

Projekt nr. 2016 – 07

Titel: Udvikling af ikke-destruktiv metode til bestemmelse af fugtindholdet i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX, fase II

Udført af: Teknologisk Institut

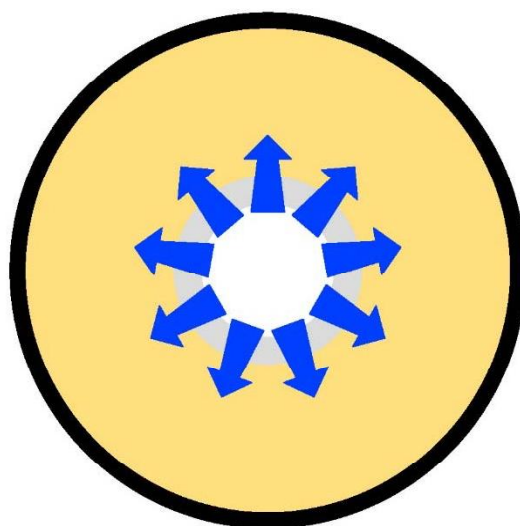
Fugtig isolering i prærør med PEX

Udvikling af ikke-destruktiv metode til bestemmelse af fugtindholdet i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX, fase II

Maj 2018

Udvikling af ikke-destruktiv metode til bestemmelse af fugtindholdet i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX, fase II

Dansk Fjernvarmes F&U-konto nr. 2016-07



Udført af:

Teknologisk Institut, Energi og Klima, Installation og Kalibrering, Aarhus

Illustrationer og fotos: Alexander Dahl Bennedsen, Henrik Kjeldsen og Niels Winther, Teknologisk Institut



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Forord

Dette projekt er en opfølgning på Dansk Fjernvarmes F&U 2015-03, hvor det blev vist, at fugtindholdet i PUR kan bestemmes med mikrobølger, hvorfor det var oplagt at udvikle en prototype til et enkelt, håndholdt måleapparat. Dette har været projektets primære formål, og på den baggrund har Dansk Fjernvarmes F&U-fond støttet dette projekts gennemførelse. Projektet er således en fase II i forhold til det indledende projekt fra 2015, og der henvises som sådan til rapporten herfra (se litteraturlisten i afsnit 8) som baggrund for nærværende rapport.

Teknologisk Institut
Aarhus, den 31. maj 2018

Niels Winther
Civilingeniør

Henrik Kjeldsen
Seniorprojektleder, dr. scient.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	2
1. Sammendrag.....	4
2. Baggrund.....	5
2.1 Vanddampdiffusion gennem PEX	5
3. Fugtmåling med mikrobølger.....	6
4. Projektets udførelse.....	7
4.1 Opbygning af måleapparat	7
5. Resultater	9
5.1 Brug af måleapparatet	10
6. Konklusion	11
7. Tekniske data og opbygning	13
8. Litteratur.....	14

1. Sammendrag

Projektet har haft som formål at udvikle en prototype til et enkelt håndholdt måleapparat, der kan anvendes til ikke-destruktivt at vurdere, om der er fugt i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX.

I projektets fase I blev det vist, at mikrobølger er velegnede til detektion af fugt i PUR, og nærværende projekt har på den baggrund, efter der blev fundet en velegnet kommerciel mikrobølgesensor og udført forskellige validerende målinger, fremstillet en prototype af et håndholdt måleapparat.

I projektet var det oprindeligt meningen at udvikle et apparat med to sensorer placeret i en U-formet bøjle på hver sin side af røret. Den ene sensor skulle dels fungere som mikrobølgesender, dels modtage det reflekterede signal fra isoleringen, og den anden sensor skulle modtage det transmitterede signal gennem isoleringen.

Da det ikke umiddelbart var muligt at skaffe en sensor, som udelukkende var en modtager, blev prototypen, efter indledende forsøg med gode resultater, udviklet med kun én sensor som sender og modtager svarende til anvendelsen i fase I.

Prototypen er indbygget i et kort plastrør med sensoren i den ene ende, og grafisk display til visning af fugtindhold samt adgang til batteri og kommunikationsport m.v. i den anden ende.

Aflæsningen af måleresultatet sker på en 10 segments LED-bar, og måleområdet er sat til at være 0 – 10 svarende omtrentligt til 0 – 400 g/m vand i et 22/66 mm fleksibelt præisoleret fjernvarmerør med medierør af PEX, hvilket har været den rørdimension, der har været adgang til at måle på via projektpartneren AffaldVarme Aarhus.

Metoden til ikke-destruktivt at vurdere et eventuelt fugtindhold i isoleringen har været at sammenligne den signalværdi, sonden gav, med det faktiske vandindhold i isoleringen, der blev fundet ved traditionel udsavning af røret i stykker på 15 cm til vejning og udtørring, indtil vægten var konstant og dermed bestemme fugtindholdet som g/m.

2. Baggrund

Det er et kendt fænomen, at PEX ikke er diffusionstæt over for vanddamp. I årene 1991 – 2000 udgav Teknologisk Institut tre rapporter om emnet, idet medierør af plast på det tidspunkt var ved at blive introduceret i præisolerede fjernvarmerør, så de kunne fremstilles fleksible.

På det tidspunkt var driftstemperaturerne generelt højere, end de er i dag, og da vanddampdiffusionen gennem PEX stiger eksponentielt med temperaturen, er det således især ældre rør, der har været udsatte. Når vanddampen møder isoleringen omkring medierøret køles den af og kondenserer på vej mod kapperøret til vand.

Et mindre pilotprojekt, gennemført af Dansk Fjernvarmes distributionsgruppe i 2014 om betydningen af våd isolering, viste ved destruktiv prøvning, at vandindholdet i 11 – 21 år gamle fleksible stikledninger med medierør af PEX lå på 97 – 182 g/m med tilsvarende varmekonduktivitet på 0,035 – 0,040 W/(m·K), hvilket viser betydningen af, at isoleringen ikke var tør; for tør isolering kan normalt forventes en varmekonduktivitet på 0,025-0,030 W/(m·K).

På den baggrund støttede Dansk Fjernvarmes F&U-fond i 2015 et projekt (fase I, se *Teknologisk Institut, 2016*) til at verificere en ikke-destruktiv metode baseret på mikrobølger til detektion af fugt i PUR, og nærværende projekt (fase II) har på baggrund af resultaterne fra fase I udviklet og fremstillet et anvendelsesspecifikt måleapparat som prototype.

De enkelte stikledninger udgør ofte relativ korte strækninger, men samlet er summen af stikledninger med medierør af PEX betydelig, og udgør anslået flere tusinde kilometer. Det er således af stor betydning via en ikke-destruktiv metode at kunne afgøre, hvorvidt en stikledning har våd isolering med henblik på at vurdere, om en udskiftning er relevant, idet mange af disse ledninger tidligere har været udsat for relativ høje driftstemperaturer.

På den baggrund har Dansk Fjernvarmes F&U-fond støttet dette projekts gennemførelse.

2.1 Vanddampdiffusion gennem PEX

Teorien bag de fysiske forhold omkring vanddampdiffusion gennem PEX er grundig behandlet og beskrevet i rapporterne *Undersøgelse af diffusionsforhold i fjernvarmerør af plast* fra 1991, *Vanddampdiffusions indflydelse på præisolerede plastrør* fra 1998 og *Vanddampdiffusions indflydelse på præisolerede plastrør, del 2* fra 2000, og læseren henvises således til disse for en komplet indføring i emnet (se litteraturlisten i afsnit 8).

En af konklusionerne fra de tre rapporter var, at vanddampdiffusionen gennem PEX bl.a. stiger med mediets temperatur, hvilket stemmer overens med, at det primært har været rørstykker fra fremløbsledningerne, der har haft fugtig isolering, mens rørstykkerne fra returløbsledningerne generelt alle har været tørre, og det var også resultatet af distributionsgruppens pilotprojekt.

Når vanddampen møder isoleringens yderste del, hvor temperaturen nærmer sig jordens, begynder den at kondensere til frit vand, hvilket også kunne erkendes i forbindelse med udsavningen af de enkelte rørstykker, der indgik i projektet.

Andre parametre, der også har betydning for, om isoleringen bliver fugtig, er omgivelsernes temperatur og fugtighed samt om der er utætte medie- eller kapperørssamlinger.

3. Fugtmåling med mikrobølger

Mikrobølger er elektromagnetiske bølger med en frekvens der gør, at de kun interagerer svagt med mange materialer, inklusivt plastrør og isolering i fjernvarmerør. Til gengæld passer mikrobølgers frekvens overens med vands egenfrekvens (for rotation), hvilket gør, at interaktionen her er signifikant og målbar.

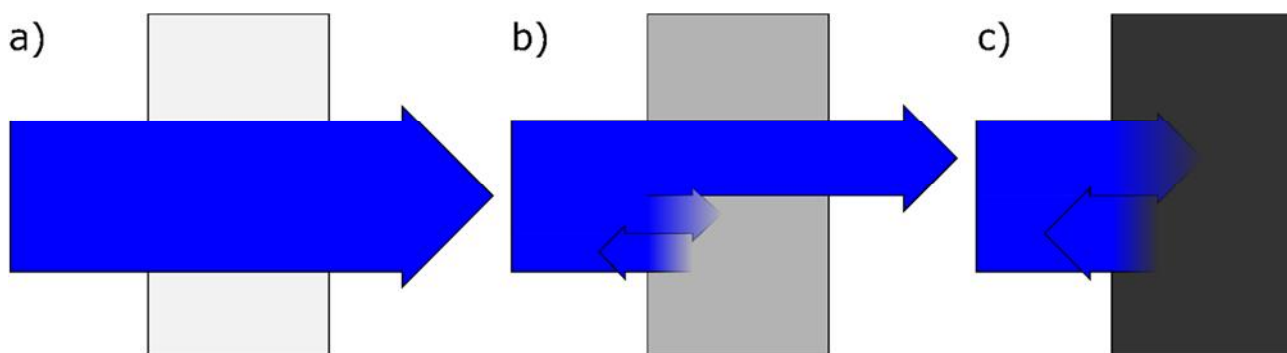
Mikrobølgerne vil ikke blive fuldt absorberet af eventuelt vand i isoleringen. I stedet kan mikrobølgerne foretage sig én af tre muligheder:

- De kan fortsætte uforstyrret igennem materialet (transmission)
- De kan reflekteres af overgangen mellem isolering og vand (refleksion)
- De kan få vandmolekylet til at rotere (absorption).

Styrken af både transmission, refleksion og absorption afhænger af hvor stor sandsynligheden er for, at mikrobølgerne møder et vandmolekyle. Dvs. at jo mere vand, der er i isoleringen, jo større er sandsynligheden for, at der vil ske refleksion/absorption, og jo mindre signal vil bevæge sig hele vejen igennem materialet; dette er vist i tre tilfælde i Figur 1.

Den anvendte sensor i dette projekt indeholder både mikrobølgesender og -modtager. Den måler refleksion, dvs. den giver et spændingssignal som er proportionalt med styrken af de reflekterede mikrobølger.

I Figur 1a) er der intet vand i materialet, og mikrobølgerne kan således fortsætte uforstyrret igennem materialet. Figur 1b) viser et tilfælde, hvor en lille mængde vand er til stede i materialet. Her vil en del af mikrobølgerne fortsætte igennem materialet, mens en del af mikrobølgerne bliver absorberet af vandet og en del reflekteres af vandet. I Figur 1c) er der så meget vand i materialet, at det ikke længere er muligt for mikrobølgerne at transmittere hele vejen igennem. I stedet vil al energien fra mikrobølgerne enten absorberes eller reflekteres af vandet.



Figur 1: Transmission, absorption og refleksion af mikrobølger i en prøve. Hvis prøven ikke indeholder noget vand, svarende til figur a), vil alle mikrobølger transmitteres gennem prøven. Når vand begynder at være tilstede i materialet, svarende til figur b), vil noget af signalet blive transmitteret, noget blive absorberet og noget reflekteret. Hvis der er nok vand til stede i prøven, svarende til figur c), vil alt signal enten blive absorberet eller reflekteret.

4. Projektets udførelse

AffaldVarme Aarhus leverede stykker af ældre fleksible stikledninger til projektet i dimensionen 22/66 mm. Fremløbsledningen var som ventet markant tungere end returløbsledningen grundet vandindholdet i isoleringen, og ved første vejning var forskellen på 54%. Begge ledninger blev anvendt til at kalibrere mikrobølgesensoren, så signalet fra denne svarede til *helt tør* hhv. *meget våd*. Måleapparatet er opbygget, så måleområdet efterfølgende kan justeres.

Under kalibreringen blev der målt på rørstykker med og uden vand i medierøret, og signalet var ens i begge tilfælde. Dette var ikke tilfældet i projektets fase I, og forskellen skyldes, at der blev anvendt en anden sensor (beregnet til murværk m.m).

Signalet fra mikrobølgesensoren, når denne ikke holdes op mod et emne (dvs. i luft), var det samme som et rørstykke som var *helt tør*. Fra hvert rørstykke blev der udsavet fire prøver á 15 cm, der blev vejjet og lagt til udtørring ved 70°C, som er den temperatur, kapperøret af PE-LD længerevarende maksimalt bør udsættes for. Rørstykkerne blev med jævne mellemrum vejjet, indtil vægten var konstant og vandindholdet dermed bestemt. Resultaterne fremgår af afsnit 5. Udtørring og vejning skete sideløbende med opbygningen af måleapparatet.

Den korte længde på rørstykkerne blev valgt for at sikre en relativ kort udtørringstid, da de rørstykker der indgik i distributionsgruppens pilotprojekt var på 1m, og udtørringen tog da over et år for de vådeste af stykkerne.



Figur 2: Udsavede rørstykker á 15 cm længde lagt til udtørring ved 70 °C indtil vægten var konstant

4.1 Opbygning af måleapparat

Projektets primære formål har været at bygge en prototype af måleapparatet, og den del blev udført i samarbejde med Alexander Dahl Bennedsen og Simon Møiniche Skov fra Center for Transport og Elektriske systemer, Teknologisk Institut. Mikrobølgesensoren kunne fikseres i den ene ende af et 63 mm plastrør, og i selve røret blev den tilhørende elektronik, batteri m.m. indbygget, og i den anden ende af røret blev displayet anbragt som en 10 LED-bar med rød, gul og grøn svarende til meget fugtig isolering, let fugtig isolering og tør isolering.

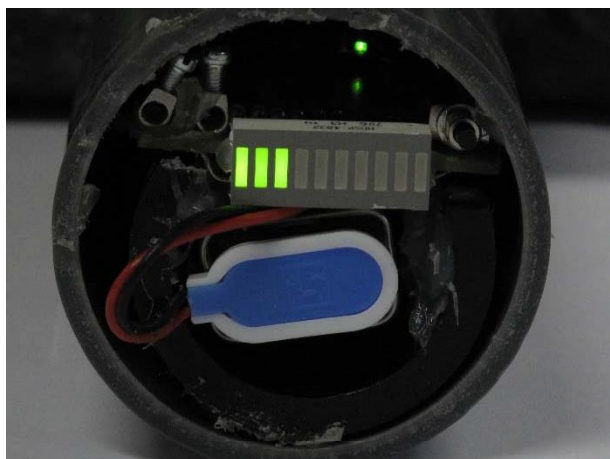
De forskellige komponenter og principskitse er vist i afsnittet ”7. Tekniske data og opbygning”. Hele apparatet kan ses på figur 3–4, og på figur 5–8 ses måleapparatets display ved forskellige detektionsområder.



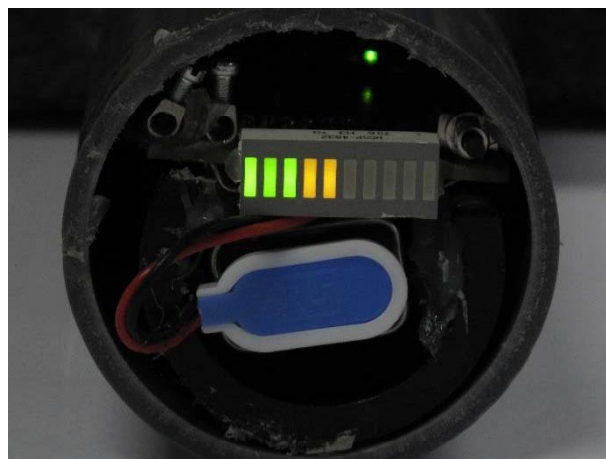
Figur 3: Måleapparatet (t.v.) – den hvide mikrobølgesensor ses forrest. Bagest (se figur 4–8) er LED-displayet placeret. (Voltmeteret til højre er kun tilsluttet for at udføre en indledende kontrol og er ikke nødvendigt i daglig brug.)



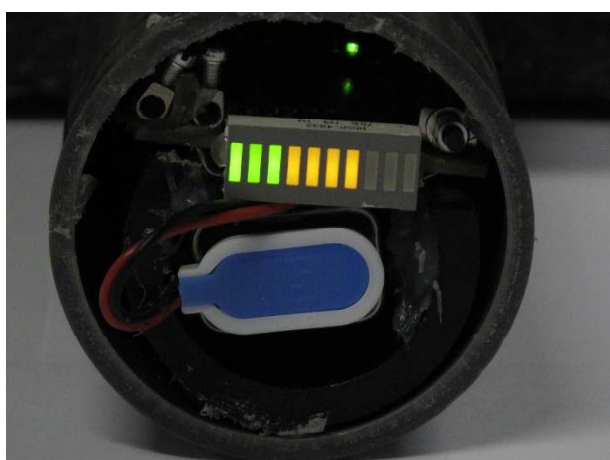
Figur 4: Apparatet (forrest) anvendes her til måling på et meget fugtig rørstykke (bagerst). Bemærk udslaget på LED-displayet og sammenlign med figur 5–8.



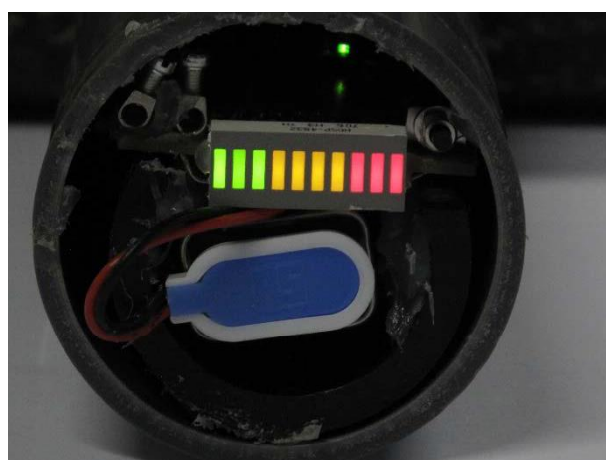
Figur 5: Indikation for tør isolering/tændt



Figur 6: Indikation for let fugtig isolering



Figur 7: Indikation for fugtig isolering



Figur 8: Indikation for meget fugtig isolering

5. Resultater

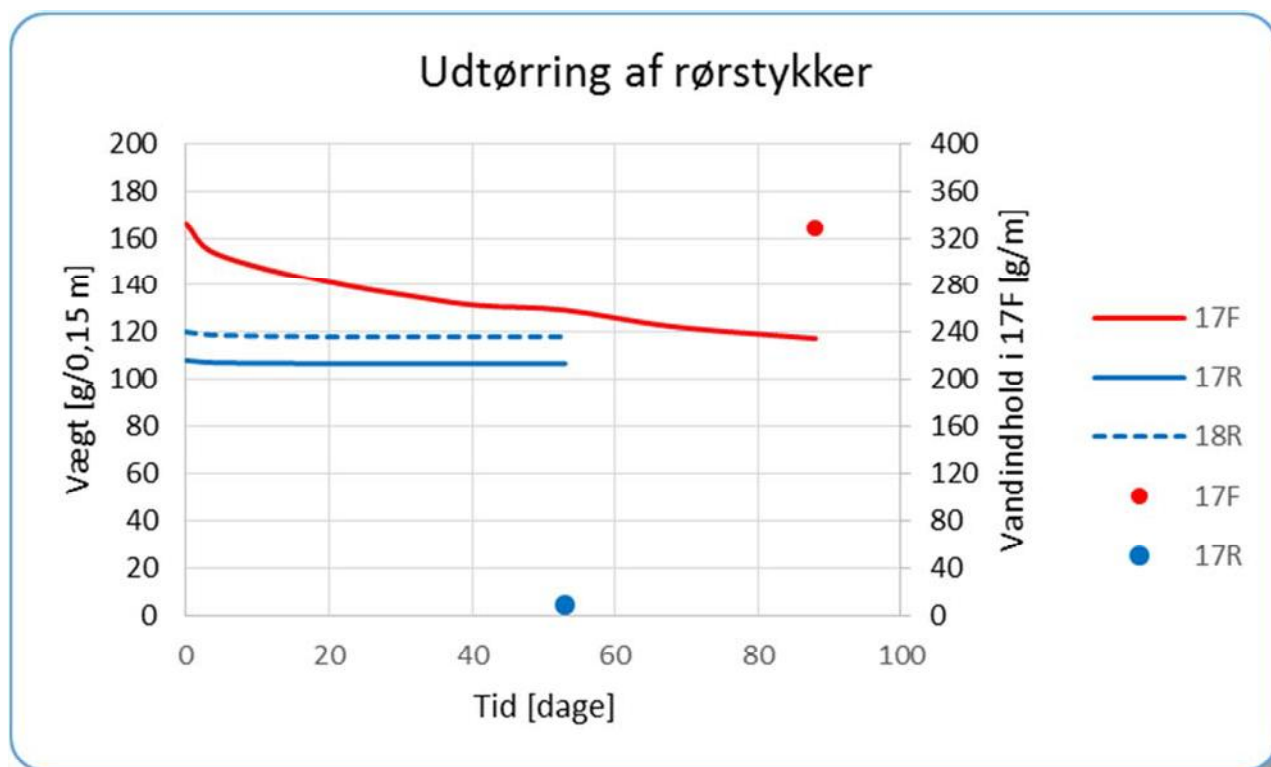
Rørstykkerne leveret i 2017 fra AffaldVarme Aarhus var et samhørende sæt ældre fleksible præisolerede fjernvarmerør, der i det følgende bliver betegnet *17F* og *17R* for hhv. frem og retur. I 2018 blev leveret et rørstykke af en returledning, der i det følgende bliver betegnet *18R*.

Vægten af de enkelte rørstykker fremgår af nedenstående tabel, idet hvert tal er et gennemsnit af fire rørstykker.

	Udtørringstid [døgn]							
Rørstykke	0	4	19	33	41	53	68	88
17F	1108	1025	943	894	872	859	813	780
17R	719	712	710	710	710	710	-	-
18R	798	789	785	785	784	784	-	-
17F/17R	54%	44%	33%	26%	23%	21%	15%	10%

Tabel 1: Målingerne angiver vægten af rørstykker (angivet i g/m) som funktion af udtørringstiden.

Afbilledes rørstykkernes vægt, fundet ved udtørring og vejning som funktion af udtørringstiden, fås en sammenhæng som vist på figur 9. Udtørringen af returløbsrørene blev stoppet, da vægten var konstant efter ca. 50 døgn. Disse rørstykker kan således betegnes som værende fuldt udtørrede.



Figur 9: Fugtindholdet fra rørstykkerne fundet ved udtørring og vejning som funktion af udtørringstiden

Det ses, at stykkerne fra returløbsrørene som ventet var stort set helt tørre, idet der ved udtørring og vejning kun blev målt et fugtindhold på 9 – 14 g/m, mens der i fremløbsrøret var et vandindhold på mindst $(1108 - 780) \text{ g/m} = 328 \text{ g/m}$. Inden udtørringen blev påbegyndt, var der en vægtforskel mellem rørene 17F og 17R på 54 %, hvilket indikerede et højt vandindhold i fremløbsrøret.

Da udtørringen ikke var endeligt færdig ved rapportens afslutning, kan vandindholdet i fremløbsrørene estimeres i forhold til vægten af de udtørrede returløbsrør til $(1108 - 719) \text{ g/m} = 389 \text{ g/m}$, altså ca. 4 dl vand pr. meter rør. Generelt kan det relative fugtindhold bestemmes ved at sammenligne vægten af det relevante rørstykke med vægten af det udtørrede returrør:

$$\text{fugtindhold} = \frac{(\text{vægt af rør}) - (\text{vægt af tørt rør})}{\text{vægt af tørt rør}} \cdot 100 \%$$

Anvendes denne metode, bliver fugtindholdet i fremløbsrøret inden udtørring 56 %.

5.1 Brug af måleapparatet

Ved brug sættes den ende af apparatet, hvor mikrobølgesensoren er placeret, vinkelret på kapperøret, og variationen af fugtfordelingen i isoleringen måles ved at dreje apparatet rundt om røret. Displayets maksimale udslag noteres.

Apparatet er afprøvet på rørstykker med varierende fugtighed. Under testmålingerne var der yderligere tilføjet et voltmeter, som målte output-signalet fra mikrobølgesensoren direkte (se figur 3). Resultaterne er vist i tabel 2.

Overordnet kan det ses, at apparatet giver udslag for alle rørstykkerne med 19–56 % fugt, hvorimod der ikke er udslag for rørstykkerne med 8 % fugt eller mindre. Der er således demonstreret, at apparatet kan anvendes til at detektere, om der er en betydelig mængde fugt i rørstykker.

Rørstykke	Tørretid [døgn]	Vægt [g/0,15m]	Fugtindhold	Apparatets visning (display)	Signal fra sensor (V)
Org. tør (17R)	0	719	1%	<i>Tør</i>	0,97
17F#4	88	769	8%	<i>Tør</i>	0,98
17F#4	53	845	19%	<i>Let fugtig</i>	1,18
17F#2	53	858	21%	<i>Fugtig</i>	1,21
17F#3	53	864	22%	<i>Meget fugtig</i>	1,28
17F#1	53	869	22%	<i>Meget fugtig</i>	1,26
Org. våd (17F)	0	1107	56%	<i>Meget fugtig</i>	1,30
Luft				<i>Tør</i>	0,97

Tabel 2: Test af apparatet. Fugtindholdet af rørstykkerne er sammenholdt med apparatets visning

Afprøvningen af prototypeapparatet har givet anledning til nogle forslag til ændringer/forbedringer i forbindelse med en evt. forbedret fremtidig udgave:

- Erfaringerne viser, at det største fugtindhold findes i den nederste del af isoleringen, dvs. i bunden af et rør. Idet displayet er anbragt modsat mikrobølgesensoren, kan det være nødvendigt at anvende et spejl for at aflæse displayet, når der måles på undersiden af et rør. Dette er uhensigtsmæssigt. En forbedret udgave kunne undgå dette problem, hvis det udstyres med en lille højttaler som gav et lydssignal (f.eks. langsomt ”bip”: Tørt – hurtigt ”bip”: Fugtigt)
- Det er vigtigt, at måleapparatet placeres korrekt på røret for at få gode målinger. Ved at modificere forenden af apparatet, således at det er let at lave et godt anlæg på røret, kunne brugervenligheden – og formentlig også nøjagtigheden – derfor forbedres
- Der kan overvejes om følsomheden af apparatet skal forøges, idet et rørstykke med 19% fugt (og et sensor-signal på 1,18 V, se tabel 2) kun klassificeres som ”*Let fugtig*”. Yderligere testmålinger på andre rørstykker vil dog være påkrævet for at sikre et tilstrækkeligt statistisk grundlag og dermed nøjagtighed.

6. Konklusion

Projektet har på baggrund af de indhøstede erfaringer fra fase I udviklet, bygget og valideret et håndholdt måleapparat til bestemmelse af fugt i isoleringen i ældre fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX.

Måleapparatet vejer ca. 400g, og har dimensionen Ø63×185 mm. Det er særdeles let og enkelt at anvende, og den lave vægt og de fysiske mål gør det velegnet til brug on-site. Apparatet er forsynet med et 9 V batteri, og resultatet udlæses nemt på en 10 segments LED bar.

Ved brug sættes den ende af apparatet, hvor mikrobølgesensoren er placeret, vinkelret på kapperøret, og ved at dreje apparatet rundt om røret kan variationen af fugtfordelingen i isoleringen måles. Testmålingerne der er præsenteret i denne rapport demonstrerer, at apparatet kan anvendes til at detektere om der er en betydelig mængde fugt i isoleringen af præisolerede fjernvarmerør.

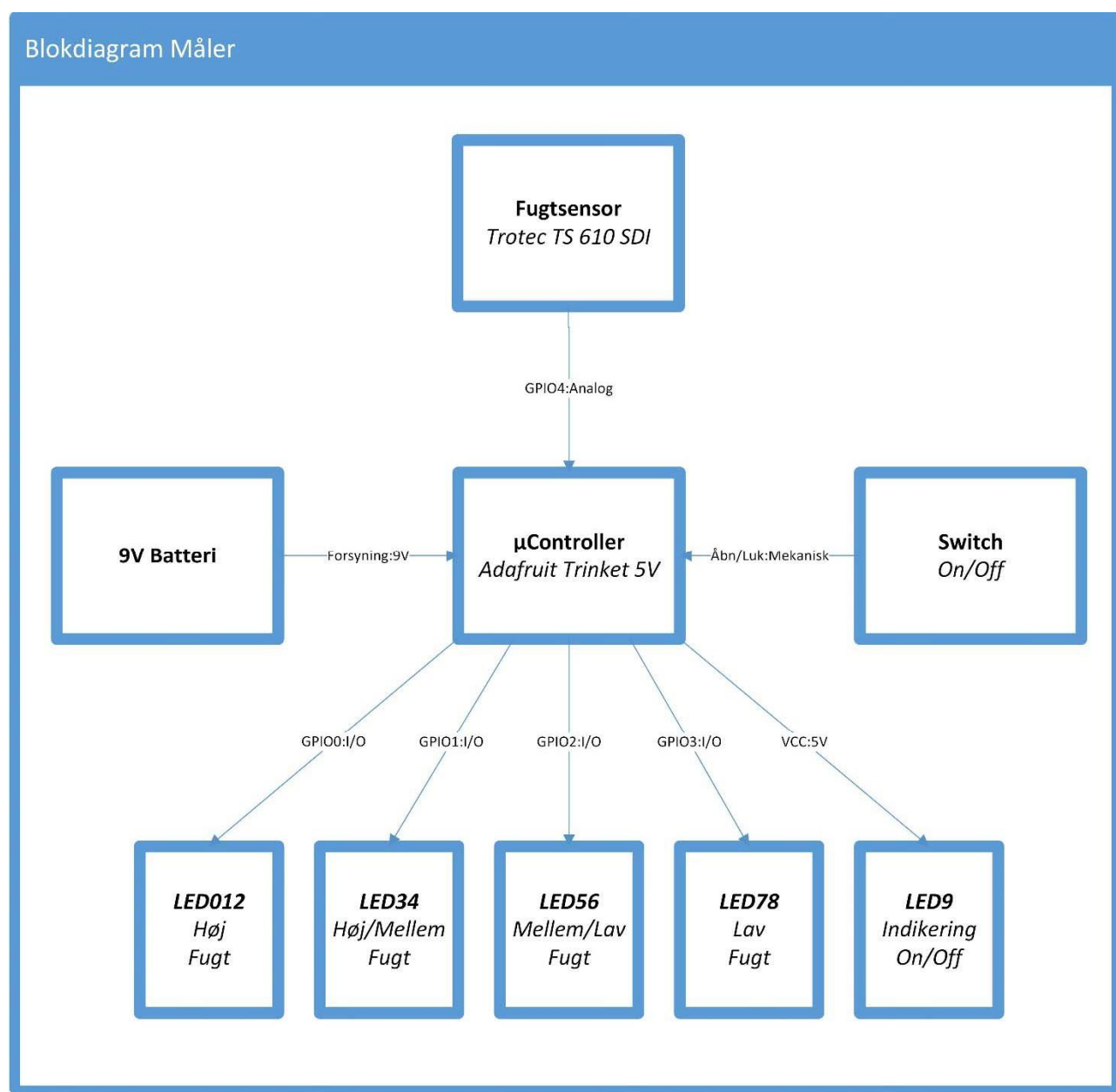
Da det udviklede måleapparat er en prototype, er der muligheder for fremadrettet at videreudvikle i forhold til design, holdbarhed, tæthed, ergonomi m.m. i forhold til en eventuel kommerciel produktion.

7. Tekniske data og opbygning

Måleapparatet er opbygget af følgende komponenter og på følgende måde:

Hus	PVC-plastrør
Sensor	Trotec TS 610 SDI (kun selve mikrobølgesensoren)
Spændingsforsyning	9 V E-blok
Mikroprocessor	Adafruit Trinket
Display	10 segments LED-bar
Vægt	403 g
Dimensioner	Ø63×185 mm

Tabel 2: Måleapparatets hoveddata



Figur 8: Måleapparatets opbygning

8. Litteratur

Undersøgelse af diffusionsforhold i præisolerede fjernvarmerør af plast, Dansk Teknologisk Institut, 1991

Vanddampdiffusions indflydelse på præisolerede plastrør, Dansk Energi Management A/S og Dansk Teknologisk Institut, 1998

Vanddampdiffusions indflydelse på præisolerede plastrør - del 2, Dansk Energi Management A/S, Dansk Teknologisk Institut og Løgstør Rør A/S, 2000

Fleksible præisolerede rør med fugtig isolering, Teknologisk Institut, 2015

Udvikling af ikke-destruktiv metode til bestemmelse af fugtindholdet i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX (fase I), Teknologisk Institut, 2016