

FÄLTFÖRSÖK FÖR STATUSBEDÖMNING AV FJÄRRVÄRMERÖR

RAPPORT 2019:590



Fältförsök för statusbedömning av fjärrvärmerör

Med en icke förstörande metod

PETER LIDÉN

ISBN 978-91-7673-590-9 | © Energiforsk juni 2019

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Fjärrvärmenäten utgör en viktig samhällsresurs för att vi också i framtiden kunna ta hand om spillvärme och förnybar värme och distribuera dit behoven finns. Att investera i helt nya nät skulle kosta flera hundra miljarder och storskaliga nyinvesteringar skulle troligen aldrig ske idag. Det är därför det är viktigt att hitta metoder som gör att fjärrvärmebolagen kan underhålla befintliga ledningarna effektivare och bara byta ut de sträckor som verkligen är dåliga. Mer forskning som syftar till praktiska tillämpbara lösningar behövs. Här utgör projektet, *Fältförsök för statusbedömning av fjärrvärmerör med en icke förstörande metod*, ett viktigt bidrag.

Projektet har letts och genomförts av Peter Lidén på Chalmers Tekniska Högskola.

En fokusgrupp som bestått av Magnus Ohlsson (ordförande) Öresundskraft; Ted Edén, Norrenergi; Henrik Landersjö, E.ON Lokala Energilösningar AB; Patrik Nilsson, E.ON Lokala Energilösningar AB; Per Bonnevier, Norrenergi; Shahriar Badii, Vattenfall AB; Björn Larsson, Mälarenergi AB; Ingemar Andersson, Mälarenergi AB; Lars-Erik Hammarström, Tekniska Verken i Linköping AB och Holger Feurstein, Krafringen har följt och kvalitetssäkrat projektet.

Projektet ingår i programmet Futureheat vars långsiktiga mål är att bidra till visionen om ett hållbart uppvärmningssystem med framgångsrika företag som utnyttjar nya tekniska möjligheter och där de samhällsinvesteringar som gjorts i fjärrvärme- och fjärrkyla tas till vara på bästa sätt.

Programmet leds av en styrgrupp bestående av Charlotte Tengborg (ordförande), E.ON Lokala Energilösningar AB, Lars Larsson, AB Borlänge Energi; Magnus Ohlsson, Öresundskraft AB; Fabian Levihn, Stockholm exergi; Niklas Lindmark, Gävle Energi AB; Jonas Cognell; Göteborg Energi AB; Lena Olsson Ingvarsson, Mölndal Energi AB; Anna Hindersson, Vattenfall Värme AB; Anders Moritz, Tekniska verken i Linköping AB; Staffan Stymne, Norrenergi; Holger Feurstein, Krafringen; Joacim Cederwall, Jönköping Energi AB; Maria Karlsson, Skövde Värmeverk AB; Sven Åke Andersson, Södertörns Fjärrvärme AB; Henrik Näsström, Mälarenergi AB och Fredrik Martinsson (adjungerad) Energiforsk.

Suppleanter har bestått av Peter Rosenkvist, Gävle Energi; Johan Brossberg, AB Borlänge Energi; Mats Svarc, Mälarenergi AB; Johan Jansson, Södertörns Fjärrvärme AB och AnnBritt Larsson, Tekniska verken i Linköping AB.

Fredrik Martinsson, programansvarig FutureHeat



Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Projektet syftade till att vidareutveckla en icke förstörande metod som möjliggör en termisk statusbedömning av fjärrvärmerör i fält med en avsvlningsmetod.

Den icke förstörande metoden består av en avsvlningsmetod som bygger på att en driftsatt rörsträcka temporärt stängs av under några timmar, för att identifiera den energimängd som försvinner under avsvlningsperioden. Med hjälp av temperatursensorer studeras avsvlningsförloppet. Därifrån går det bestämma den termiska statusen för hela isoleringen. Metoden har vidareutvecklats under tre fältförsök och bedöms nu kunna identifiera den termiska statusen på ett fjärrvärmerör, flödesavstängningen bedöms inte behöva pågå längre än 1-2 timmar. De största mätosäkerheterna har ringats in, vilket möjliggör ytterligare förbättringar för metoden. Det är i ΔT för medieröret under avsvlning som mätningen bör ha högst precision. Fältförsöken har visat att ventiler eller andra lättare tillgängliga ståldetaljer kan utnyttjas för att fånga avsvlningsförloppet. Likaså gick det utnyttja koppartråden för att bestämma värmeledningsförmågan hos isoleringen mellan medierör och koppartråd. Den metodik som gav bäst resultat var att mäta temperaturen på mantel och isolerad ventil, för det nylagda en månad gamla röret i försök 3. Där beräknades värmekonduktiviteten vid 50 grader (λ_{50}) för hela isoleringen till 0,0247 W/m·K, vilket kan jämföras med λ_{50} 0,026 W/m·K som är producentens typvärde för ett nyproducerat rör. Under åldringsprocessen av Polyetylenmantlade fjärrvärmerör sker en försämring i både termisk konduktivitet och mekaniska egenskaper, där gasutbyte från koldioxid till syre är den gemensamma nämnaren för dess försämring. Det finns alltså en indikation på en relation mellan termisk och mekanisk status.

Summary

The project aimed to further develop a non-destructive method that enables a thermal status assessment of district heating pipes in field with a cooling method.

The non-destructive method consists of a cooling method, based on the fact that an operational pipe section is temporarily shut down for a few hours, to identify the amount of heat energy losses during the cooling period. The cooling process is studied by using temperature sensors, using the measured data make it possible to determine the thermal status of the entire insulation. The method has been further developed during three field tests and it is now considered to be able to use for identification of thermal status of a district heating pipe, the shutdown of the pipe under investigation is not expected to last longer than 1-2 hours. Measuring the supply temperature during cooling is the largest measurement uncertainties factor. It is possible to improve the method by having accurate measurements of supply temperature or using valves or other lightly available steel parts for capturing the cooling process. Likewise, the copper wire was used to determine the thermal conductivity of the insulation between the media pipe and the copper wire. The methodology that gave the best result was to measure the temperature of the jacket and the insulated valve for the 1-month old pipe, where the thermal conductivity of entire polyurethane insulation (over the length of the pipe) was calculated to $0.0247 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ at 50 degree, which can be compared with $0.026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ which is the thermal conductivity declared by manufacturers for a newly produced pipe. During the aging process of polyethylene cased district heating pipes, there is a deterioration in both thermal conductivity and mechanical properties, where gas exchange from carbon dioxide to oxygen is the common denominator for its deterioration. There is an indication concerning relation between thermal and mechanical status.

Innehåll

1	Introduktion och syfte	7
2	Metodik vid beräkning av värmeledningsförmåga	8
3	Relationen mellan termisk och mekanisk status	10
4	Osäkerhetsbudget	13
5	Fältförsök	14
5.1	Fältförsök 1	14
5.2	Fältförsök 2 och 3	15
6	Resultat	18
6.1	Fältförsök 1	18
6.2	Fältförsök 2 och 3	20
6.2.1	Värmeledningsförmåga baserat på koppartrådsmätning	22
7	Sammanställning av lambdavärden	24
8	Känslighetsanalys för beräknade lambdavärden	25
9	Slutsatser	27
9.1	Vidareutveckling	28
10	Referenser	29
11	Bilaga 1. Osäkerhetsbudget	30

1 Introduktion och syfte

Det svenska Fjärrvärmenätverket är föråldrat på många platser. Det behöver dock inte betyda att det är undermåligt. Det finns därför ett stort behov av att just kunna bedöma statusen på dessa rör, i dagsläget finns inga icke förstörande metoder för en termisk statusbedömning, vare sig i eller utanför Sverige. I ett tidigare projekt finansierat av Fjärrsyn, Rapport 2017:420 (Adl-Zarrabi et al., 2017) identifierades i labbmiljö och i inomhuskulvert en ny metod för termisk statusbedömning med goda resultat. Det är en avsvalningsmetod som bygger på att en driftsatt rörsträcka temporärt stängs av under några timmar, för att identifiera den energimängd som försvinner under avsvalningsperioden. Med hjälp av temperatursensorer studeras avsvalningsförloppet. Därifrån går det bestämma den termiska statusen för hela isoleringen, från medierör till mantel. En annan metod bygger på att utnyttja sambandet mellan elektrisk resistans och temperatur, metoden benämndes TCR-metoden i det föregående projektet. I äldre och nyproducerade rör är det vanligt förekommande med koppartråd i polyuretanisoleringen som genom resistansmätningar kan indikera på fuktläckage. I TCR-metoden används koppartråden som temperatursensor vid resistansmätningar. Varpå värmeledningsförmågan mellan medierör och koppartråden kan bestämmas, något som kan vara av intresse för att vidare studera mekanisk status, tex vidhäftning mellan medierör och isolering. Metoderna har testats individuellt i labbmiljö och på en del av Chalmers egna fjärrvärmenätverk med goda resultat.

Detta Projekt syftar till att vidareutveckla en icke förstörande metod som möjliggör en termisk statusbedömning av fjärrvärmerör genom en avsvalningsmetod. För att kunna använda sig av en avsvalningsmetod krävs temperatursensorer, i detta fall kommer termoelement och befintlig fuktlarmstråd (koppartråd) användas som sensorer för temperaturmätning. Temperaturmätningen med koppartråd har benämnts TCR-metoden i tidigare projekt. Utöver den termiska statusbedömningen i fält undersöks om det går att finna en relation mellan termisk och mekanisk status. Anledningen är att det föreligger ett behov av en metod som kan indikera på mekanisk försämring, då det är det primära bekymret för nätets ägare, vad gäller befintliga rör i marken.

2 Metodik vid beräkning av värmeledningsförmåga

För att bedöma rörets värmeledningsförmåga behövs information om temperaturen i röret, dels medietemperaturen men även manteltemperatur. Likaså kan koppartrådens temperatur vara av intresse för att studera isoleringens värmeledningsförmåga mellan medierör och koppartråd. Medietemperaturen och manteltemperaturen vid stationärt tillstånd ger information om vart koppartråden är placerad, om vetskapen om koppartrådens temperatur finns.

Polyuretanskummets värmeledningsförmåga närmast medieröret bedöms som extra utsatt för åldringsprocesser samtidigt som det är skummets egenskaper i närheten av medieröret som kan påverka vidhäftningsförmågan mellan stål och isolering. För att analysera isoleringen närmast medierör krävs kunskap om temperaturen i skummet nära stålet. Koppartråden är därmed intressant att utnyttja då den enligt rörtillverkaren är placerad i PUR-isoleringen (polyuretanisolering) träd genom monteringsdistanser, 15-19 mm från medieröret, alternativt 35-39 mm. Distanserna är unika för olika rördimensioner men ovan nämnda avstånd gäller för de två rörtyperna i denna rapport.

För att bedöma värmeförlusterna i ett fjärrvärmerör (fjärrvärmenät) kan temperaturförändringar mätas under ett avsvlningsförlopp när vattnet står stilla, d.v.s. ventilerna stängs för en rörsträcka. Temperaturförändringen beskriver energiförluster 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 1-4 nedan (Hagentoft, 2001).

$$T_{(t)} = T_1 + (T_0 - T_1) * e^{-\frac{t}{t_c}} \quad t > 0 \quad (1)$$

$$t_c = \frac{C}{K} \quad (2)$$

$$C = \rho * c * V \quad (3)$$

$$K = \frac{2 * \pi * \lambda * L}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (4)$$

där $T_{(t)}$ [K] är medietemperatur, T_1 [K] är manteltemperatur alternativt koppartrådstemperatur, $\rho * c * V$ [J/K] som är total värmekapacitet för medievattnet, L [m] är rörets längd, K [W/K] är konduktans, t [s] är sekunder, T_c [s] den inre tidsskalan av ett massklumpssystem (lumped system), λ [W/(m·K)] är värmeledningsförmågan, r_1 [m] är medierörsradie och r_2 [m] är mantelrörsradie.

För att analysera temperaturen i koppartråden används TCR-metoden (Lidén and Adl-Zarrabi, 2018). Genom att mäta den elektriska resistansen i koppartråden går det att räkna ut medeltemperaturen för koppartrådens placering för den aktuella mätsträckan. Ekvationer 5-6, kan användas för att beräkna temperaturen (Cutnell and Johnson, 2003), en temperatur som vidare kan användas för bedömning av eventuell förändrad värmeledningsförmåga.

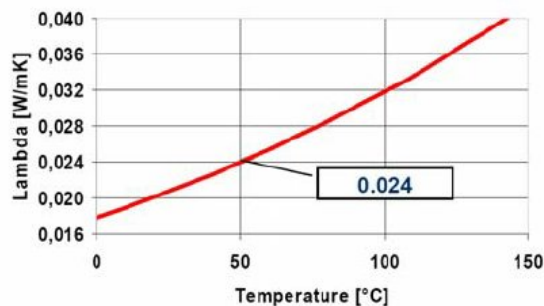
$$R(T) = R(T_0) \cdot (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (5)$$

$$T = T_0 + \frac{R(T) - R(T_0)}{\alpha \cdot R(T_0)} \quad (6)$$

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 temperatur-koefficienten av resistansen, $\alpha_{koppars}$ är $3.9 \cdot 10^{-3}$ [1/K].

Värmeledningsförmågan i isoleringen mellan medierör och koppartråd kan beräknas om r_2 samt T_1 (T i ekvation 6) för koppartråden används i ekv 1 & 4.

Värmeledningsförmågan är även kopplad till medeltemperaturen i PUR-skummet. För korrekt jämförelse med standardvärden skall lambdavärdet representera en medeltemperatur i PUR-skummet på 50 °C, vilket betecknas λ_{50} . I Figur 1 visas en typvärdeskurva för PUR-isolering, den beskriver hur konduktiviteten förändras i PUR som en funktion av temperaturen. För justering av beräknade lambdavärden används denna kurva, där skillnaden per °C är 0,00016 W/m·K. Vid ett uppmätt lambda för t.ex. λ_{45} adderas därmed 0,0008 W/m·K ($0,00016 \cdot 5$) till λ_{45} för att erhålla λ_{50} .



Figur 1. Termisk konduktivitet som en funktion av temperatur för Logstor PUR conti-foam.

Om den faktiska medierörstemperaturen är känd före avstängning men okänd därefter går den att beräkna utifrån mätningar på andra punkter, tex en ventil. För att beräkna ett ΔT för medieröret kan ekvation 7 och 8 användas.

$$\frac{T_{S1} - T_{V1}}{T_{V1}} = P \quad (7)$$

$$P + 1 \cdot T_{V2} = T_{S2} \quad (8)$$

Där T_{S1} är medierörstemperatur före avstängning, T_{S2} är medierörstemperatur efter avstängning, T_{V1} är ventiltemperatur före avstängning, T_{V2} är ventiltemperatur efter avstängning och P är procentuell skillnad mellan T_{S1} och T_{V1} .

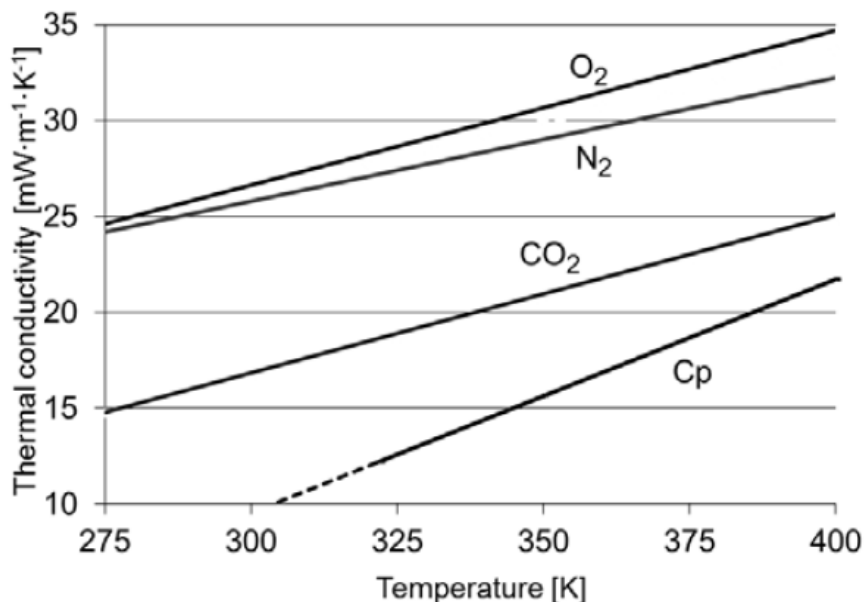
3 Relationen mellan termisk och mekanisk status

Om den termiska statusen kan bedömas genom en icke förstörande metod kan det finnas möjlighet att dra nytta av detta för att indirekt bestämma den mekaniska statusen. Vid en statusbedömning av den termiska isoleringsförmågan med hjälp av koppartrådar, kan värmeledningsförmågan bestämmas för den del av isolering som finns mellan medierör och koppartråd. I tidigare undersökning studerades termisk och mekanisk status för naturligt åldrade rör (Adl-Zarrabi et al., 2017). I den undersökningen studerades inte sambandet mellan termisk och mekanisk status.

Enligt EN 253-2009 får den termiska konduktiviteten vid 50°C (λ_{50}) inte överskrida 0.029 W/m·K för nyproducerade rör (SS-EN253, 2009). Den totala termiska 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. Följande ekvation gäller:

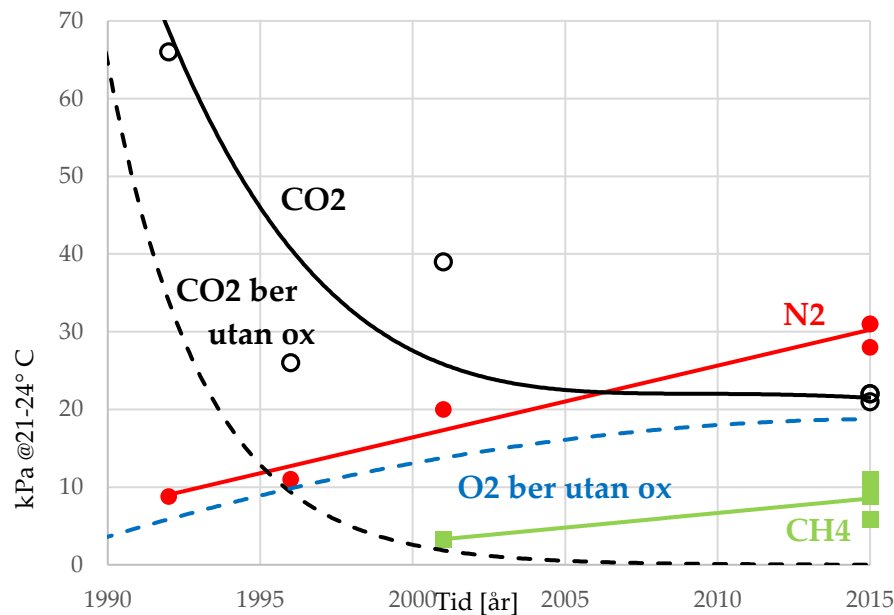
$$\lambda_{\text{PUR}} = \lambda_{\text{strålning}} + \lambda_{\text{ledning gas}} + \lambda_{\text{ledning polymer}} \quad [W/(m \cdot K)]$$

Cellgasutbyte sker över tid i form av diffusion genom PE-manteln. Drivmedlet koldioxid diffunderar ut och luft (syre och kväve) diffunderar in. $\lambda_{\text{ledning gas}}$ står för 60-80 % det totala lambdavärdet. Degraderingen av den termiska konduktiviteten beror alltså till största del av inträngning av syre, som har högre värmeledningsförmåga jämfört med koldioxid, se Figur 2 (Persson, 2015).



Figur 2. Termisk konduktivitet för syre, kväve, koldioxid och cyklopentan (Persson, 2015).

I rapporten Adl-Zarrabi et al. (2017) redovisas resultat för cellgasanalyser för perioden 1992-2015 på ett koldioxidblåst PE-mantlat PUR-rör. Rörets drifttemperatur har aldrig överstigit 115 °C. Figur 3 visar gasutvecklingen i röret under dessa år, Tabell 1 visar på samma rörs lambdavärdesutvecklingen och Tabell 2 visar rörets axiella skjuvhållfasthet vid test utfört 2015.



Figur 3. Partialtryck för enskilda gaser i PUR-isoleringen för rör av typ PP-2 (koldioxidblåst). Cellgasanalys har genomförts vid 4 tillfällen, 1992, 1996, 2001 samt 2015. Alla prover togs mitt i skummet utom för år 2015 då prover även togs mycket nära stålroret resp. mantelröret. De streckade linjerna visar hur partialtrycket för CO2 resp. O2 sannolikt hade minskat resp. ökat om man inte hade tagit hänsyn till oxidationen av PUR (Adl-Zarrabi et al., 2017).

Tabell 1. Termisk konduktivitet (λ_{50}) för PP-2 uppmätt vid 50°C. Ökningen jämfört med första mätillfället anges inom parentes (Adl-Zarrabi et al., 2017).

Rör	1988 [W/m·K]	1992 [W/m·K]	2015 [W/m·K]
PP-2	0,0316	0,0329 (+4,1%)	0,0352 (+11,4%)

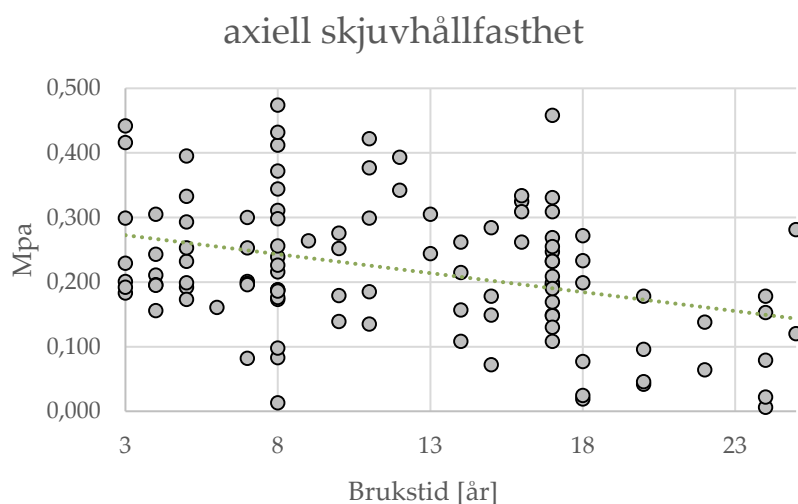
Tabell 2. Resultat från tester av skjuvhållfasthet på rör av typ PP-2, dimension DN150/280. Försöken är genomförda av SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut enligt EN 253:2009 clause 5.4.1.4. Osäkerheten i testet är mindre än 2%. Provdatum: 2015-12-15 (Adl-Zarrabi et al., 2017)

Beteckning	Uppmätt värde vid +23°C, [MPa]	Förskjutning vid brott, mm	Plats för brott	Krav, [MPa]
PP2A	0.20	4.8	Medierör	≥ 0.12
PP2B	0.16	3.8	Medierör	
PP1C	0.16	4.2	Medierör	
Medelvärde	0.17			

Cellgaserna kväve och CO2 reagerar inte med beståndsdelarna i polyuretanpolymeren, så de kommer inte att ha någon inverkan på polyuretanskummets mekaniska beteende (GmbH, 2004). Syret däremot bidrar till

oxidationsprocessen av PUR-skumets cellväggar, en reaktion som även accelererar vid ökad temperatur. Hur mycket som oxidationen påverkar de mekaniska egenskaperna i cellstrukturen varierar beroende på de skumspecifika egenskaperna. Men med tanke på en gradvis oxidation av det styva skummet under en lång livslängd finns det anledning att anta en åldrande gradient som gradvis minskar hållfastheten hos bindningen till medieröret. Huruvida minskningen i hållfastheten är linjär eller om krökningen är så stark att en linjär approximation måste avvisas, kan inte sägas. Det kan anses vara säkert att åldringsgradienten för axiell skjuvhållfasthet är temperaturberoende. De skumspecifika egenskaperna hos de olika styva PUR-skummen påverkar också åldringsbeteendet (GmbH, 2006).

En omfattande studie med 110 st PE-mantlade rör visar på tydliga förändringar i axiell skjuvhållfasthet som en funktion av tiden, se Figur 4 (GmbH, 2004).



Figur 4. Axiell skjuvhållfasthet i relation till brukstid. 110 PE mantlade fjärrvärmerör, data från (GmbH, 2004).

Weiss et al. (2016) presenterar resultat som visar att om fukt finns närvarande i skiktet mellan medierör och PUR-skum samtidigt som syre är närvarande, sker oxidation av medieröret som leder till försämrade vidhäftningsförmåga av PUR.

Senaste forskningen indikerar på att skjuvhållfastheten hos polyuretanet både påverkas av högre temperaturer men även oxidation. I Yarahmandi et al. (2017) beskrivs hur nedbrytningsprocessen av polyuretanet kan delas in i tre faser och där det i den sista fasen sker en termo-oxidativ nedbrytning av PUR-materialet närmast medieröret. En nedbrytning som direkt påverkar vidhäftningsförmågan av polyuretanet gentemot medieröret.

4 Osäkerhetsbudget

Vid en fältmätning kan det vara svårt att bedöma var de största mätosäkerheterna kan finnas. För att skapa sig en bild av detta togs det fram en osäkerhetsbudget, se Bilaga 1. Varje enskilt mätmoment analyserades, dels osäkerheten i mätinstrumentens upplösning, osäkerheten i handhavandet men även osäkerheter som inte kan kopplas till mätinstrumentet, så som tillgängligheten för en mätning. En ekvation används där samtliga variabler för mätningen ingår, ekvationen deriveras sedan med hänsyn till varje specifik variabel, varpå dess osäkerhet kvantifieras och visar på dess bidrag till den totala osäkerheten. Denna osäkerhetsbudget är inte gjord för ett specifikt fältförsök utan ska istället visa på det mest osäkra scenariot, oavsett var försöket genomförs. Osäkerhetsbudgeten som gjorts visar t ex. att den största enskilda osäkerheten låg i att mäta medietemperaturen. Detta beror t.ex. på att om ett rör inte är frilagt kan det vara svårare att få en bra noggrannhet i temperaturmätningen eftersom temperaturmätningen då får göras vid en tillgänglig plats utanför den aktuella sträckan. I detta fältförsök är röret frilagt och mätningen kunde därmed utföras direkt på medieröret. Vid ett icke frilagt rör skulle ett alternativ vara att mäta temperaturen på t ex. avstängningsventilen, då den är direkt kopplad till medieröret och värmeledningsförmågan i stål är mycket god. Detta beskrivs och analyseras närmare i kapitel 8 nedan.

5 Fältförsök

Vid tre tillfällen har det genomförts fältförsök, ett i Mölndal och två i Falun men på samma rörsträcka. Efter varje försök har förbättringsåtgärder gjorts med hänsyn till föregående försök och de felkällor och osäkerheter som noterats.

5.1 FÄLTFÖRSÖK 1

Den 15 november 2018 genomfördes ett fältförsök på ett nylagt enkelrör. Aktuell mätsträcka låg utmed Frejagatan i Mölndal. Mätsträckan var rak och uppgick till 528 m, DN250/450. Ägare till röret var Mölndal Energi som under perioden vid fältförsöket var på väg att ansluta ytterligare rör till den redan lagda sträckan. Därmed fanns ett öppet schakt där ena änden av sträckan var frilagd, se Figur 5. En liten sammankoppling mellan tillopp och retur fanns i änden för att behålla ett flöde genom röret.



Figur 5. Schaktgropen vid Frejagatan med två enkelrör där fältförsöket utfördes på det ena röret. Den aktuella raksträckan där röret går 528m bort i djupet på fotot.

Initialt kopplades koppartrådarna samman i ena änden. Rörets längd uppmättes med pulsekometer i koppartrådsslingan. I den frilagda änden kopplades en multimeter till koppartrådarna. En logger med två termoelement (TE) placerades på röret i schaktgropen. Det ena TE sattes fast på medieröret, 1 cm in under isoleringen för att mäta medietemperaturen. Det andra TE tejpades fast på mantelröret efter att några spadtag med fyllnadsmassor plockats bort, därefter lades fyllnadsmassorna tillbaka. Figur 6 visar hur de olika delarna placerades på röret.

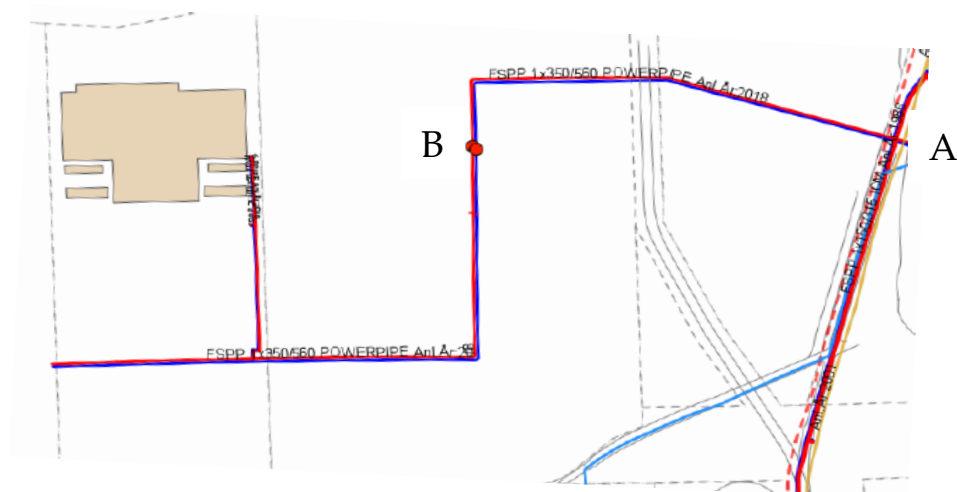
Loggningsfrekvensen för multimetern sattes till 1/minut. Detsamma gällde datainsamling med termoelement. Temperaturloggning och resistansmätning startade 10 minuter före avstängningen av medieflödet. Därmed konstaterades att det under denna perioden var en stationär temperatur. Därefter stängdes flödet av och loggning skedde av temperaturer och resistans under efterföljande 147 minuter. Därefter slogs flödet på igen i medieröret.



Figur 6. Från vänster sett visar foto 1 mätning av slingresistans, foto 2 visar sammankoppling av multimeter med koppartråd samt hur det ena TE är instuckat under isoleringen, foto 3 visar TE som tejpsats fast på manterröret innan fyllnadsmassor lades tillbaka och foto 4 visar med gul streckad cirkel att koppartrådarna har sammankopplats i ena änden av röret.

5.2 FÄLTFÖRSÖK 2 OCH 3

Två stycken fältförsök genomfördes i Falu i anslutning till Falu Energi och Vattens fjärrvärmeverk. Mätningarna utfördes den 27:e och 28:e februari 2019 på en 496 meter lång rörledning som till största delen bestod av dimensionen DN350/560. I Figur 7 visas den aktuella rörledningen som löper från punkt A i riktning mot punkt B. Varav en avstickare på 55,06 meter dim 125/450 som gick över till 27,4m med dimension 100/355, se Figur 7 där den mindre ledningen går till byggnaden i figuren. Koppartrådens längd uppmättes därmed till totalt 992m (496x2). Aktuell rörledning är ansluten till huvudledningen som är markerad röd och löper uppifrån och ner till höger i figuren



Figur 7. Den aktuella rörledningen löper från A och åt vänster i figuren. Vid markering A utfördes temperatur- och resistansmätningar i schakten med den frilagda röränden. Vid markering B utfördes temperaturmätningar på en ventil kopplad till huvudledningen. Huvudledning är röd och löper uppifrån och ner till höger i figuren.



Figur 8. Foto 1 från vänster visar den oisolerade ventilen med TE under den blå tejp, foto 2 visar samma ventil men efter isolering (försök 3). Foto 3 visar röränden med TE på medierör och multimeter kopplad till koppartrådsändarna, foto 4 visar

Initialt så placerades 1 TE direkt på medierör, 1 TE stoppades in 1cm under PUR på ovensidan medierör, 1 TE stoppades in 2cm under PUR på sidan av medierör i en liten glipa som uppkommit mellan PUR och medieröret, 1 TE placerades ovanpå mantelrör vid schaktkanten och återtäcktes med ca 40 cm sand.

Installationerna visas i Figur 8.

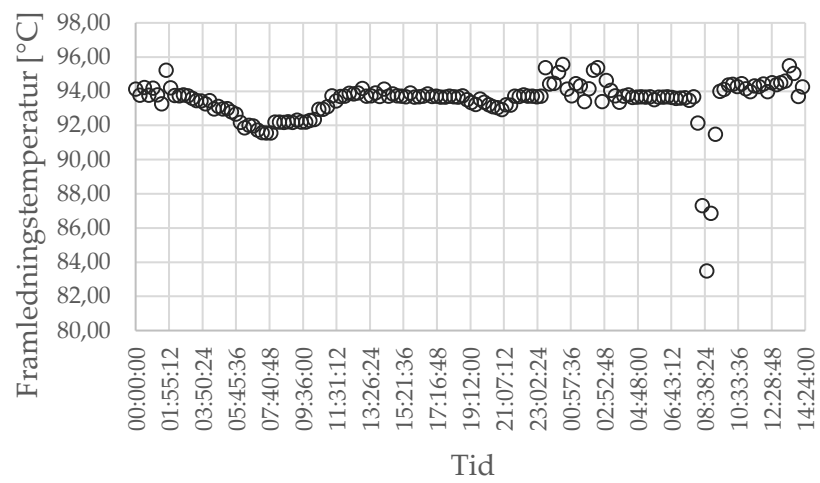
Ytterligare en mätplats användes för loggning av medietemperatur, en ventil ca 200m från avstängningen på ungefär halva rörsträckan. Ventilen är svetsad direkt på medieröret så värmeledningsförmågan är mycket god. Två TE placerades direkt på stålventilen, 1 TE fritt i luft under skyddshuven och 1 TE utanför skyddshuven för att fånga lufttemperaturen. datainsamlingen startade ca 10.00. förutom skyddshuven så var ventilen oisolerad.

Datainsamling för resistans och temperatur startade 09.25, ca 10 minuter före inklädnad av röränden med mineralullsisolering. Klockan 11.06 så stängdes flödet av och klockan 14.01 slogs flödet på igen. En avstängning på totalt 175 minuter. Datainsamlingen fortgick även efter flödets slogs på för att även fånga en förskjutning av temperaturkurvan.

Den aktuella rörsträckan låg i anslutning till fjärrvärmeverket men matades med en mindre, ca 20 meter lång rörkoppling från huvudledningen, se svart rörkoppling i Figur 8 foto 4 från vänster. Framledningstemperaturen i huvudledningen låg ungefär på 94 °C, se Figur 9. Det var ca 4 grader högre än vad som uppmättes i den aktuella rörsträckan under försöken. Den 4 gradiga förlusten bedöms ske i flödet från huvudledningen till den aktuella rörledningen.

I försök 3 den 28e februari isolerades lite extra vid medierörsänden, likaså isolerades ventilen vid mätpunkten längre bort på sträckan från att i försök 2 varit oisolerad, isoleringen gjordes ca 09.30, se Figur 8 foto2 från vänster. Samtliga TE var placerade på samma position som under försök 2. Flödet stängdes av kl 11.31. och slogs på 14.26. En avstängning på totalt 175 minuter.

Både den 27e och 28e minskade framledningstemperaturen från verket, den stora sänkningen som går att se vid kl 08.30 i Figur 9 berodde på att en ångpanna rengjordes på verket. För försöket den 27e noterades inte morgonens temperaturstegring innan avstängningen skedde, något som gjorde att resultaten blev svåra att tolka då inte stationärt tillstånd hade uppnåtts. Vid försök 3 den 28e inväntades därmed stabila temperaturer så ett mer stationärt tillstånd rådde vid avstängningen.



Figur 9. Framledningstemperatur ut från fjärrvärmeverket för 27 och 28 februari, data erhållen från Falun Energi och vatten.

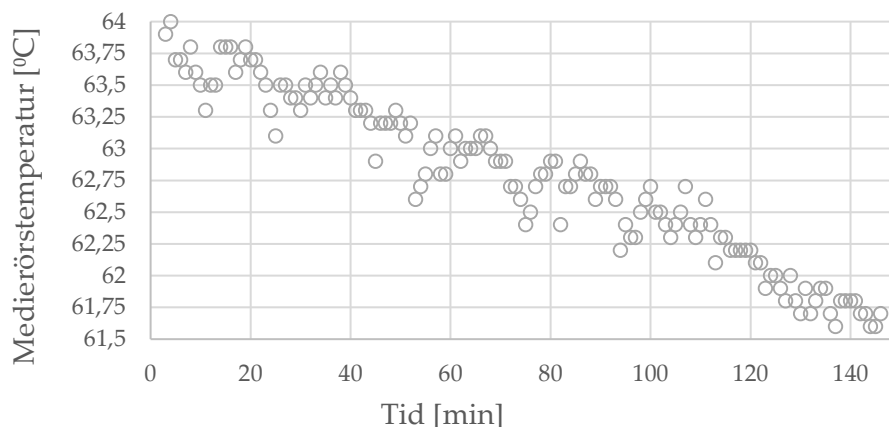
6 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten (temperaturer, resistanser och termisk konduktivitet) från mätningar i fältförsöken. Eftersom metodiken har förbättrats efter varje försök läggs störst vikt vid försök 3 där även isoleringens värmeledningsförmåga mellan medierör och koppartråd analyseras. Enligt SS EN 253 skall isoleringen för nylagda rör understiga $0,029 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, vid λ_{50} .

6.1 FÄLTFÖRSÖK 1

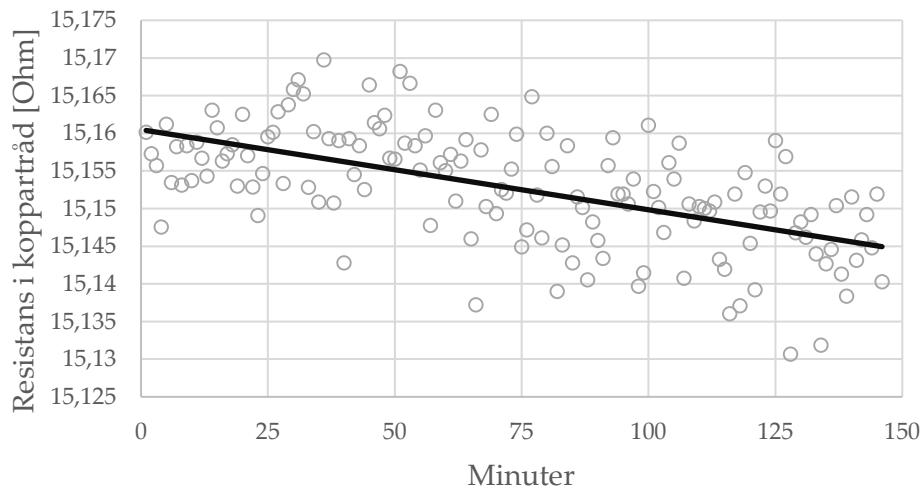
För att kunna jämföra resultaten nedan har ett rimligt värde för energiförlusten beräknats rent teoretisk med hjälp av ek 3. Där ansattes då värmeledningsförmågan för isoleringen till $0,026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ vid 50 grader, vilket ett nytt rör som detta har enligt tillverkarens produktkatalog (Powerpipe, 2018). Temperaturskillnaden under avsvlningsförloppet borde då bli $0,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperaturen på medieröret är densamma som vattentemperaturen förutom i den frilagda änden där högre energiförluster förekommer. Under de 147 minuter som avsvlningsförloppet pågick minskar temperaturen från $63,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ till $61,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ΔT $2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vid temperaturmätningen på medierörets frilagda ände, se Figur 10. Det är $1,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ mer än vad beräkningarna visade, däremot så antogs ingen frilagd ände i beräkningarna. Manteltemperaturen låg konstant på $12,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ under hela försöket. Temperaturmätningen på medieröret skedde vid den frilagda änden (TE var instuckt 10 mm under isolering mot stål). Det kan då konstateras att den extra kylningen med $1,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ härrörde från den frilagda del av röret där stål var i direkt kontakt med luften ($11 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Resultatet för denna mätning med en temperaturskillnad på $2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ger ett lambdavärde på $0,085 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ vid λ_{38} alltså mer än 3 gånger större än det beräknade värdet. Resultatet anses därmed enbart spegla lambdavärdet för den frilagda änden och inte hur det ser ut för resterande del av röret. I avsnittet känslighetsanalys längre fram i rapporten behandlas denna osäkerhet.



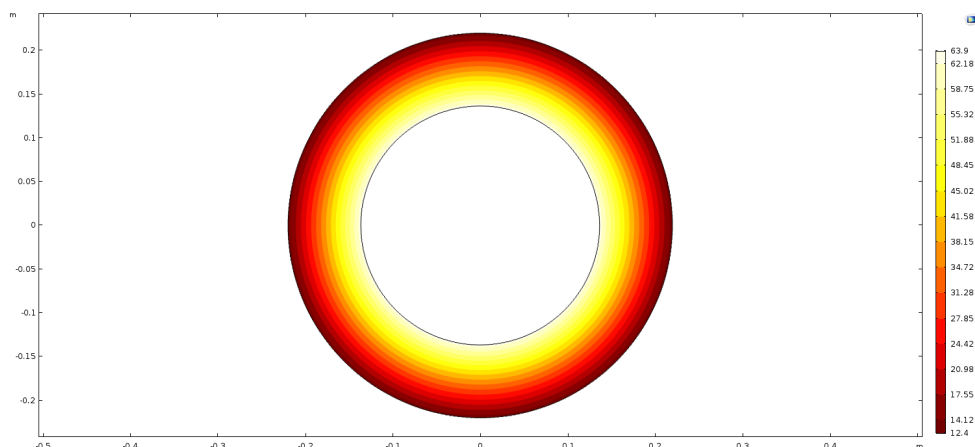
Figur 10. Försök 1 medierörstemperaturens avsvlningsförlopp under 147 minuter.

Resultaten i Figur 11 visar minskningen i resistans under avsvalningsförloppet. Vid tidigare labbförsök har det konstaterats att resistansen för denna specifika koppartråd och tvärsnittsarea är 0,012783 Ohm/m vid 21 grader (Lidén and Adl-Zarrabi, 2016). Omräknat till temperatur för den aktuella sträckan ger det information om att temperaturen i koppartråden minskade från 52,27 C⁰ till 52,0 C⁰ under avsvalnigen. Det går se att det är ganska stora variationer mellan mätvärdena samtidigt som det är en tydligt avtagande trend.

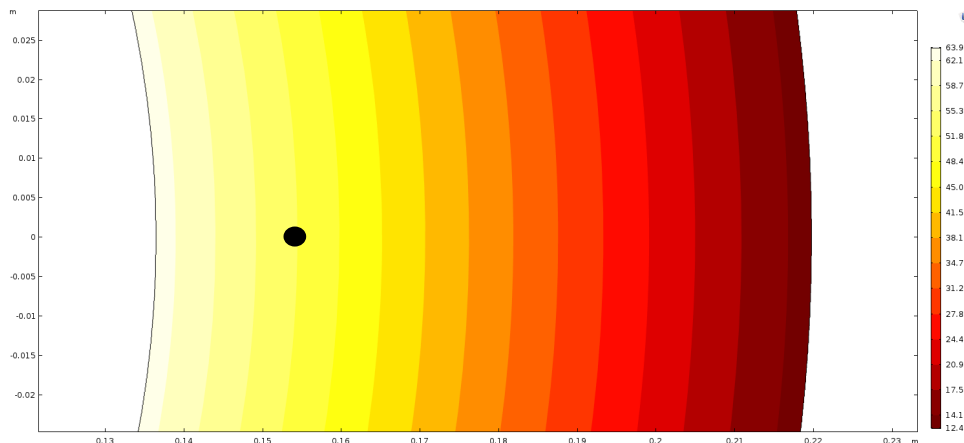


Figur 11. Försök 1 koppartråden resistansminskning under den 147 minuter långa avstängningen

I detta fallet betyder det då att det är 52,27 °C initialt i koppartråden, medelavståndet mellan koppartråd och medierör är då 17,3 mm. Enligt monteringsdistanserna som koppartråden löper igenom bör tråden ligga 15-19 mm från medierör men öka till 50 mm vid rörskarvar (för den aktuella dimensionen). 17,3 anses därmed fullt rimligt som ett medelavstånd, se Figur 12 och Figur 13.



Figur 12. Temperaturfördelningen i röret vid stationärs tillstånd utifrån numerisk modell (Comsol,2019).

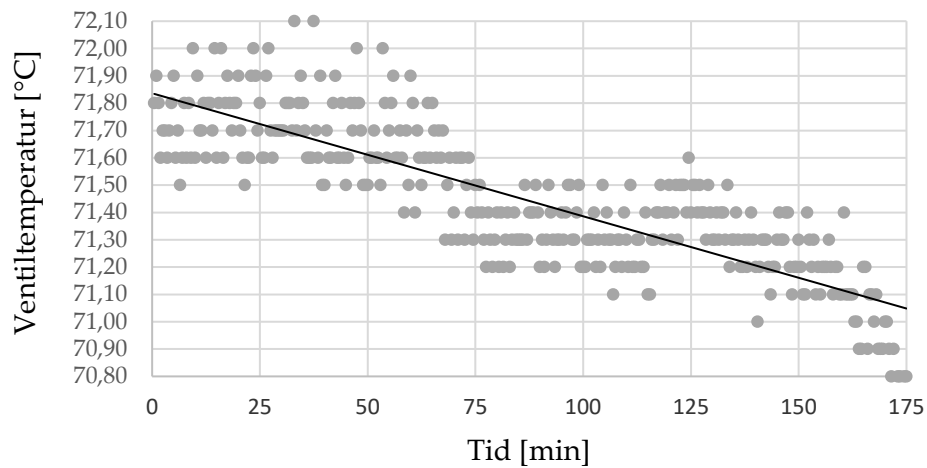


Figur 13. Svart markering illustrerad koppartrådens position från medieröret (17,3 mm) samt temperatur vid stationärt flöde (52,27 °C) (Cmsol, 2019).

Resultatet för koppartråden i form av distans från medierör och dess temperatur är intressant för kommande försök som jämförelse. Det är dock tydligt att avsvlningen vid röränden är större p.g.a. förluster mot omgivande luft jämfört med den övriga delen av röret som är isolerad och löper under jord. Därmed blir en lambdavärdesberäkning för isoleringen mellan medierör och koppartråd felaktigt och redovisas inte här.

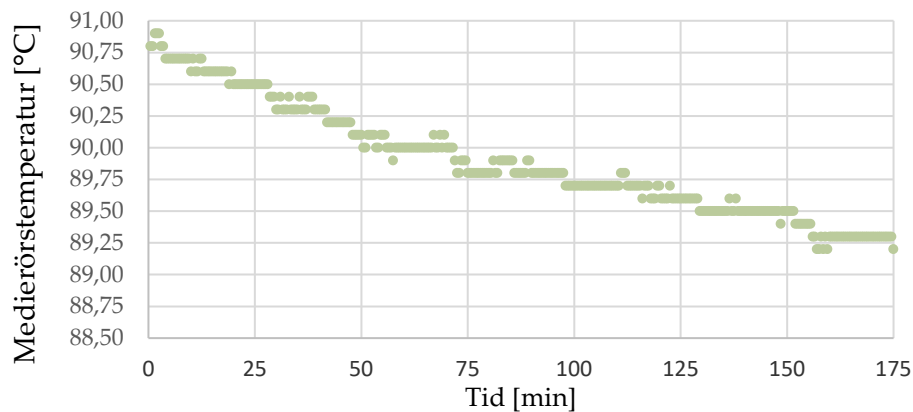
6.2 FÄLTFÖRSÖK 2 OCH 3

Medierörstemperaturer för försök 2 och försök 3 är likvärdiga då båda är isolerade med mineralull i änden. Skillnaden var att det efteråt visade sig att framledningstemperaturen inte var riktigt stabil för försök 2, därmed rådde inte det önskvärda stationära tillståndet vid avstängningen. Därför presenteras inte resultaten för medierörsänden från försök 2. Däremot är resultaten för temperaturminskningen från mätningen på ventilen intressanta för jämförelse med försök 3. I försök 2 var ventilen oisolerad, vilket strax innan avsvlningsförloppet visade på en absoluttemperatur på ca 71,8 °C. Eftersom ventilen var oisolerad är det högre amplitud mellan mätvärdena men trenden är tydligt avtagande. Under avsvlningen på 175 minuter minskar temperaturen från 71,84 °C till 71,05 °C, en temperaturskillnad på 0,79 °C, se Figur 14. Utifrån denna temperaturskillnad beräknas värmeledningsförmågan för isoleringen till λ_{39} 0,0335 W/m·K.



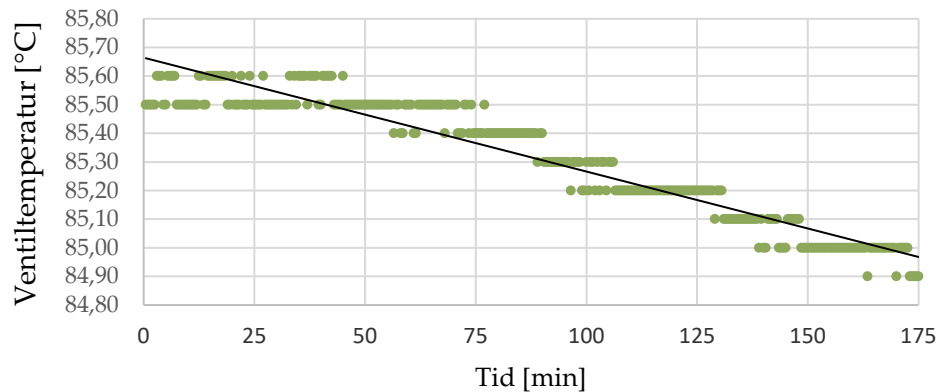
Figur 14. Försök 2 ventiltemperatur under avsvlningsförloppet för den oisolerade ventilen.

Resultaten för medierörsänden i försök 3 och dess avsvlningsförloppet på 175 minuter visas i Figur 15, där temperaturen minskade från 90,85 °C till 89,3 °C, alltså en minskning med 1,55 °C. Manteltemperaturen under försök 3 låg stabilt på 6,6 °C. lambdavärdet för isoleringen beräknas då till λ_{49} 0,051 W/m·K, ca 2 gånger högre än förväntat.



Figur 15. Försök 3 avsvlningsförlopp för medierörsänden som var isolerad med mineralull

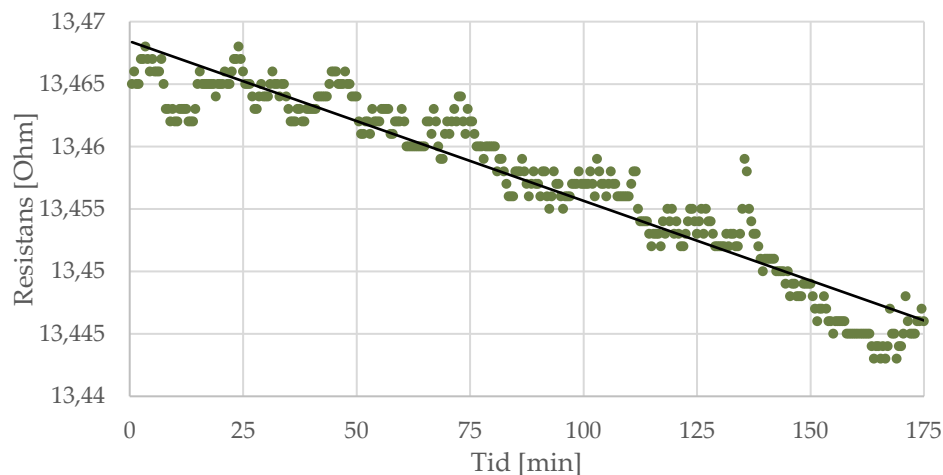
I försök 3 isolerades ventilen och den nya absoluttemperaturen blev 85,6 °C. Stabilare och mer precisa mätvärden jämfört med försök 2. Absoluttemperaturen minskar från 85,6 °C till 84,9 °C, en temperaturskillnad på 0,7 grader, se Figur 16. Utifrån denna temperaturskillnad beräknas lambdavärdet för isoleringen till λ_{46} 0,0245 W/m·K.



Figur 16. Försök 3 temperatur under avsvlningsförloppet för den mineralullsiserade ventilen

6.2.1 Värmeledningsförmåga baserat på koppartrådsmätning

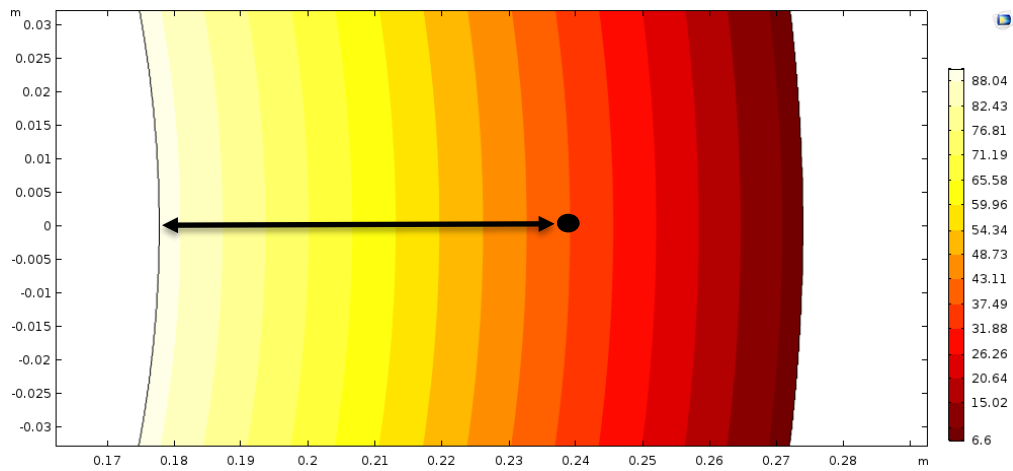
Den elektriska resistansen i koppartråden uppmättes initialt före avsvlning till 13,466 [Ohm] se Figur 17, den kan räknas om till temperaturen 36,92 °C och som sedan avtar under avsvlningen till 36,47 °C. Till skillnad från medierörstemperaturen så påbörjas inte avsvlningsfasen direkt vid avstängningen av flödet. Det beror på att det tar ca 1 timma innan värmefronten når koppartrådens position och först då påbörjar 175 minuters avsvlning.



Figur 17. Försök 3 minskningen i resistans i koppartrådsslingan under avsvlningsförloppet.

Koppartrådens position fås från resistansen som i sin tur påverkas av längden på koppartråden och dess temperatur. Vid stationärt tillstånd erhålls koppartrådens position 62 mm från medieröret. Det är mer än vad som förväntades eftersom monteringsdistanserna borde resultera i ett avstånd på ca 40 mm. Det påverkar inte resultatet mer än att det hade varit önskvärt om tråden hade legat närmare för att på så sätt få ett lamdamedelvärde som visar den del av isoleringen som är närmast medieröret. I detta fallet blir den studerade delen från medierör ut till

koppartråd, se Figur 18. Vid beräkningen av lambdavärdet användes ΔT för isolerad ventil men med absoluttemperatur från medierörsänden. Resultatet blev då $\lambda_{64} = 0,0270 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.



Figur 18. Svart markering illustrerad koppartrådens position från medieröret (62 mm) samt vilken temperatur den har vid stationärt flöde (36,92 °C). Den svarta pilen visar för vilken del av isoleringen som lambdavärdet representerar.

7 Sammanställning av lambdavärden

I Tabell 3 nedan finns samtliga lambdavärden sammanställda för de olika försöken utifrån vilken position som temperatursensorerna varit placerade. Det resultat som har minst osäkerhet är från försök 3 där medierörets absoluttemperatur och beräknat ΔT för medieröret används tillsammans med manteltemperaturen. Lambdavärdet för koppartråden bedöms vara något för högt beräknat, vilket förklaras i känslighetsanalysen i nästa kapitel.

Tabell 3. Sammanställning av samtliga beräknade lambdavärden.

Temperatursensorernas absoluttemperatur och ΔT för beräkning av lambdavärde	Lambda [W/m·K]	Omräknat till λ_{50} [W/m·K]
Försök 1, frilagd oisolerad rörände samt mantel	λ_{38} 0,0850	0,0870
Försök 3, frilagd tilläggsisolerad rörände samt mantel	λ_{49} 0,0510	0,0512
Försök 2, oisolerad ventil samt mantel	λ_{39} 0,0335	0,0353
Försök 3, tilläggsisolerad ventil samt mantel	λ_{46} 0,0245	0,0251
Försök 3, beräknat ΔT medierör samt mantel	λ_{49} 0,0245	0,0247
Försök 3, tilläggsisolerad ventil och koppartråd	λ_{61} 0,0280	0,0262
Försök 3, beräknat ΔT medierör och koppartråd	λ_{64} 0,0270	0,0248

8 Känslighetsanalys för beräknade lambdavärden

Energiförlusterna under ett avsvlningsförlopp motsvaras av ΔT i medieröret och det är det som styr resultatet, inte absoluttemperaturen. I försök 3 med isolerad ventil blev resultatet för λ_{50} 0,0251 W/m·K vid ett ΔT från ventilen på 0,7 °C. Om ΔT hade varierat mellan 0,6-0,8 °C hade resultatet blivit 0,0235-0,0265 W/m·K, alltså en skillnad på ca 6 %. Detta visar på hur hårt ΔT slår på resultaten, men eftersom ΔT kan loggas med hög precision bedöms inte felet bli så stort. Felet kommer ligga i mätinstrumentens och temperatursensornas osäkerheter, vilket är litet.

En liknande analys kan göras för manteltemperaturen som är den andra temperaturpunkten som behövs för att beräkna lambdavärdet.

Manteltemperaturen under jorden är kopplad till både medietemperaturen men också lufttemperaturen. Luftens temperatur ovan marka har dock väldigt liten påverkan på resultatet även om en stor temperaturförändring skulle ske i luften under försöket. jorden fungerar som en sämre isolering mellan rör och luft. Därför blir temperaturförändringen klart lägre på manteln även om stora förändringar sker i luften, beroende på jordmassans tjocklek. T.ex. om skulle manteltemperaturen förändras ± 1 °C skulle det påverka resultatet för lambdavärdet med enbart 1,6 %. Under försök 3 var manteltemperaturen konstant 6,6 °C trots att lufttemperaturen under försöket steg från 6 till 8 °C.

Temperaturmätningen för vattnet i röret utfördes på medieröret i den ena frilagda änden av röret. I försök 1 var temperatursensorn instoppad 10 mm under isoleringen mot medieröret, vilket var 310 mm från änden av röret. 300 mm av rörets ände var oisolerat i försök 1. Genom att använda Ekv 9 för inträngningsdjup i olika material går det att se hur långt in i röret som det finns en påverkan från den frilagda änden.

$$x_p = 4 * (a * t)^{1/2} \quad (9)$$

Där x_p är inträngningsdjup [m], a materialets termiska diffusivitet [m^2/s], t är tiden [s], 4 definierar att 99,95 % av fronten har nått punkten x_p , 1 hade motsvarat 50 % osv. Enligt ekvationen och materialegenskaperna för vatten erhålls inträngningsdjupet 0,085 m. För stål blir motsvarande inträngningsdjup 1,16 m. Stålet har liten påverkan om båda materialen används för att räkna på inträngningsdjupet eftersom det är en liten del av den totala volymen. Inträngningsdjupet är därmed drygt ca 14 cm in i röret sett från mätpunkten. Med andra ord bör ett opåverkat värde erhållas om temperatursensorn sitter mer än 14 cm in under PUR-isoleringen. Detta betyder att placeringen av termoelementen på medieröret 10 mm under isoleringsmaterialet inte var tillräckligt.

Ekv 9 kan också användas för att beräkna hur lång tid det tar innan avsvlningskurvan syns i temperaturmätningen. För en ventil som t.ex. sticker upp 0,75m från medieröret tar det 1 timma innan avsvlningen märks vid temperaturmätningen. Finns vetskaper om ventilens längd går det alltså skapa sig en uppfattning om när loggning av temperaturen kan starta och sluta.

Koppatråden position i tvärsnittet på röret ligger ca klockan 10 och 14, det är därmed någon grad högre temperatur jämfört med rakt ovan medierör, klockan 12. Detta p.g.a. att det vintertid är kallare på ovansidan röret, omvänt förhållande råder under sommaren. Eftersom ΔT för ventilen härrör från svetsningen rakt ovan medierör klockan 12 så används inte temperaturer för samma position i tvärsnittet. Detta resulterar i att beräknat lambdavärde blir något högre än det faktiska värdet.

9 Slutsatser

Den icke förstörande metoden har vidareutvecklats under tre fältförsök och bedöms nu kunna identifiera den termiska statusen på ett fjärrvärmerör. De största mätosäkerheterna har ringats in, vilket möjliggör ytterligare förbättringar för metoden. Det är i temperaturskillnaden för medieröret under avsvälning som mätningen bör ha högst precision, absoluttemperaturen är däremot inte lika viktig. Därmed kan ventiler eller andra mer lättillgängliga ståldetaljer utnyttjas för att fånga avsvälningens förlopp, trots att absoluttemperaturen kan ligga 5 grader lägre än i medieröret.

Den metodik som gav bäst resultat var att mäta temperaturen på mantel och isolerad ventil, där beräknades lambdavärdet för hela isoleringen till λ_{50} 0,0247 W/m·K, vilket kan jämföras med 0,026 som är producentens typvärde för ett nyproducerat rör. Det kan även betyda att det inte finns något behov av en schakt med frilagd rörände för att utföra mätningen. Detta behöver verifieras med ytterligare mätningar. Däremot kan viss grävning behövas för att fästa en temperatursensor på manteln.

Koppartråden kan utnyttjas för att bestämma värmeledningsförmågan hos isoleringen mellan medierör och koppartråd. Dessa försök visar att avståndet för koppartråd från medierör är ca 17,2 mm respektive 62 mm.

Flödesavstängningen bedöms inte behöva pågå längre än 1-2 timmar. Avstängningen kan vara kortare för dimensioner mindre än DN350/560. Hur länge som temperaturmätningen på ventilen bör pågå beror på dess avstånd till medieröret, kortare längd ger mindre förskjutning av avsvälningsskurvan. 0,75 meter ger ca 1 timmes förskjutning.

Under åldringsprocessen av PE-mantlade fjärrvärmerör sker en försämring i både termisk konduktivitet och mekaniska egenskaper. Den senaste forskningen indikerar att försämrade termisk konduktivitet även kan visa försämrade mekaniska egenskaper, p.g.a. den termo-oxidativa process som sker i polyuretanets gränsskikt till medierör. Den termiska konduktivitetens försämring beror av förändrat gasinnehåll i PUR-skummet, främst inträngning av syre. Det finns även en relation mellan försämrade vidhäftningsförmåga och termisk degradering om det finns fukt mellan medierör och PUR-skum samtidigt som det finns tillgång till syre, då kan medierörets yta oxidera vilket försämrar vidhäftningen.

9.1 VIDAREUTVECKLING

För att verifiera resultaten som presenteras i denna rapport, samt för att ytterligare finjustera metoden finns det behov av fler fältförsök och vidareutveckling.

Följande punkter är förslag på vidareutveckling:

- Undersöka hur temperaturmätning fungerar på andra sorters ståldetaljer som är anslutna till medieröret likt ventilen i försök 2 och 3
- Isolera ventil/ståldetalj ännu mer noggrant för att se hur det slår på avsvlningstemperaturen.
- Placera mantelns termoelement så det hamnar under mer jordmaterial, gärna någon dag i förväg för att studera hur temperaturen ovan jord påverkar mätningen
- Studera äldre rör för att kunna jämföra mot tidigare mätningar då rören i denna rapport var nyinstallerade.

10 Referenser

- ADL-ZARRABI, B., BERGE, A., LIDÉN, P., DOMHAGEN, F. & RAMNÄS, O. 2017. Livslängd och statusbedömning av fjärrvärmenät - Konventionella och högpresterande rör, Rapport 2017:420. Energiforsk AB.
- CUTNELL, J. D. & JOHNSON, K. W. 2003. *Physics*, Wiley.
- GMBH, S. L. 2006. Thermische Nachalterung und Vor-Ort-Prüfung großer Nennweiten von praxisgealterten Kunststoffmantelrohren (KMR).
- GMBH, S. L. G. G. I. F. E. U. F. C. M. 2004. Zeitstandsverhalten von PUR-Schäumen in praxisgealterten Kunststoffmantelrohren hinsichtlich Wärmedämmung und Festigkeit. In: TECHNOLOGIE, B. F. W. U. A. U. (ed.).
- HAGENTOFT, C.-E. 2001. *Introduction to building physics*, Studentlitteratur.
- LIDÉN, H. P. & ADL-ZARRABI, B. 2018. Non destructive methods of district heating pipes. *12th ECNDT*. Gothenburg.
- LIDÉN, P. & ADL-ZARRABI, B. 2016. Non-destructive methods for assessment of district heating pipes: a pre study for selection of proper method. *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*. Seoul, Republic of Korea (South Korea).
- PERSSON, C. 2015. *Predicting the Long-Term Insulation Performance of District Heating Pipes*. Dissertation, Chalmers University of Technology.
- POWERPIPE 2018. Produktkatalog.
- SS-EN253 2009. District heating pipes – Pre insulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks - Pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene. Swedish standards institute.
- WEISS, J., VOIGT, M., KUNZE, C., SÁNCHEZ, J. E. H., POSSART, W. & GRUNDMEIER, G. 2016. Ageing mechanisms of polyurethane adhesive/steel interfaces. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 70, 167-175.
- YARAHMANDI, N., JAKUBOWICZ, I. & VEGA, A. 2017. Livslängd för fjärrvärmerör - Fas I – Nedbrytningsmekanismer, Rapport 2017:354. Energiforsk AB.

11 Bilaga 1. Osäkerhetsbudget

Cause	Quantity	Estimate x_i	Error range	Type	Probability distribution	standard uncertainty $u(x_i)$	Propagation coefficient P_i	Contribution to standard uncertainty $u_i(V) = P_i \cdot u(x_i)$	$[u_i(V)]^2$	
Heat capacity	C [J/°C]	420000	1,0%	B	Rektangular	2,42E+04	5,0E-10	eq 2	1,20E-05	1,5E-10
Volume	V [m³]	0,0227	0,5%	B	Rektangular	6,55E-05	9,2E-02	eq 3	6,02E-06	3,6E-11
Water temp start	T1 a [°C]	80	3,0%	A	Normal	2,40E+00	7,8E-04	eq 4	1,88E-03	3,5E-06
Water temp end	T2 c [°C]	60	15,0%	A	Normal	9,00E+00	-1,2E-03	eq 5	-1,06E-02	1,1E-04
Water temp uncertainty	T1& T2 [°C]	80	0,5%	A	Normal	4,00E-01	7,8E-04	eq 4	3,13E-04	9,8E-08
Water temp resolution	T1& T2 [°C]	80	0,03%	B	Rektangular	1,15E-02	7,8E-04	eq 4	9,03E-06	8,2E-11
casing temp start	T3 b [°C]	20	1,0%	A	Normal	2,00E-01	-7,8E-04	eq 6	-1,57E-04	2,5E-08
casing temp end	T4 d [°C]	20	1,0%	A	Normal	2,00E-01	1,2E-03	eq 7	2,35E-04	5,5E-08
casing temp uncertainty	T3& T4 [°C]	20	0,03%	A	Normal	5,00E-03	7,8E-04	eq 6	3,91E-06	1,5E-11
casing temp resolution	T3& T4 [°C]	20	0,01%	B	Rektangular	1,15E-03	7,8E-04	eq 6	9,03E-07	8,2E-13
copper wire temp	T3 b [°C]	50	5,0%	A	Normal	2,50E+00	-1,6E-03	eq 6	-3,91E-03	1,5E-05
copper wire temp	T4 d [°C]	40	5,0%	A	Normal	2,00E+00	2,3E-03	eq 7	4,70E-03	2,2E-05
copper wire uncertainty	T3& T4 [°C]	50	0,5%	A	Normal	2,50E-01	1,6E-03	eq 6	3,91E-04	1,5E-07
copper wire resolution	T3& T4 [°C]	50	0,5%	B	Rektangular	1,44E-01	1,6E-03	eq 6	2,26E-04	5,1E-08
time	t tot [s]	70000	1,0%	B	Triangular	2,86E+02	-3,0E-08	eq 10	-8,52E-06	7,3E-11
radius steel pipe	R ₁ g [m]	0,085	0,5%	B	Rektangular	2,45E-04	2,7E-01	eq 8	6,69E-05	4,5E-09
radius total pipe	R ₂ f [m]	0,14	0,5%	B	Rektangular	4,04E-04	-4,5E-01	eq 9	-1,81E-04	3,3E-08
Radius cu wire (mean)	R ₂ f [m]	0,11	1,0%	B	Rektangular	6,35E-04	-4,5E-01	eq 9	-2,85E-04	8,1E-08
Length of pipe	L [m]	1	0,5%	B	Rektangular	2,89E-03	-2,1E-03	eq 11	-6,02E-06	3,6E-11
						Standard Uncertainty	$u = \sqrt{\sum u_i^2(V)}$	= 0,0124		
						Expanded uncertainty	U = ku =	2,5%		
						coverage factor	k = 2			

FÄLTFÖRSÖK FÖR STATUSBEDÖMNING AV FJÄRRVÄRMERÖR

Fjärrvärmenäten utgör en viktig samhällsresurs för att vi också i framtiden ska kunna ta hand om och distribuera spillvärme och förnybar värme. Att investera i nya nät skulle kosta flera hundra miljarder och storskaliga nyinvesteringar kommer troligen aldrig att göras. Det är därför viktigt att hitta metoder för att underhålla befintliga ledningar mer effektivt och att bara byta ut vissa utsatta sträckor.

Den icke förstörande metoden har vidareutvecklats under tre fältförsök och bedöms nu kunna identifiera den termiska statusen på ett fjärrvärmerör. Vidare verifiering av resultaten behövs men resultaten indikerar att metoden kommer att kunna användas av fjärrvärmenätens ägare för att bedöma den termiska statusen på nätet. Det finns även indikationer på att metoden indirekt kan visa på mekanisk status, exempelvis försämrade axiell skjuvhållfasthet.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin.



Energiforsk