

Statusbedömning av fjärrvärmerör genom en icke förstörande metod

Elektriska resistansmätningar av koppartråd samt avsvalningsmetod

Peter Lidén

April 2017

Sammanfattning

Det svenska Fjärrvärmenätet är på många platser föråldrat. Det behöver dock inte betyda att det är undermåligt. Det finns därför ett stort behov av att just kunna bedöma statusen på dessa rör. Detta projekt syftar till att utveckla en icke förstörande metod som möjliggör en termisk statusbedömning av dessa rör. Projektet har initialt utförts som en litteraturstudie genom att undersöka om det finns några potentiella metoder för andra ändamål som kan tillämpas eller modifieras för användning på fjärrvärmerör. Denna litteraturstudie pekade ut flertalet icke förstörande metoder för befintliga rör men ingen som i dagsläget ansågs tillräckligt bra för att vidareutveckla. För ny rörläggning finns det betydligt större potential eftersom det då är möjligt att placera ut olika varianter av sensorer, t.ex. fiberoptiska kablar. För befintliga rör har ett tydligt fokus legat på att försöka utveckla en icke förstörande metod, där statusen kan bedömas utifrån rörens befintliga egenskaper och installation. Därför har vi valt att gå vidare med två andra metoder som vi benämner TCR-metoden (Thermal Coefficient of Resistance) och avsvlningsmetoden, tidigare testad på flexrör av (Reidhav, 2010). TCR-metoden bygger på att utnyttja sambandet mellan elektrisk resistans och temperatur. I äldre och nyproducerade rör är det vanligt förekommande med koppartråd i polyuretanisoleringen, för att upptäcka vattenläckor. Koppartråden kommer användas som temperatursensor vid resistansmätningar. Avsvlningsmetoden bygger på att en driftsatt rörsträcka temporärt stängs av under några timmar, för att studera den energimängd som försvinner under avsvlningsperioden. Därifrån går det bestämma den termiska statusen. Metoderna har testats individuellt i labbmiljö och på Chalmers egna rör med goda resultat, vilket beskrivs mer ingående i denna rapport. Förhoppningen är att metoderna går att kombinera vid framtida fältmätningar och vidare bli en metod som kan tillämpas av fjärrvärmenätens ägare.

1. Bakgrund och problembeskrivning	1
2. Syfte och mål	2
3. Metodik och laboratorieresultat för TCR-metoden	2
3.1 Initiala mätningar: Samband mellan elektrisk resistans och temperatur	3
3.2 Koppartråd i fjärrvärmerör	3
3.3 Resultat TCR-metod	4
4. Metodik och resultat för avsvlningsmetoden	4
4.1 Mätningar: Chalmers fjärrvärmenätverk	5
4.2 Resultat för avsvlningsmetoden	5
4.3 Känslighetsanalys	7
5. Slutsats	9
6. Referenser	10
7. Delrapporter A och B	Fel! Bokmärket är inte definierat.

1. Bakgrund och problembeskrivning

Stora delar av det befintliga fjärrvärmenätet i Sverige har funnits i många år och de behöver successivt bytas ut. Det är dock svårt att i dagsläget statusbedöma dessa rör på ett effektivt och icke förstörande sätt. I ett tidigt skede inom detta projekt genomfördes en litteraturstudie i syfte att se om det finns någon icke förstörande metod för andra ändamål som kan tillämpas för fjärrvärmerör, se '*Delrapport 7 Possible measuring methods*'.

Litteraturstudien granskade både potentiella metoder för äldre befintliga rör samt metoder för användning vid ny rörläggning. De metoder som under litteraturstudien ansågs bäst för befintliga rör, bedömdes dock inte som tillräckligt utvecklat för användning vid mätningar av fjärrvärmerör. För nya rör som installeras finns det en intressant och bra metod där en fiberoptisk kabel dras utmed fjärrvärmeröret. Metoden tillhandahåller en precis och tydlig temperaturprofil utmed rörsträckan. Nackdelen är att priset för instrumenten för avläsning fortfarande är höga, varpå metoden inte blir ekonomisk lönsam. Ytterligare en litteraturstudie, se '*Delrapport 8 Evaluation-RFID*', genomfördes i syfte att studera vilka möjligheter det finns att implementera någon form av temperatursensor vid ny rörläggning. Både tråd och trådlösa metoder utvärderades. Studien visade att det finns potentiell metoder som kan tillämpas, t.ex. RFID (Radio-frequency identification) som är en trådlös metod. Nackdelen med metoden är att den kräver någon som promenerar ovan röret och samlar in data trådlöst där temperatursensorer är placerade. För ytterligare information om alla icke förstörande metoder, se bifogade delrapporter.

Den metoden som tillämpas i dagsläget indikerar bara fuktläckage och bygger på resistansmätningar mellan stålmantelrör och de i isoleringen ilagda koppartrådarna. Den uppmätta resistansen visar på om fukt finns i isoleringen men metoden ger idag relativt osäkra resultat. I vissa fall kan en väldigt låg resistans betyda att "larmfilten" sugit åt sig den fukt som finns och därmed indikerar på en lägre resistans än vad som egentligen föreligger. Detta kan vara bra som en tidig indikator men som sagt den kan också vara missvisande. Likaså skulle en åldrad torr isolering kunna ge onormalt höga resistansvärden mellan fjärrvärmevattnets stålrör och koppartråden medan det i själva verket har fått en högre värmeledningsförmåga på grund av andra processer som b.l.a. gasdiffusion. Om det istället går att visa på aktuell värmeledningsförmåga i isoleringsmaterialet genom resistansförändringar i själva koppartråden som sådan, kan möjligtvis en säkrare prognos fattas beträffande rörets status. De metoder som utvärderas i denna rapport är skilda från litteraturstudien och benämns som avsvlningsmetoden och TCR-metoden (Thermal Coefficient of Resistance), de presenteras även till viss del i (Lidén & Adl-Zarrabi, 2016), se appendix. Här utvärderas metoderna individuellt men en kombination av de båda föreslås vara aktuell för senare fältmätningar. En variant av avsvlningsmetoden är tidigare utvärderad, då för flexrör (Reidhav, 2010). Metoden bygger på att systemet stängs av och avsvlningsförloppet i röret registreras med hjälp av temperatursensorer. Reidhavs metod är dock svår att implementera för vanliga fjärrvärmerör som finns i fält. Avsaknaden av temperatursensorer gör metoden ofullständig. Teoretiskt sett bör dock temperaturen kunna loggas indirekt genom att mäta den elektriska resistansen i rörets koppartråd, eftersom det finns ett samband mellan resistans och temperatur. I denna rapport benämns den elektriska resistansmätningen som TCR-metoden. De aktuella metoderna som skall testas bedöms inte kunna skapa tydligare bedömning av lokalisering för fel på rör, pulsekomätning (TDR, time domain reflectometry) är därmed fortfarande den metod som bedöms som aktuell för att upptäcka vattenläckage.

2. Syfte och mål

Syftet är att utveckla en icke förstörande metod för att kunna bedöma termiska statusen på ett fjärrvärmenät. Metoden skall utvecklas i laboratorium och skall utvärderas i ett driftsatt fjärrvärmenät.

Resultaten från en förstudie visar att en kombination av två metoder nämligen TCR-metoden och avsvlningsmetoden har den största potentialen för statusbedömning av befintliga fjärrvärmerör. För att kunna kombinera metoderna skall man undersöka om metoderna ger den önskade informationen. Därför definieras delmål för varje metod enligt nedan:

Delmålet med TCR-metoden är att:

- Undersöka i vilken omfattning som resistansen i koppartråden förändras med temperaturen.
- Undersöka om koppartråden kan fungera som temperatursensor vid en framtida kombination med avsvlningsmetoden

Delmålet med Avsvlningsmetoden är att:

- Undersöka om metoden kan användas för att bestämma genomsnittlig värmeledningsförmåga för en rörsträcka.
- Undersöka noggrannheten i att utvärdera värmeledningsförmågan med en icke förstörande metod på ett aktivt system

3. Metodik och laboratorieresultat för TCR-metoden

TCR-metoden går ut på att utnyttja sambandet mellan elektrisk resistans och temperatur i koppartråden. TCR-metoden är främst tänkt att användas för att ge information om temperaturen inuti röret vid koppartrådens position. Alltså som en temperatursensor för avsvlningsmetoden. Genom att mäta den elektriska resistansen i koppartråden går det att räkna ut medeltemperaturen för koppartrådens placering för den aktuella mätsträckan. Ekvationer 1-3, kan användas för att mäta temperaturen (Cutnell & Johnson, 2003), vilket vidare kan användas för bedömning av eventuell förändrad värmeledningsförmåga.

$$R(T) = R(T_0) \cdot (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (1)$$

$$\Delta\lambda \approx \Delta R \quad (2)$$

$$T = T_0 + \frac{R(T) - R(T_0)}{\alpha \cdot R(T_0)} \quad (3)$$

där T_0 [K] är referenstemperatur, T [K] är temperatur av intresse, $R(T_0)$ [ohm] är resistivitet vid referenstemperatur, $R(T)$ [ohm] är resistivitet vid temperatur av intresse, α [1/K] är temperaturkoefficienten av resistansen, α_{koppar} är $3.9 \cdot 10^{-3}$ [1/K], ΔR [ohm] är skillnad i resistans för nytt rör relativt åldrat rör, $\Delta\lambda$ [W/(m·K)] är skillnad i värmeledningsförmåga för nytt rör relativt åldrat rör.

Koppartråden i ett fjärrvärmerör är inte helt rakt och detta påverkar resultaten av mätningar därför skall en mätning utföras i samband med rörinstallation. Denna mätning kan användas som referens för kommande mätningar under livstiden av rören. Om ett och samma rör mäts vid installation och senare efter x antal år bör metoden även kunna användas utan implementation i avsvlningsmetoden. Det vill säga metoden kan också användas vid statusbedömning av ett nytt rörsystem.

3.1 Initiala mätningar: Samband mellan elektrisk resistans och temperatur

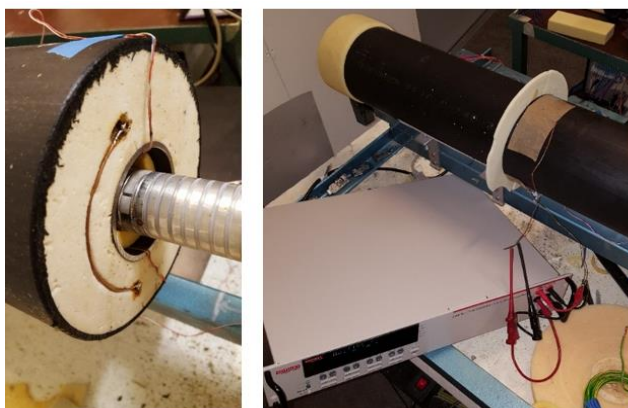
I ett inledande skede undersöktes metoden genom att utföra enkla resistansmätningar på några meter inplastad koppartråd i uppvärmt vattenbad. Resultaten visade att för den aktuella 6 meter långa koppartråden så var resistansförändringen $48 \mu\Omega/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$. Det svåra med att utföra resistansmätningar i labbmiljö är att resistansen i koppar är mycket låg och därmed svår att mäta med hög noggrannhet. Trots detta gick det se ett samband mellan temperatur och elektrisk resistans, se Tabell 1. Vid resistansmätningar i fält på längre sträckor minskar denna problematik ju längre sträckan är.

Tabell 1. Elektrisk resistans i 6 meter koppartråd (1.5mm^2) under uppvärmning i vattenbad

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Ohm [Ω]	Tid efter start [min]
8.0	0.060	0
16.0	0.063	9
25.0	0.065	16
35.0	0.067	24
43.0	0.070	32
50.0	0.072	41
25.0	0.065	47
23.0	0.064	55

3.2 Koppartråd i fjärrvärmerör

Efter det enkla försöket i vattenbad utfördes ett test av samma samband mellan temperatur och resistans, denna gång på koppartråd i ett befintligt fjärrvärmerör med hjälp av GHP-metoden ('Guarded Hot Pipe'-metoden). Innan försöket startade sammankopplades koppartrådarna i ena änden av röret, se vänstra bilden i Figur 1.

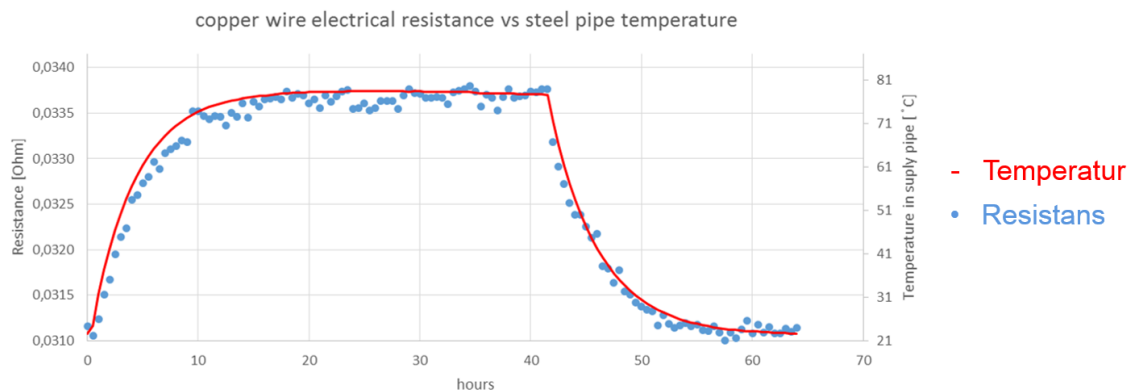


Figur 1. Försökuppställning vid resistansmätning under körning med metoden GHP.

Utrustning i laboratorium består av Micro-Ohmmeter datalogger (Keithley 2750), temperatur datalogger, 'Guarded Hot Pipe' instrument: Värmestav med temperaturgivare (simulering av det varma vattnet i röret), termoelement och konstantströmsgenerator.

3.3 Resultat TCR-metod

Försöket med mätning av elektrisk resistans under uppvärmning och avsvälning med GHP-metoden gav det förväntade resultatet, se Figur 2.



Figur 2. Resultat vid jämförelse av stålörstemperatur (vattentemperatur) och elektrisk resistans. Grafen visar på ett tydligt samband mellan temperaturen i rött och resistansen i blått.

Ett tydligt samband visas mellan stålörstemperatur och elektrisk resistans i koppartråden. Detta betyder att det är möjligt att mäta temperaturen i koppartråden.

4. Metodik och resultat för avsvälningmetoden

En intressant metod för att bedöma värmeförlusterna i ett fjärrvärmerör system är att registrera temperaturförändringar i fjärrvärmevattnet när vattnet står stilla, d.v.s. ventilerna stäng för en rörsträcka. Temperaturförändringen kan räknas om till den energimängd, ekvation (5) som då har försvunnit från röret och avgått till omgivningen. Med hjälp av tiden och temperatursänkningen kan värmeförlusterna från röret beräknas. Vidare kan totala värmeledningsförmågan i röret beräknas med hjälp av ekvationerna (6) och (7).

$$Q = \rho c * A * L * \Delta T \quad (5)$$

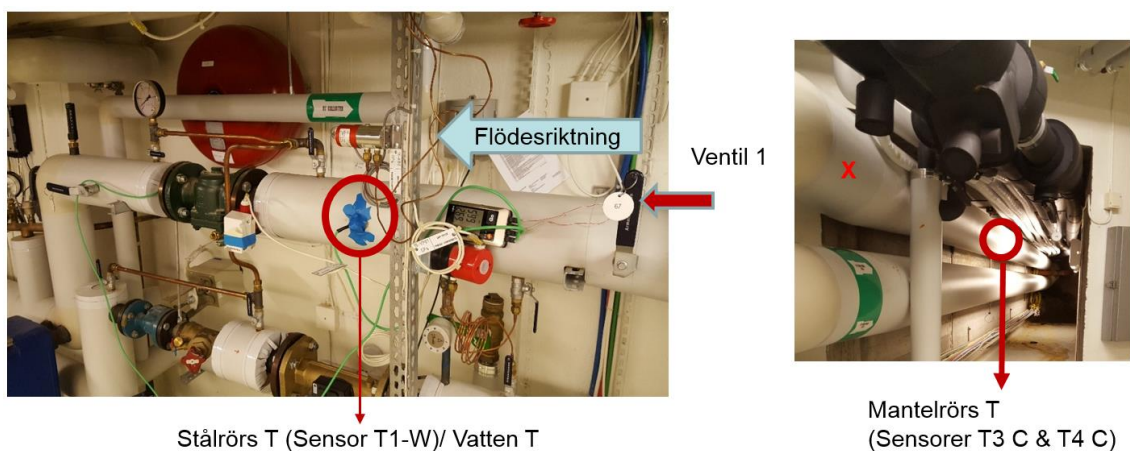
$$K = \frac{-C * \ln\left(\frac{\Delta T_{slut}}{\Delta T_{start}}\right)}{t_{tot}} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{K * \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi} \quad (7)$$

där Q [J] är energi, ρc ger C [J/K] som är total värmekapacitetvatten, A [m²] är rörets tvärsnittsarea, L [m] är rörets längd, ΔT [K] är temperaturskillnad, K [W/K] är konduktans, t är sekunder, ΔT_{start} [K] är rörtemperatur före avsvälning minus rumstemperatur, ΔT_{slut} [K] är rörtemperatur efter avsvälning minus rumstemperatur, där λ [W/(m·K)] är värmeledningsförmågan, r_1 [m] är stålörsradie och r_2 [m] är total radie.

4.1 Mätningar: Chalmers fjärrvärmenätverk

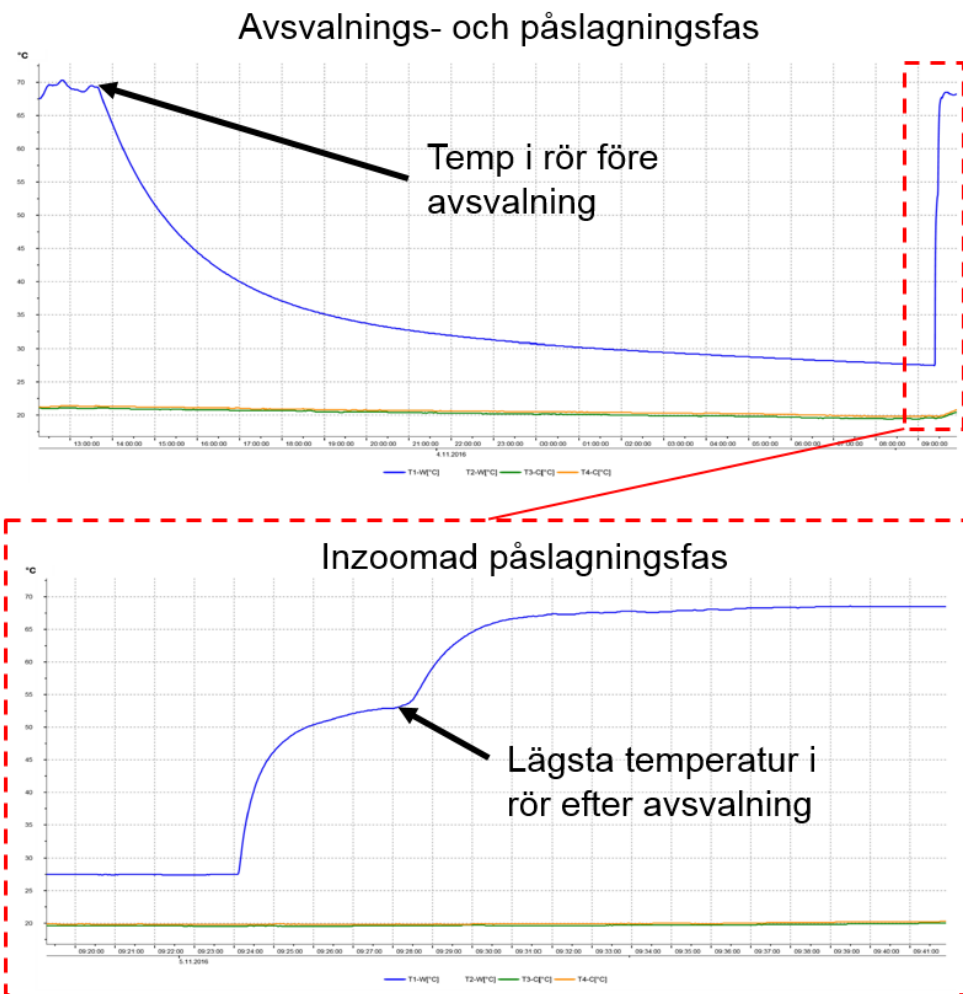
Chalmers Tekniska Högskolans fjärrvärmenätverk har används för evaluering av avsvlningsmetoden. Rörsträckan mellan byggnaden för elektro och datateknik och byggnaden för idélära, en sträcka på 23 meter valdes ut för mätningar. För att utvärdera fjärrvärmerörets värmeledningsförmåga placerades termoelement ut på mantelrör, fritt i luften och i existerande temperaturficka i stålröret på framledningsröret. Flödet stängdes av via ventiler på vardera sidan om det 23 meter långa framledningsröret. Flödet genom röret stängdes av under 20 timmar och därefter mättes temperaturen i vattnet i röret. Figur 3 visar försöksupställningen för testet av avsvlningsmetoden.



Figur 3. Försöksupställning vid test av avsvlningsmetoden på Chalmers rör. Stålrörssensorn sitter till vänster om den instängda vattenvolymen och 0,3 meter till höger om de oisolerade kopplingarna.

4.2 Resultat för avsvlningsmetoden

Försöket med avsvlningsmetoden genomfördes under ca 20 timmar mellan 4e och 5e november 2016. Resultatet visar att rörets totala värmeledningsförmåga var **43,6 mW/m·K**, se appendix för beräkningar. Värt att notera var att den inbyggda flödesmätaren slutade fungera när flödet ströps och startade inte vid påslagning. Därmed fick avsvlnad temperatur i vattenvolymen mellan ventilerna analyseras grafiskt. Lägsta uppmätta temperatur med termoelementet i röret var ca 27 °C. Denna temperatur representerar dock inte vattenvolymen mellan ventilerna. I Figur 3 går det se att termoelementet för vattentemperaturen är placerad till vänster om ventil 1 och nära oisolerade rördelar. Vid påslagning rör sig vattenvolymen åt vänster och den mellan ventilerna instängda vattenvolymen passerar sedan temperaturmätaren. I Figur 4 går det se hur den tidigare instängda vattenvolymen passerar termoelementet och bildar den första temperaturstegringen. Vid platån går det då se att lägsta temperatur var 53 °C. Varpå det sedan sker en ny stegring när nytt 69 °C vatten passerar termoelementet.



Figur 4. Översta grafen visar avsvalningsfasens start vid ca 69 °C. Nedre grafen visar lägsta temperatur i rör efter avsvalning och vid påslagning. Temperatursensorn för vattnet i röret är placerad vid sidan om den instängda vattenvolymen, där röret var delvis oisolerat. Därför visas den lägsta uppmätta temperaturen ca 27 °C. När den instängda vattenvolymen i mätröret rör sig vidare vid påslagningsfasen, passerar den temperatursensorn. Då går det att notera lägsta temperatur som varit, i den mellan ventilerna instängda vattenvolymen. I detta fall ca 53 °C.

För att validera resultatet från avsvalningsmetoden plockades en bit av isoleringen bort från försökröret för att testas under beprövade former nämligen med GHFM-metoden (Guarded Heat Flow Meter). I Figur 5 visas den bortplockade isoleringsbiten av mineralull som testades.



Figur 5. Bilden till vänster visar röret med den borttagna isoleringsbiten. Bilden till höger visar delar av den borttagna isoleringen när den testas med guarded hot plate-metoden.

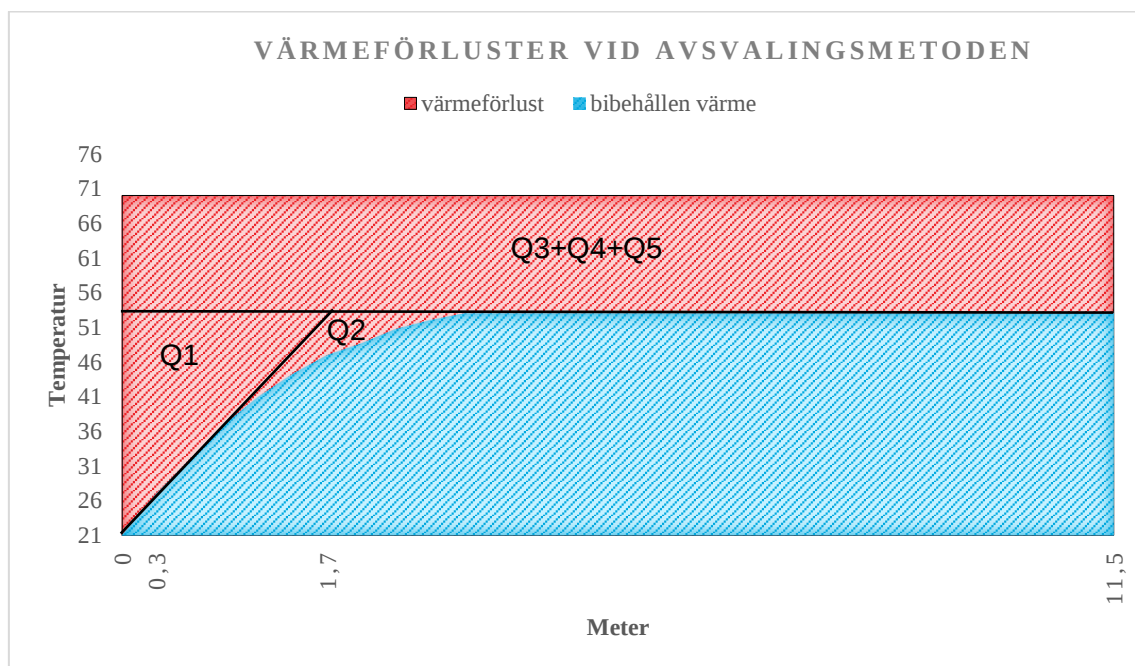
Provbiten som testades med GHFM utsattes för 70 °C på ena sidan och 20 °C på andra, dvs. λ_{45} , resultatet gav ett lambdavärde på **34,2 mW/m·K** som kan jämföras med värdet **43,6 mW/m·K** från avsvlningsmetoden vid λ_{41} . Ett lambdavärde på 34,2 mW/m·K är därmed den absolut bästa isoleringen som går att uppnå på detta rör, något som självklart är omöjligt om man ser på röret som helhet och inkluderar köldbryggor och luftfickor (som alltid förekommer).

4.3 Känslighetsanalys

Resultatet från avsvlningsmetoden visade att lambdavärdet var 43,6 mW/m·K, detta är inklusive flera typer av köldbryggor, så som ändförluster, luftfickor och skarvar. Med ändförluster menas att värmetransport sker ut från röret horisontalt i riktning mot de två ändarna av röret där det finns oisolerade rörkopplingar, se Figur 5. Luftfickor som framförallt förekommer mellan isolering och underkant stålrör bedöms inte som tillräckligt stor för att konvektiv värmetransport skall ske, se Figur 5. Eftersom isoleringen är ditmonterad som delar finns det även skarvar i horisontal- och vertikalled.

Lambdavärdet för hela röret inklusive alla typer av förluster (Q_{total}) blev 43,6 mW/m·K, vilket betyder att det inte är jämförbart med lambdavärdet på 34,2 mW/m·K ($Q_{\text{vertikalt}}$) från GHFM. Utöver värmeflödet genom isolering är alltså 21,6 % värmeförluster från köldbryggor. Det totala värmeförlusterna genom olika former av köldbryggor och genom isolering kan beskrivas som i ekvation (8) nedan och illustreras även i Figur 6:

$$Q_{\text{total förlust}} = (Q_1 \text{ och } Q_2 \text{ ändförluster} * 2) + Q_3 \text{ Isolering} + Q_4 \text{ skarvförluster isolering} + Q_5 \text{ luftficksförluster} \quad (8)$$



Figur 6. Värmeförluster i röret beskrivna som delförluster Q1-Q5. Den totala värmeförlusten Q_{tot} illustreras av den röda ytan i figuren och bibehållen värme som blå. Figuren beskriver ena halvan av det 23 meter långa röret. Vänstra änden illustrerar de oisolerade rörkopplingar som leder till högre förluster. Q1 och Q2 beskriver ändförlusterna i horisontalled, Q3 vertikala förluster genom isolering, Q4 förluster i isoleringsskarvar och Q5 beskriver förluster pga. 1-2 cm luftspalt mellan isolering och underkant stålrör.

Q1 och Q2 som beskriver ändförlusterna går till viss del att räkna på. I verkligheten minskar temperaturen exponentiellt närmre de oisolerade rördelarna. Hur långt in som ändförlusterna

bedöms ha en påverkan är svårt att uppskatta. Däremot vet vi i detta fall att vi hade temperatursensorn 0,3m från de oisolerade delarna, vilken visade 27 °C. De oisolerade rördelarna hade temperaturen 21 °C efter avsvälning. Detta betyder att vi hade en temperaturminskning med 6 °C på 0,3 m. Om vi förenklar detta och gör om ändförlusterna till en linjär temperaturminskning kan vi med någorlunda säkerhet säga att Q1 är 6,9 % (en ände) av de totala förlusterna. Q2 däremot, förblir okänd.

Förlusterna via isoleringsskarvarna som beskrivs med Q4, är i detta försök små i förhållande till ändförlusterna. Det optimala hade varit att använda en stor rektangulär bit mineralull i GHFM och jämföra med en skarvad mineralull. Detta var dock inte möjligt pga isoleringens fasta rundade form. Däremot har två olika körningar gjorts i GHFM för att försöka uppskatta skarvarnas inverkan. En körning med cellplast (λ 26,9 mW/mK) på vardera sidan om mineralullen och en körning med skarvad mineralull mellan de två cellplastbitarna. Värmefflödesmätaren i GHFM är 10x10 cm och sitter centralt i nedersta plattan. Körningen med 2 delar cellplast och 1 mineralullsbit i mitten, anses vara det resultat som symboliserar mineralullsisoleringens lambdavärde på bästa sätt. Här motverkas värmefflödet från att gå horisontellt i riktning mot skarvarna pga. cellplastens lägre lambdavärde. I Figur 7 visas körningen med skarvad mineralull som symboliserar skarvarnas inverkan på lambdavärdet, vilket kan jämföras med oskarvad mineralull. Resultaten från de två körningarna GHFM visar att 5,4 % av de totala förlusterna är förluster genom skarvar.



Figur 7. Körning med GHFM med cellplast på sidorna och skarvad mineralull i mitten.

Luftfickan Q5 är ca 1 cm, det är därmed inte troligt att det kan uppstå någon konvektiv värmeförlust (Hagentoft, 2001). Luftfickans inverkan är därmed försumbar.

Vid en summering av samtliga kända köldbryggor får vi 19,2 % av totala förluster, se ekvation (8). Det betyder i så fall att Q2 som var en del av ändförlusterna utgör 2,4 % av totalförlusterna, under förutsättning att den mätta konduktiviteten med GHFM är korrekt. Eftersom det till stor del går att visa på de förluster som finns, anses det rimligt att lambdavärdet för hela röret är ca 44mW/mk.

5. Slutsats

De icke förstörande metoder som har testats i detta projekt har visat sig fungera bra, även om de ännu inte har testats i fält. TCR-metoden bedöms möjliggöra temperaturmätningar om befintlig koppartråd finns i isoleringen av fjärrvärmerören. Avsvalningsmetoden som utfördes på ett aktivt rör i Chalmers fastigheter, gav en total värmeledningsförmåga på $44 \text{ mW/m}\cdot\text{K}$, vilket bedöms som fullt rimlig med tanke på de köldbryggor som fanns. Enbart minerlullsisoleringen från röret hade en värmeledningsförmåga på $36 \text{ mW/m}\cdot\text{K}$, vid test med Guarded heat flow meter. Flertalet av de värmeförluster som uppstod i samband med avsvalningsmetoden bedöms inte uppstå vid fältmätningar. Ändförlusterna i horisontalled fick i detta försök stor inverkan eftersom änddelen utgjorde en förhållandevis stor del av totala rörets längd. Vid en eventuell fältmätning är det troligt att avsevärt mycket längre sträckor kommer att utvärderas, vilket då betyder att ändförlusterna får väldigt liten inverkan på totala förlusterna. Vid detta försök utgjordes isoleringen av skarvad mineralull, en typ av köldbrygga som inte är vanligt förekommande i nedlagda fjärrvärmerör. Luftfickor i polyuretanskum, likt luftspalten i detta avsvalningsförsök bedöms dock ha en viss, om än liten inverkan på värmeledningsförmågan.

Eftersom avsvalningsmetoden kräver någon form av temperatursensor, planeras TCR-metoden att testas vid ett kommande fältförsök som en temperatursensor. TCR-metoden kommer att utvecklas ytterligare för att kunna ge tillförlitliga temperaturer. Lämpliga teststräckor kommer att lokaliseras och förbereds för fältmätningar.

6. Referenser

Cutnell, J. D., & Johnson, K. W. (2003). *Physics* (6th edition ed.): Wiley.

Hagentoft, C.-E. (2001). *Introduction to building physics* (1:7 ed.): Studentlitteratur.

Lidén, P., & Adl-Zarrabi, B. (2016). *Non-destructive methods for assessment of district heating pipes: a pre study for selection of proper method*. Paper presented at the The 15th International Symposium on District Heating and Cooling, Seoul, Republic of Korea (South Korea).

Reidhav, C. (2010). *Sparse district heating and flexible district heating pipes*. (Dissertation), Chalmers University of Technology.

Ändförluster							
$Q=\rho*c*A*L*\Delta T$							
Atvärsnittsarea		0,0028274	m2				
Atvärsnittsarea		0,022698	m2				
längd		0,85	m	1,7	m		
längd		0,85	m				
längd		23	m				
volym vatten		0,0192933					
$\rho*c$		4200000					
delta T	Q1a	(27-21)/2	8				
	Q1b	69-37	32				
	Q1c	(69-37)/2	16				
	Qandra änden	69-21	24				
	Q53-21/2		16				
Q totalt		40268068					
0,85m rör med r=0,03				0,85m rör med r=0,085			
Q1a 0,85m		80751		Q1c ände		1296510	
Q1b 0,85m		323002					
Q2 okänd		0					
				Qandra änden		3889529	
				Q53-21/2		5186039	
Q1 två ändrar av total		13,88%					
Q1 ena änden av total		6,9%					
skarv och ändförlust av total			19,16%				