling og validering af den udviklede målemetode. Projektet blev udført af Teknologisk Institut med deltagelse af Stena Recycling og GasDetect i perioden januar 2016 til december 2018. Miljøministeriet har ydet tilskud til projektet gennem Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) 2015.

Det blev valgt, at gassen til målingen skulle trækkes ud af skummet ved at destruere/komprimere et lille volumen af skummet i enden af de præisolerede fjernvarmerør. Udtrækningen blev foretaget vha. en almindelig rawlplug, der også fungerede som et prisbilligt engangsfilter for at undgå tilstopning af måleslangen med skumstøv. Målemetoden er blevet demonstreret ad flere omgange på oparbejdningspladsen hos Stena Recycling i Grenaa samt ved opgravning af ældre fjernvarmerør flere steder i Aarhus Kommune. Sensorløsningen har virket pålideligt, og målingerne kan foretages af lægmand efter en kort introduktion til sensorløsningen – enten ved personlig oplæring eller ved at følge en manual.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk