

Delrapport 2:

Oxidationens Inverkan på Långvågig

Värmeöverföring

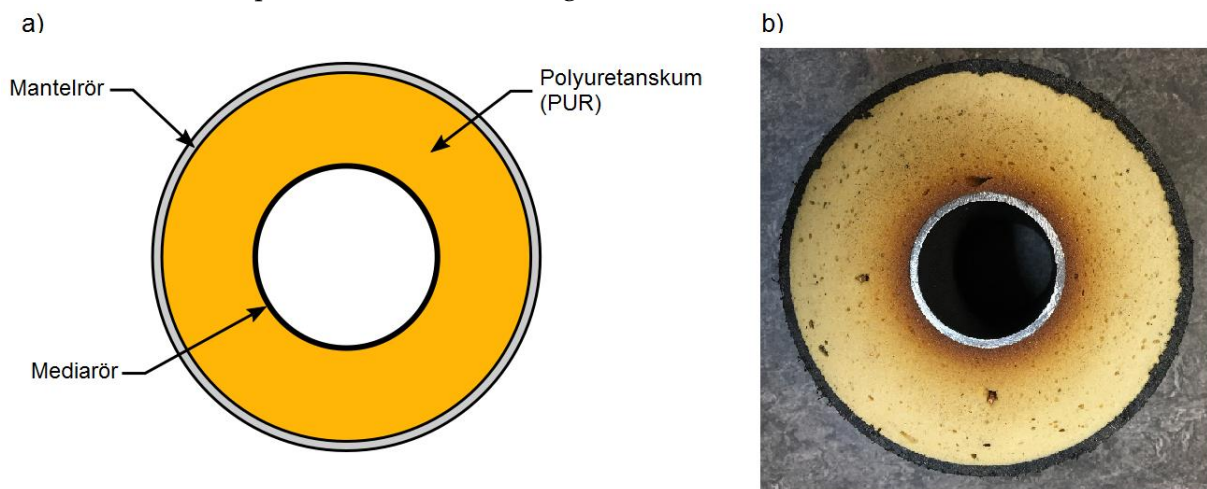
Fredrik Domhagen, Bijan Adl-Zarrabi

Contents

1	Bakgrund	2
2	Teori.....	2
3	Experiment	3
4	Resultat	3
4.1	Påverkan på konduktivitet.....	4
4.2	Densitetens inverkan.....	4
4.3	Porstorlekens inverkan	4
5	Slutsats	5
6	Bibliography	5

1 Bakgrund

Polyuretan(PUR)-isoleringens totala värmekonduktivitet förändras över tid på grund av att gaser med låg konduktivitet diffunderar ut ur isoleringen samt att gaser med lägre konduktivitet diffunderar in i isoleringen. Ett vanligt antagande när man räknar på hur den totala konduktiviteten i PUR-isoleringen förändras över tid är att värmetransport på grund av ledning i polymerens fasta struktur samt värmetransport genom värmestrålning är konstant. Det sker dock en tydlig förändring i PUR-isoleringens färg som över tid ändras från ljusgul till mörkbrun, där färgändringen är starkast i regionen nära mediaröret, se Figur 1. Färgändringen har visats vara ett resultat av oxidation i porernas cellväggar, där reaktionen accelereras av högre temperaturer, vilket förklarar den mörkare färgen nära mediaröret där temperaturerna också är högre (Henrik, 2006).



Figur 1. a) Principskiss över tvärsnittet på ett fjärrvärmerör. b) Fotografi på tvärsnittet för ett åldrat fjärrvärmerör.

Uppskattningar av hur PUR-isoleringens konduktivitet ändras över tid är viktiga ur både ett ekonomiskt och ett miljömässigt perspektiv. Beslut om när ett fjärrvärmesystem bör bytas ut är beroende av fjärrvärmesystemets status med avseende på mekaniska och termiska egenskaper. Det är därför viktigt att förstå inblandade åldringsmekanismer för att kunna göra korrekta bedömningar om fjärrvärmesystemets status.

2 Teori

Den totala konduktiviteten för PUR-isolering kan beräknas som summan av bidraget från värmestrålning, ledning i den fasta strukturen samt ledning genom gaserna som finns inneslutna i PUR-isoleringen (Persson, 2015):

$$\lambda_{PUR\ isolering} = \lambda_{värmestrålning} + \lambda_{gas} + \lambda_{fast} [W/(m \cdot K)] \quad (1)$$

För att beräkna konduktiviteten för värmestrålning används Rosselands värmeeckvation (N. C. Hilyard, 1994):

$$\lambda_{värmestrålning} = \frac{16\sigma T^3}{3\bar{K}_e} \quad (2)$$

Där σ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}$] är Stefan-Boltzmanns konstant, $\bar{K}_e$ [m^{-1}] är medelextinktionskoefficienten och T [K] är temperaturen.

3 Experiment

För att undersöka hur värmestrålningen genom PUR-isoleringen förändras över tid mättes extinktionskoefficienten för ett antal PUR-prover utsatta för olika nivåer av oxidation och därefter beräknades den långvågiga värmetransporten.

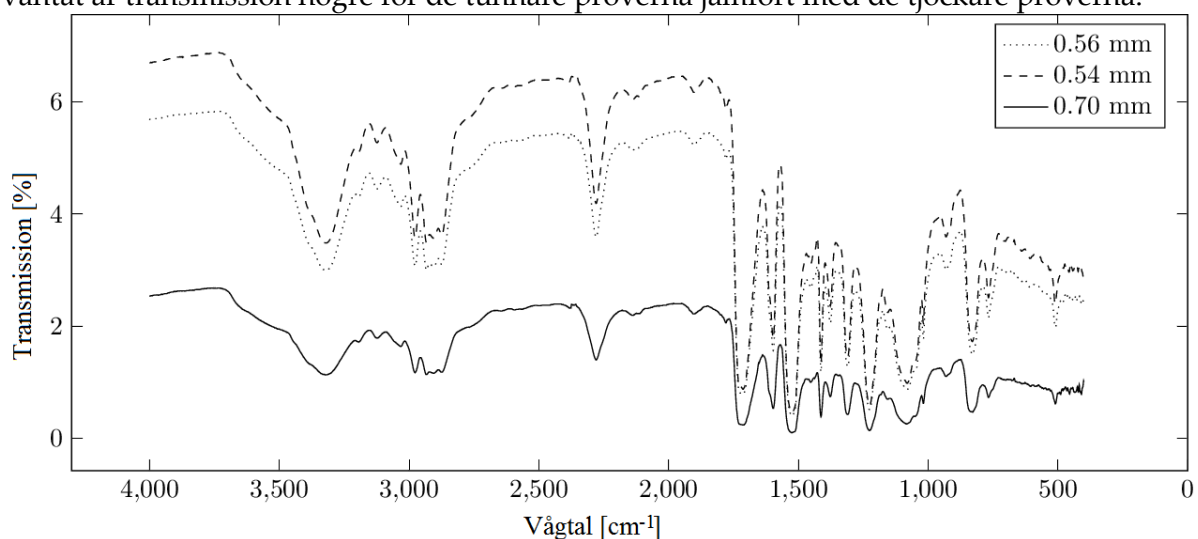
För att uppskatta värmeöverföring genom långvåg strålning behöver transmissionen genom proverna mätas. Metoden som användes för att mäta transmissionen i det här projektet var FTIR (Fourier Transform Infrared Analysis). Från transmissionen kan sedan Rosselands medelextinktionskoefficient beräknas och slutligen även värmekonduktiviteten för strålning (Ekvation 2).

Prover togs från PUR-isolering som använts som isolering i ett fjärrvärmerör. Eftersom isoleringen var använd var isoleringen mörkare nära mediaröret och ljusare nära mantelröret. Hälften av proverna togs därför från regionen nära mediaröret och hälften av proverna från regionen nära mantelröret. PUR-isoleringen var CFC-11 blåst och röret hade varit i bruk i 32 år (från 1983). Proverna skars ut ur isoleringen i tunna skikt med hjälp av en mikrotom och hade en diameter på 20 mm.

Eftersom PUR-isoleringen var mycket spröd blev flera av proverna förstörda när dom skars ut. Proverna behövde därför undersökas noga för att säkerställa att det inte fanns förstörda celler som kunde påverka mätresultaten. Endast prover med intakta celler behölls för mätning med FTIR.

4 Resultat

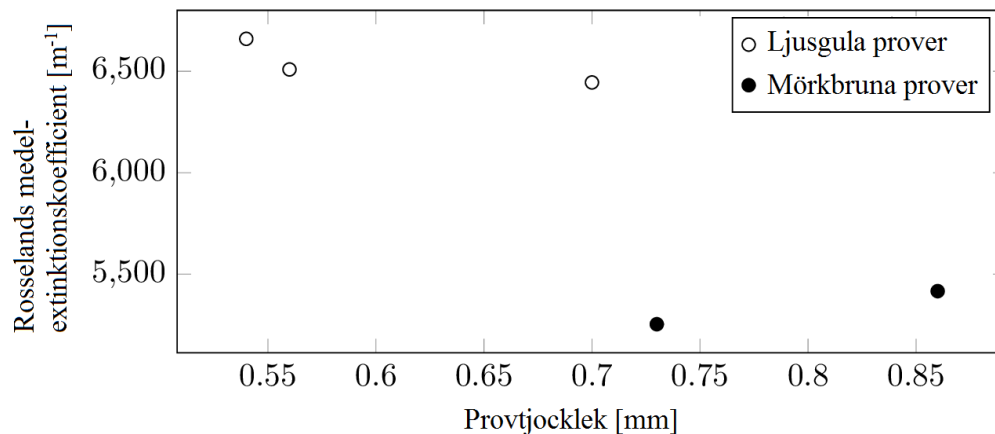
Resultaten från mätningarna av transmission för de ljusa proverna visas i Figur 2. Som väntat är transmission högre för de tunnare proverna jämfört med de tjockare proverna.



Figur 2. Resultat från mätningar med FTIR. Grafen visar transmissionen för de ljusgula proverna vid olika vågtal.

Transmissionen räknas om till extinktionskoefficienter med Rosselands ekvation, där medelextinktionskoefficienten fås genom integrering över våglängderna. Figur 3 visar

medelextinktionskoefficienterna för samtliga prover, ljusa och mörka. Resultaten visar att medelextinktionskoefficienten är 22 % högre för de ljusa proverna jämfört med de mörka.



Figur 3. Grafen visar resulterande medelextinktionskoefficienter för samtliga prover.

4.1 Påverkan på konduktivitet

För att uppskatta vilken påverkan en förändring av medelextinktionskoefficienten med 22 % har på den totala konduktiviteten i PUR görs en jämförelse med cyklopentanblåst PUR-isolering, (Cp: 60 %, CO₂: 30 %, O₂: 2 %, N₂: 8 %). Den totala värmekonduktiviteten för PUR blir 1.8 % högre med den mörka PUR-isoleringen jämfört med den ljusa. Eftersom strålningstransporten är högre vid högre temperaturer beräknades även den genomsnittliga förändringen i total konduktivitet för temperaturspannet 40 °C – 90 °C, skillnaden i total värmekonduktivitet blir då en ökning med 1.5 % från ljus PUR-isolering till mörk PUR-isolering.

4.2 Densitetens inverkan

Densiteten på PUR-isoleringen som användes i det här projektet var 84 kg/m³ vilket jämfört med andra PUR-isoleringar är något högt. Generellt gäller att ju högre densitet ju högre extinktionskoefficient, det betyder att extinktionskoefficienten i mätningarna kan vara något överskattad jämfört med normal PUR.

Densiteten påverkar även hur stor andel av värmetransporten som sker genom värmestrålning. Högre extinktionskoefficient ger mindre andel värmetransport genom värmestrålning. Detta betyder att en ökning av medelextinktionskoefficienten med 22 % kan ge en större inverkan på den totala värmekonduktiviteten än 1.8 %

4.3 Porstorlekens inverkan

För att utesluta att skillnaden i extinktionskoefficient beror på skillnader i PUR-isoleringens porstorlek mättes porstorlekarna i samtliga prover. Den genomsnittliga porstorleken var 145 µm för varje prov utan någon betydande variation mellan proverna. Det kan därför uteslutas att skillnaden i extinktionskoefficient beror av skillnader i porstorlek.

5 Slutsats

Projektet syftade till att undersöka oxidationens inverkan på värmetransport genom strålning i PUR-isolering. Mätningar genomfördes på ett antal prover med FTIR där proverna varit utsatta för olika grad av oxidation. Resultaten visar att medelextinktionskoefficienten var 22 % högre för de prover som utsatts för en lägre grad av oxidation jämfört med de prover som utsatts för en högre grad av oxidation. Däremot, på grund av att värmestrålning endast utgör en mindre del av den totala värmetransporten i PUR-isolering gav förändringen endast en ökning av 1.8 % på isoleringens totala konduktivitet. Eftersom testerna utfördes på prover som båda varit utsatta för oxidation (om än i olika grad) är det därför troligt att den totala förändringen över PUR-isoleringens hela livslängd är större än 1.8 %.

6 Bibliography

- Henrik, H. (2006). *Thermische Nachalterung und Vor-Ort-Prüfung großer Nennweiten von praxisgealterten Kunststoffmantelrohren (KMR): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben*. Dresden: IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH.
- N. C. Hilyard, A. C. (1994). *Low Density Cellular Plastics*.
- Persson, C. (2015). *Predicting the Long-Term Insulation Performance of District Heating Pipes*. Gothenburg: Chalmers University of Technology.