

Projekt nr. 2015 – 03

Titel: Udvikling af ikke-destruktiv metode til bestemmelse af fugtindholdet i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX
Udført af: Teknologisk Institut

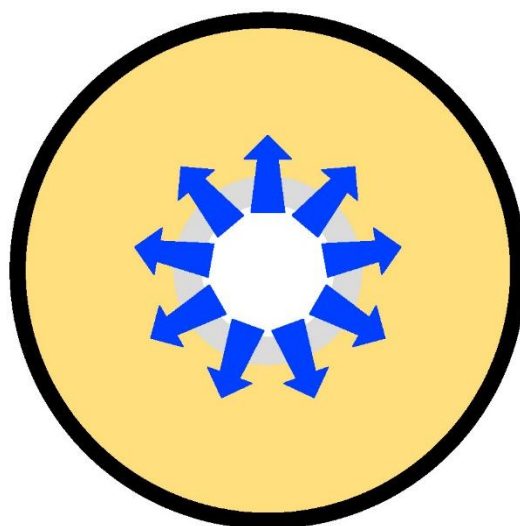
Fugtig isolering i præør med PEX

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

April 2016

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

Dansk Fjernvarmes F&U-konto nr. 2015-03



Udført af:

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

Illustrationer og fotos: Niels Winther, Teknologisk Institut



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Forord

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 til frit 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 varmekonduktiviteter på 0,035-0,040 W/(m·K), hvilket viser betydningen af, at isoleringen ikke var tør.

Baggrunden for dette projekt har derfor været at udvikle og verificere en ikke-destruktiv metode til bestemmelse af, om en stikledning med medierør af PEX har våd isolering.

Projektet har bygget videre på Dansk Fjernvarmes distributionsgruppes pilotprojekt i samarbejde med AffaldVarme Aarhus, der har givet adgang til forskellige ældre stikledninger med våd isolering og medierør af PEX.

De enkelte stikledninger udgør ofte relativt 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.

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

Teknologisk Institut
Aarhus, den 29. april 2016

Niels Winther
Civilingeniør

Peter Friis Østergaard
Civilingeniør, Ph.d.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	2
1. Sammendrag.....	4
2. Baggrund.....	5
2.1 Vanddampdiffusion gennem PEX	5
3. Fugtmåling med mikrobølger.....	6
4. Projektets udførelse.....	7
5. Resultater	11
6. Konklusion	14
7. Litteratur.....	15

1. Sammendrag

Projektet har haft som formål gennem en ikke-destruktiv metode at vurdere, om der er fugt i isoleringen i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX. Rørene, der indgik i projektet, var ældre stikledninger leveret af AffaldVarme Aarhus.

Metoden til ikke-destruktivt at vurdere et eventuelt fugtindhold i isoleringen har været at placere en mikrobølgesonde mod kapperøret, og efterfølgende sammenligne den signalværdi, sonden gav, med det faktiske vandindhold i isoleringen, der blev fundet ved traditionel vejning og udtørring, indtil vægten var konstant.

Der indgik 10 forskellige rør i projektet, fem fremløbsrør og fem returløbsrør. Fra hvert rørstykke blev udsavet tre prøver på 15 cm længde.

Målingerne med mikrobølger gav overensstemmelse med det faktiske fugtindhold fundet ved vejning, og metoden er således anvendelig til fugtdetektion i fleksible præisolerede fjernvarmerør med medierør af PEX.

Udfordringerne med placering af sondens plane anlægsflade mod rørets krumme kapperør var en udfordring, som vil kunne forbedres med udviklingen af en U-formet måleprobe i et opfølgende projekt.

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 frit 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 varmekonduktiviteter på 0,035-0,040 W/(m·K), hvilket viser betydningen af, at isoleringen ikke var tør.

Baggrunden for dette projekt har derfor været at udvikle og verificere en ikke-destruktiv metode til bestemmelse af, om en stikledning med medierør af PEX har våd isolering.

Projektet har bygget videre på Dansk Fjernvarmes distributionsgruppes pilotprojekt i samarbejde med AffaldVarme Aarhus, der har givet adgang til forskellige ældre stikledninger med våd isolering og medierør af PEX.

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.

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

I byggeriet er fugtmåling med mikrobølger almindelig brugt. Til brug for målingerne i projektet lånte vi fra vore kolleger i Center for Murværk en mikrobølgesensor *Moist 210* fra den tyske producent *HF Sensor GmbH* i Leipzig.

Sensoren kan ses på <http://www.hf-sensor.de/englisch/moist210bxe.html> og dens datablad kan ses på <http://www.hf-sensor.de/download/moist210beng.pdf>.



Det til projektet anvendte måleudstyr

Mikrobølger har en bølgelængde der gør, at de kun interagerer svagt med mange materialer, inklusiv plastrør og isolering i fjernvarmerør. Til gengæld passer mikrobølgers frekvens overens med vands egenfrekvens, hvilket gør, at interaktionen her er signifikant og målbar.

Da mikrobølgerne, der udsendes fra HF-måleudstyret, ikke har præcis samme frekvens som vands egenfrekvens, vil de ikke blive fuldt absorberet af eventuelt vand i isoleringen. I stedet kan mikrobølgerne foretage sig én af tre muligheder:

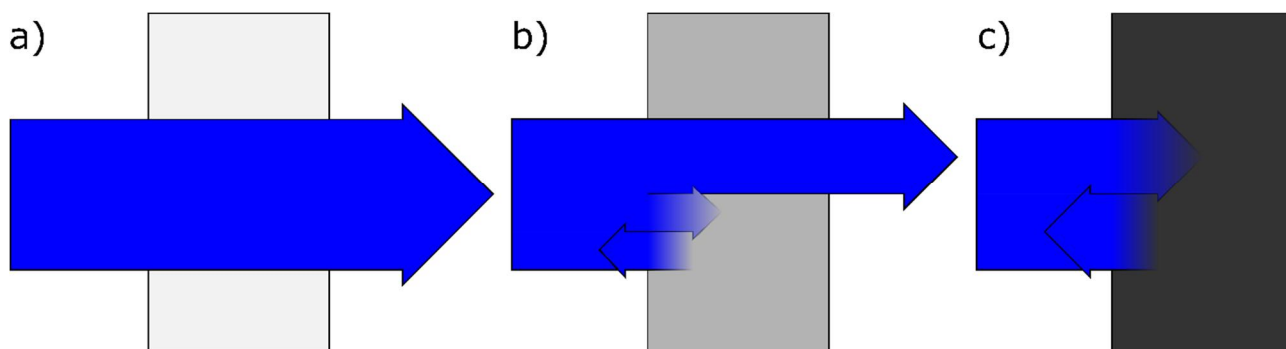
- De kan fortsætte uforstyrret igennem materialet (transmission)
- De kan reflekteres af overgangen mellem isolering og vand (refleksion)
- De kan få vandmolekylet til at oscillere (absorption).

Forholdet mellem refleksion og absorption er konstant, og givet ud fra bølgelængden af mikrobølgerne, mens forholdet mellem transmission og refleksion/absorption også er givet ud fra, hvor stor sandsynligheden er, for at en mikrobølgefoton 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.

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.

Som analogi til dette kan læseren tænke på et sæt solbriller, hvor lyset enten kan reflekteres i overfladen, blive absorberet i det mørke glas, eller transmitteres ind til øjet.

Teorien bag elektromagnetiske bølgers udbredelse i materialer er beskrevet grundigt i mange fysiklærebøger, eksempelvis *University Physics* af Young og Freedman.



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 nok vand er til stede i prøven, svarende til figur c), vil alt signal enten blive absorberet eller reflekteret.

4. Projektets udførelse

Fra AffaldVarme Aarhus blev leveret rørstykker ældre fleksible stikledninger. Fra hvert rørstykke blev udsavet tre prøver á 15 cm, der blev vejjet, målt med mikrobølgesonde og lagt til udtørring ved 70 °C. Rørstykkerne blev med jævne mellemrum målt og vejjet, indtil vægten var konstant og vandindholdet dermed bestemt.

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

Under fugtmålingerne med mikrobølger blev den ene ende af medierøret afproppet og røret fyldt med vand som vist i Figur 2, hvorved målingerne blev så realistiske som mulig i forhold til måling på rør i drift. Målingerne kunne også udføres med tomme rør, men dette medførte et off-set i måleresultatet, og der kunne derfor ikke skiftes mellem målinger med og uden vand i røret.



Figur 2: Medierørene blev afproppet i den ene ende og fyldt med vand svarende til rør i drift for at målingerne blev så realistiske som mulig

Mikrobølgesensoren blev herefter placeret mod kapperøret i fire forskellige positioner, jævnt fordelt rundt om røret. Disse positioner blev tillige mærket op på kapperøret, så sensoren kunne placeres de samme steder ved de efterfølgende målinger, efterhånden som udtørringen skred frem.

Sensorens anlægsflade mod emnet er plan, da den primært anvendes til fugtmåling i konstruktions-elementer i byggeriet, fx murværk, og ved måling på en krum overflade som et rør gælder det således om at placere den så vinkelret på kapperøret som muligt, se Figur 3.

Der viste sig også at være en rotationsafhængighed af sensoren; det var således nødvendigt at have samme orientering af instrumentet i forhold til prøven ved hver måling.

At dette er tilfældet bør ikke komme som en overraskelse, idet sender og modtager i måleudstyret består af to individuelle enheder. Deres indbyrdes position i forhold til måleemnet kan således ikke ignoreres.



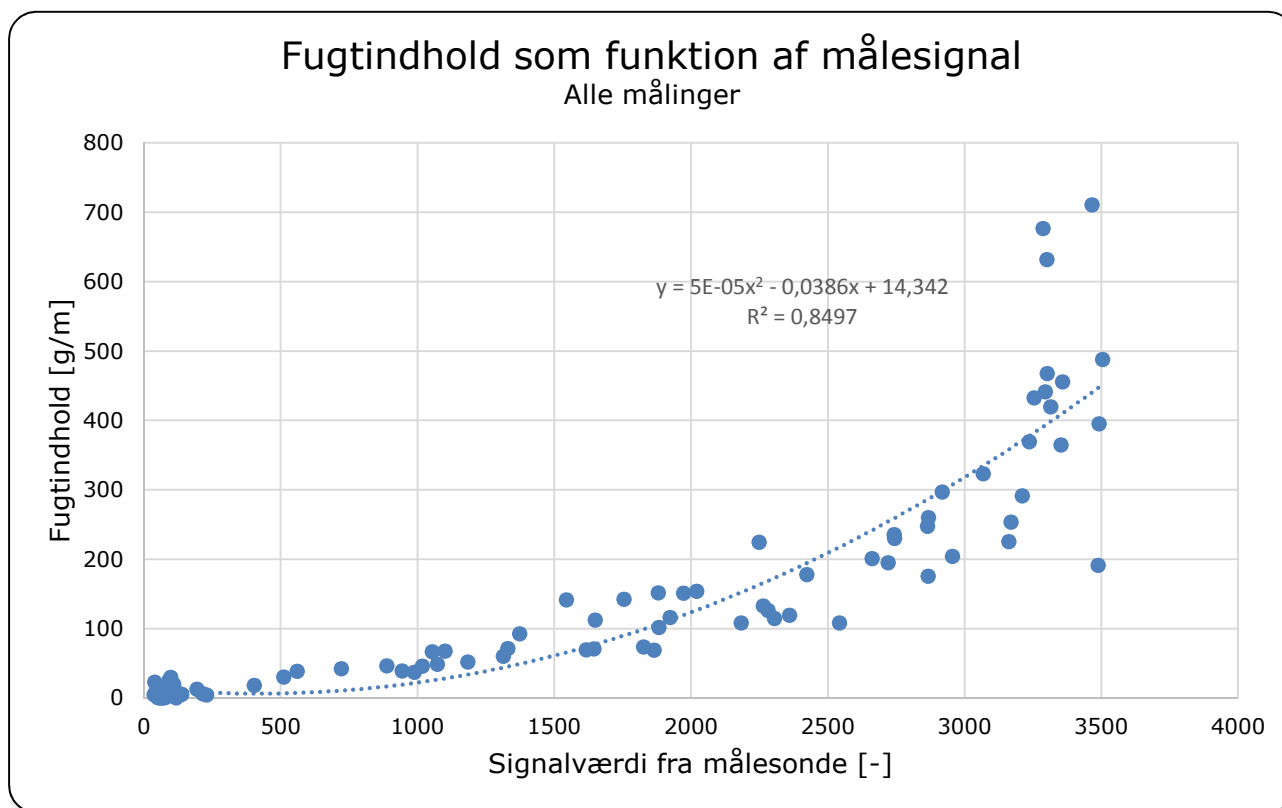
Figur 3: Måling af fugtindhold med mikrobølgesensor; rørets krumme overflade er en udfordring i forhold til sensorens anlægsflade



Figur 4: Udsavede rørstykker lagt til udtørring ved 70 °C indtil vægten var konstant

5. Resultater

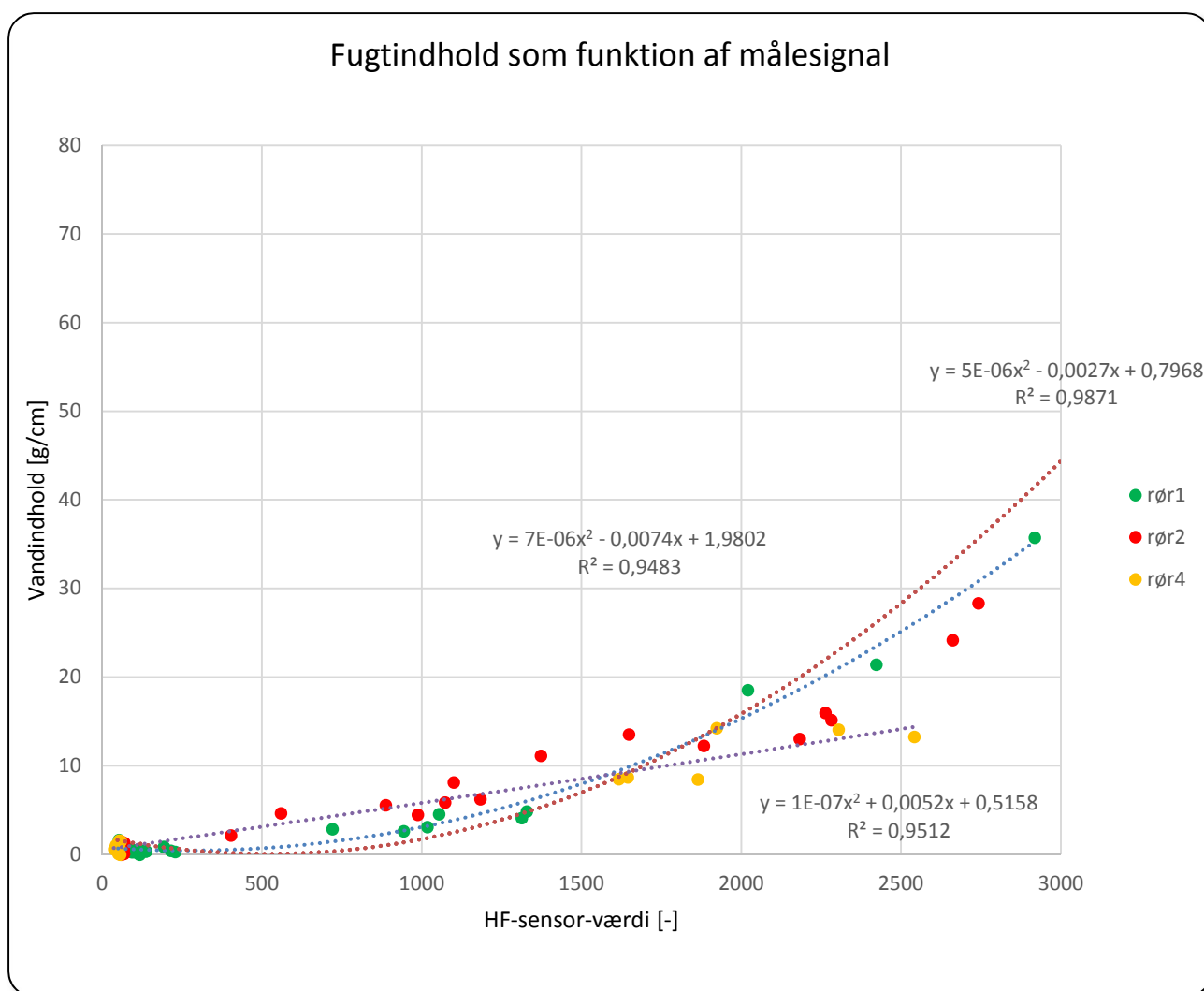
Afbilledes målingerne af fugtindholdet i rørstykkerne fundet ved udtørring og vejning som funktion af de tilsvarende signaler fra målesonden, fås en sammenhæng som vist på Figur 5.



Figur 5: Fugtindholdet fra alle målingerne fundet ved udtørring og vejning som funktion af de tilsvarende signaler fra målesonden

Som det ses, er der en vis spredning på resultaterne, og den stammer hovedsagelig fra målesondens placering på de krumme røroverflader. Spredningen bliver større, jo højere fugtindholdet i isoleringen har været, hvilket især skyldes, at et af rørene var meget fugtigt, og det er de målepunkter, der ligger længst til højre.

Resultaterne fra dette rør har derfor været forbundet med en relativ stor måleusikkerhed, men afbildes resultaterne for de resterende rør, fås et mere tydeligt billede af sammenhængen mellem gennemsnittet for signalværdierne på de enkelte rør og fugtindhold vist på Figur 6.



Figur 6: Fugtindholdet fra målingerne på de tre af rørene fundet ved udtørring og vejning som funktion af de tilsvarende signaler fra målesonden

Som det ses, bliver spredningen på resultaterne da væsentlig mindre, og den kvadrerede R-værdi stiger tilsvarende. Når måleresultaterne fra det meget våde rør udelades, bliver resultaterne mere entydige.

En yderligere grund til den store spredning i data skyldes, at vandet ikke er jævnt fordelt i isoleringen.

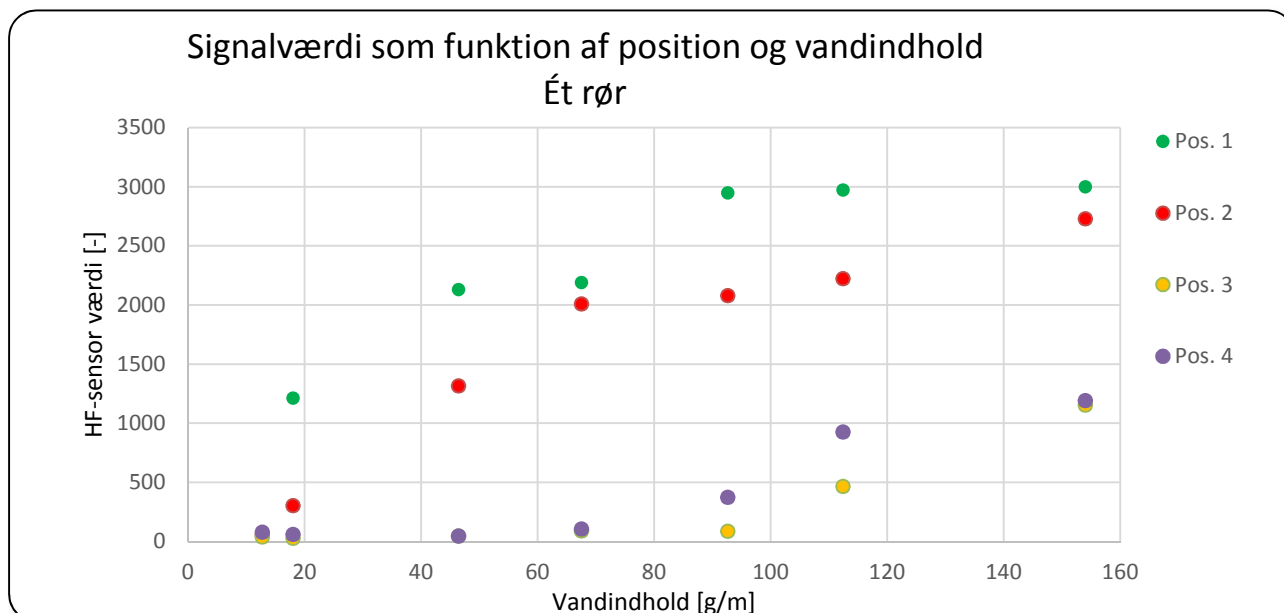
Idet fjernvarmerørene har ligget i jorden i årevis, har tyngdekraften påvirket vandets placering, således at vandindholdet i den del af røret, der har vendt nedad, er betydeligt højere end i den del af røret, der har vendt opad; dette fremgår af Figur 7 og 8.

Figur 7 viser målinger fra alle fire positioner på et enkelt rør. Her ses det, at position 1 og 2 giver betydelig højere værdier ved måling med HF-sensoren end position 3 og 4 hvilket indikerer, at vandindholdet er koncentreret i området omkring målepunkt 1 og 2.

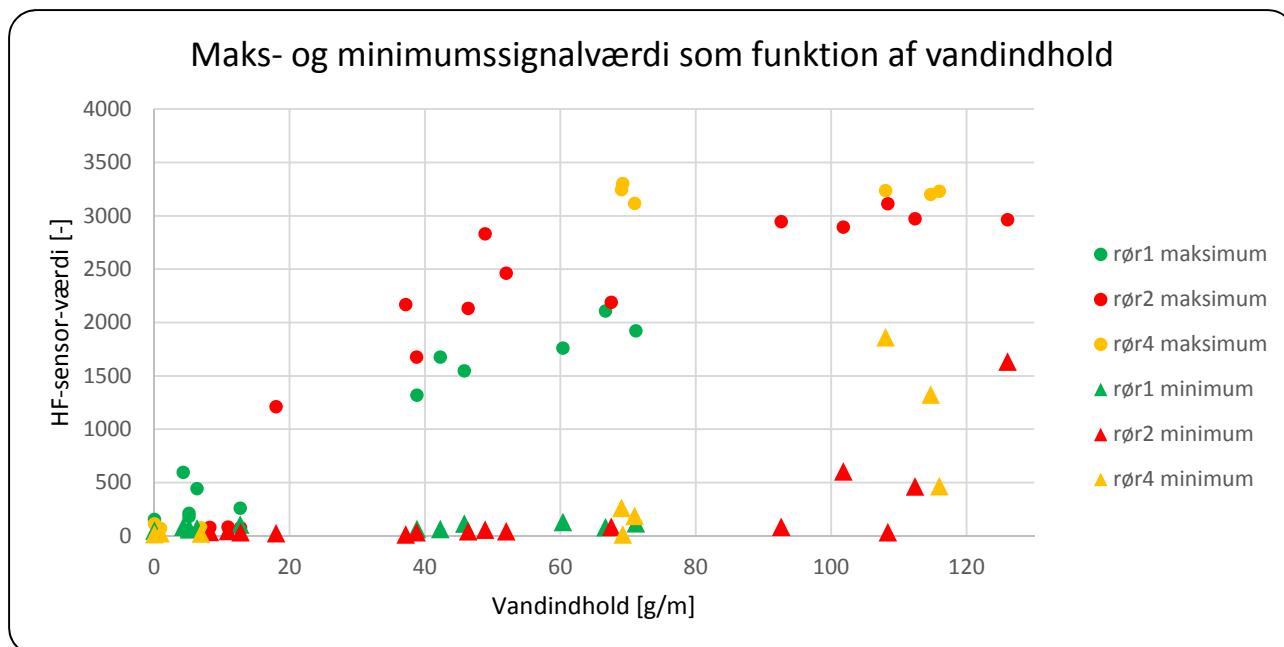
At vandet ikke er ligeligt fordelt i isoleringen rundt om røret forstærkes af data, vist i Figur 8. Her er vist minimumsværdierne og maksimumsværdierne for de fire positioner fra tre forskellige rørstykker. På alle rørstykkerne ses en klar forskel på måleværdierne mellem områderne på røret.

Hvis en konklusion om, hvorvidt et rørstykke er tørt eller ej, udelukkende blev baseret på en måling fra én position på røret, ville samtlige tre rør principielt kunne erklæres tørre, selvom der stadig er 100 gram vand i isoleringen per meter.

Det er derfor nødvendigt at foretage målinger flere steder rundt på røret. Hvis ikke, kan fejlagtige konklusioner blive draget. Ideelt set skulle der måles kontinuert rundt på røret, men da resultatet blot skal bruges til at give en kvalitativ vurdering af, om der er vand i isoleringen eller ej, vil en sådan måleserie være for omfattende set i relation til den vundne viden.



Figur 7: Måleværdierne rundt om røret afhænger meget af positionen på røret hvilket indikerer, at vandet ikke er lige fordelt i isoleringen



Figur 8: Maksimum- og minimumværdier fra HF-sensoren for de tre tørre rør som funktion af vandindholdet i isoleringen; det ses tydeligt, at vandet ikke er jævnt fordelt i isoleringen

6. Konklusion

Ud fra data opsamlet i dette projekt, er det tydeligt at se, at der er en klar korrelation mellem vandindhold i isoleringen i stikledninger, og måleværdier fra en MOIST mikrobølge-sensor.

Til forskel fra tidligere målemetoder, der har benyttet sig af langvarig vejning og tørring af isoleringen for at bestemme vandindholdet, har målemetoden, der er benyttet her, været i stand til at komme med kvalitativt valide resultater inden for sekunder, samt afgøre, hvor på røret, vandet er placeret. Det er således tydeligt at se, hvis dele af isoleringen er tør, mens isoleringen på den modsatte side af røret er våd.

Idet der er så store forskelle i måleværdierne rundt om røret, er det nødvendigt at målinger bliver foretaget flere forskellige steder, relativt til rørets orientering i jorden. Der skal således både måles oven på røret, på siden af røret og under røret for at få god viden om, hvor meget vand der befinder sig i isoleringen.

Problematikken med at foretage målinger flere steder rundt røret kan imødekommes ved at udvikle en fugtmålingssensor, der baseres på transmission frem for refleksion. Et sådan måleinstrument vil kunne give viden om fugtindholdet hele vejen gennem stikledningen og altså ikke kun om den del af isoleringen, der peger ud mod sensoren.

7. 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

University Physics, 11th edition, cap. 33, Young and Freedman, Addison Wesley, 2003

Fleksible præisolerede rør med fugtig isolering, Teknologisk Institut, 2015