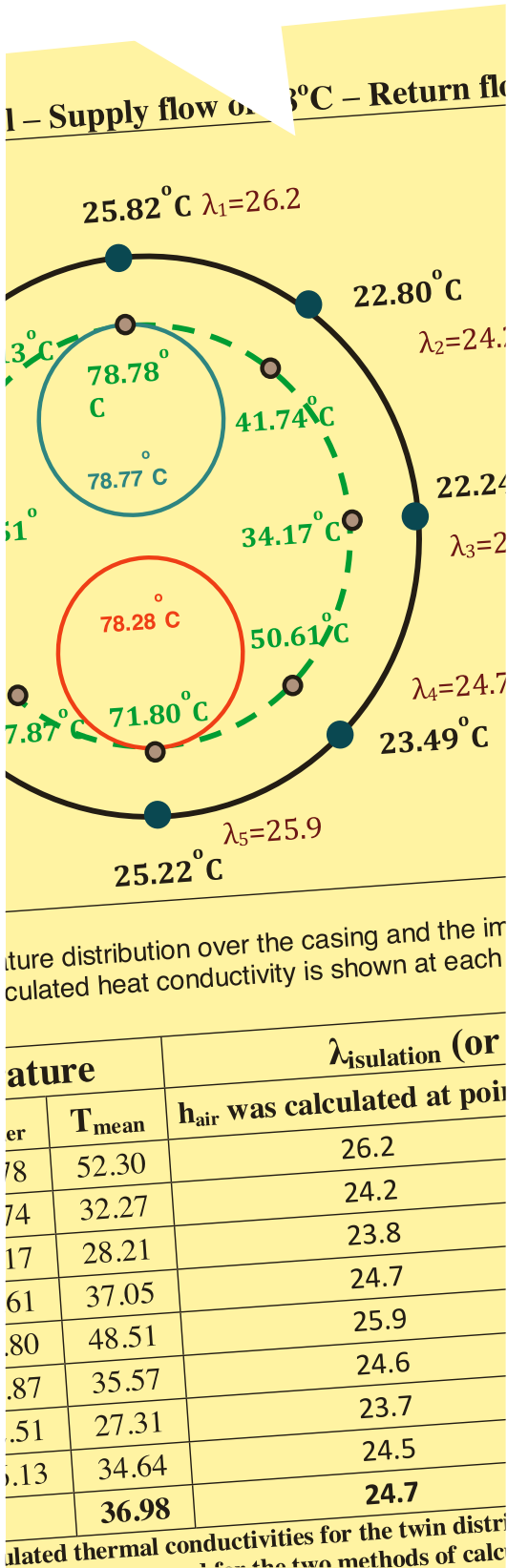




HYBRIDISOLERADE FJÄRRVÄRMERÖR

BIJAN ADL-ZARRABI

AXEL BERGE

ISBN 978-91-7381-121-7

© 2013 Svensk Fjärrvärme AB

FÖRORD

Syftet med detta arbete, vilket är en direkt fortsättning på Fjärrsynsprojektet Högpresterande fjärrvärmerör, är att fortsätta mäta temperaturer vid fältstationerna för att se om isolerförmågan hos vakuumpanelerna i fjärrvärmerören förändras över tid. Studien jämför också resultaten från fältmätningar med teoretiska beräkningar. Vakuumpanelerna var ursprungligen inte avsedda att användas i fjärrvärresammanhang och därför initierades testerna för att bestämma inverkan av höga temperaturer på isoleringspanelens livslängd.

Kan man tillverka fjärrvärmerör med betydligt bättre isolerförmåga kan distributionsförlusterna minskas markant. Rapporten visar att problematiken är komplex. Såväl materialens egenskaper som hur de ska appliceras behöver utvecklas.

Projektet har genomförts av Bijan Adl-Zarrabi och Axel Berge på Chalmers tekniska högskola. Till projektet har en referensgrupp varit knuten bestående av Rolf Siwertz, Telge Nät AB, Sten Bruce, Tekniska verken i Linköping AB, Göran Johansson och Lena Olofsson, Powerpipe Systems AB samt Olle Ramnäs och Ulf Jarfelt, Chalmers tekniska högskola.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras gemensamt av Energimyndigheten och fjärrvärmebranschen. Fjärrsyn ska stärka möjligheterna för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtidens teknik.

Bo Johansson
Ordförande i Svensk Fjärrvärmes teknikråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns styrelse eller Svensk Fjärrvärme har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

2011 beviljade Fjärrsyn finansiering av projekt 3234 'högpresterande fjärrvärmerör'. Utfallet från projektet var att högpresterande fjärrvärmerör kunde produceras genom att använda ett hybridisoleringskoncept. I de hybridisolerade fjärrvärmerören isoleras framledningsröret med en vakuumisoleringspanel, och avståndet mellan panelen och mantelröret fylls med polyuretanisolering. Resultaten från laboratorietester visade att en 10 mm vakuumisoleringspanel förbättrar värmekonduktiviten hos röret (DN 100/225) med cirka 30 %. Dessa resultat var så lovande att projektgruppen bestämde sig att initiera fältmätningar. Resultaten från fältmätningar med dubbelrör isolerade med vakuumpaneler var ännu inte kompletta vid slutet projektets tidsram men de befintliga temperaturmätningarna indikerade en klar minskning av värmeförlusterna. Under projektets gång identifierades andra tekniska utmaningar, exempelvis vakuumisoleringspanelernas livslängd vid högtemperaturer.

Huvudsyftet med detta projekt, 'hybridisolerade fjärrvärmerör', är att fortsätta övervakning av fältstationer, jämföra resultaten från fältmätningar med teoretiska beräkningar och initiera tester för att kunna bestämma inverkan av höga temperaturer på vakuumisoleringspanelens livslängd.

Fältmätningar i detta projekt är av stort intresse på grund av att temperaturmätningarna i fältförsöken nu har skett över en hel vintersäsong. Efter ett års mätningar visar resultaten fortfarande ingen synlig försämring av vakuumpanelernas prestanda. Vakuumpanelerna har fortfarande en lägre temperatur på utsidan än motsvarande position i ett rör med bara polyuretan vilket innebär mindre energiförluster.

Jämförelsen mellan fältmätningar och de teoretiska beräkningarna visar att de teoretiska beräkningarna kan ge en god bild av de faktiska förhållandena i rören. Det är dock många okända faktorer som måste uppskattas vilka spelar stor roll för de beräknade temperaturerna.

Bäst överenskommelse mellan resultaten från fältmätningar och beräkningar uppnåddes där vakuumisoleringspanelerna gavs en värme-konduktivitet på $7 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ i ett snitt utan inverkan av köldbryggor vilket överstämde med resultaten från laboriemätningar men är betydligt högre än i produktspecifikationen.

Ett antal paneler har exponerats för temperaturer runt 70°C , i laboratorium. Efter cirka 320 dagar och dubbelsidig temperaturexponering, finns tecken på att den höga temperaturen har påverkat vakuumpanelens livslängd. Det vill säga, trycket i panelerna har ökat med 1- 2 millibar. En enkel linjär beräkning visar att panelerna efter cirka 50 år kommer att ha ett innertryck som motsvarar 100 millibar. Vid denna trycknivå har vakuumpanelerna en värmekonduktivitet av storleksordning $10\text{-}12 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ i mitten av panelen.

Nya mätningar av den effektiva värmekonduktiviteten i lager av vakuumisolerings-paneler har genomförts sedan förra projektet 3234 avrapporterades. Resultaten har stora variationer. Dessa resultat beror troligtvis på svårigheten att såga till provkroppar utan att skada vakuumpanelerna och luftspalter vid

vakuumisoleringen med två paneler. Vakuumpanelerna visar tendenser till att kunna röra på sig relativt mantelröret när de produceras, vilket gör det svårt att veta deras exakta placering vid sågning. Den effektiva värmekonduktiviteten hos vakuumisoleringspanelen uppmättes som bäst till $10,3 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ för ett rör med en 1 m lång och 10 mm tjock vakuumisoleringspanel.

En alternativ testuppställning har utvecklats för att kunna bestämma värmekonduktiviteten hos dubbelrör genom att använda två värmestavar. De första resultaten ser lovande ut men mätmetoden och den tillhörande teoretiska modellen är ännu inte färdigutvecklat. Vidare mätningar och beräkningar behövs för att kunna använda metoden. Utifrån mätmetoden för dubbelrör med ren polyuretan bör sedan jämförande värden för hybridisolerade fjärrvärmerör kunna mätas i laboratorium.

SUMMARY

Fjärrsyn granted financing of Project 3234 'high performance district heating pipes' during 2011. The outcome of the project was that the high performance district heating pipes could be produced by using a hybrid insulation concept. In hybrid insulation district heating pipes, the steel service pipe is insulated by a cylindrical vacuum insulation panel, and the volume between the panel and the outer casing is filled with polyurethane insulation. The results of laboratory tests showed that a 10 mm vacuum insulation panel improves the thermal conductivity of the pipe (DN 100/225) by about 30%. These results were so promising that the project team decided to initiate field measurements. The results of field measurements with twin pipes insulated with vacuum insulation panels were not yet complete during the time frame of Project 3234. However, the available temperature measurements indicated a clear reduction of the heat losses. Furthermore, other technical challenges were identified such as the lifetime of the vacuum insulation panels at high temperatures.

The main objective of this project, 'hybrid insulated district heating pipes', was to continue the monitoring of field stations, comparing the results of field measurements with theoretical calculations and initiate tests to determine the impact of high temperatures on vacuum insulation panel lifetime.

Field measurements in this project were of great interest because the time period of measuring covered a whole winter season. After one year of monitoring, there was no visible deterioration of the vacuum panels. The temperatures on the vacuum panels were still lower than the temperature of corresponding position in the part of the pipe insulated by pure polyurethane.

The comparison between field measurements and theoretical calculations showed that the theoretical calculations could provide a good picture of the actual conditions in the pipes. However, many unknown factors should be estimated, which play a major role in the calculated results. Best agreement between results was achieved where the vacuum insulation panels were given a thermal conductivity of 7 mW / (m K) in the middle of the panels. This level of thermal conductivity was significantly higher than the data presented in the data sheet of the product.

A number of panels have been exposed to high temperatures, 70 °C, in the laboratory. After about 320 days, double sided temperature exposure, the pressure in the panels has increased by 1-2 mbar. A simple linear calculation showed that the panels after 50 years would have an internal pressure equal to 100 mbar. At this pressure level, the thermal conductivity of vacuum panels is in the order of 22-24 mW / (m.K).

New measurements of the effective thermal conductivity of hybrid insulated district heating pipes have been implemented since the last project was presented. Significant variations were observed e.g. some samples even got poorer thermal conductivity than polyurethane. These results are probably due to the difficulty of cutting the specimens without damaging the vacuum panels. Vacuum panels showed tendencies to move relative to the outer casing when they were produced, making it

difficult to know their exact location. The best effective thermal conductivity of the vacuum insulation panels achieved from the measurements was 10.3 mW / (m K) for a cylindrical vacuum panel with a thickness of 10 mm and a length of 1 m .

An alternative test setup has been developed to determine the thermal conductivity of hybrid insulated double pipe using two heating rods. The initial results are promising but the method of measurement and the associated theoretical model is not yet fully developed. Further, measurements and calculations are needed to use the method.

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	10
1.1	SYFTE	11
1.2	METOD	11
2	FÄLTMÄTNINGAR	12
2.1	MÄTRESULTAT	12
2.2	VAKUUMISOLERINGSPANELERNAS LÅNGTIDSPRESTANDA	14
2.3	SIMULERING AV FÄLTFÖRSÖK	16
3	LABORATORIEMÄTNINGAR	22
3.1	BESTÄMNING AV VÄRMEKONDUKTIVITET HOS HYBRIDISOLERADE FJÄRRVÄRMERÖR	22
3.2	VACUUMISOLERINGSPANELER VID HÖGA TEMPERATURER	23
3.2.1	Laboratorietester	23
3.3	BESTÄMNING AV VÄRMEKONDUKTIVITET MED TVÅ VÄRMESTAVAR	25
4	SLUTSATSER	28
5	VIDARE FORSKNING	29
6	REFERENSER	30
	BILAGA 1	31

1 INTRODUCTION

Forskning med syfte att förbättra fjärrvärmerörets värmeisoleringsförmåga har varit och kommer att vara aktuellt så länge rörsystem används för att överföra värme från ett värmeverk till kunder/användare.

2011 beviljade Fjärrsyn finansiering av projekt 3234 'högpresterande fjärrvärmerör'. Initialt identifierades två alternativa utvecklingsmöjligheter. Det första alternativet var att blanda aerogel-partiklar i polyuretanskum. Resultaten från initiala tester, undersökningar och studiebesök indikerade att aerogel-partiklar inblandade i polyuretan inte var en omedelbar lösning utan är ett långsiktigt forskningsprojekt. Med hänsyn till projektets tidsram och omfattning lades detta alternativ ner. Det andra alternativet var att använda s.k. hybridisolering till fjärrvärmerör. Det vill säga att kombinera polyuretan med en annan isolering. Två högpresterande isoleringsmaterial, aerogelfilt respektive vakuumpaneler, användes för att isolera närmast intill medieröret. Resten av röret fylldes med polyuretanisolering. Ett antal fjärrvärmerörprototyper med sådan hybridisolering tillverkades. Resultaten från de första tekniska undersökningarna visade att de båda olika högpresterande materialen minskar rörets värmeförluster med 15-30% men att vakuumpanelen föreföll ha störst potential och vara mest ekonomiskt fördelaktig.

Ett antal tekniska frågor identifierades under tillverkningen av de hybridisolerade rörprototyperna. Bland annat konstaterades att tillgängliga vakuumpaneler inte var anpassade till fjärrvärmerör. Dessutom bör de hybridisolerade fjärrvärmerören klara samma tekniska krav som konventionella fjärrvärmerör, när det gäller åldring, livslängd, mekaniska och termiska funktioner. Det blev tydligt att alla frågor rörande hybridisoleringar inte kan besvaras inom ramen för projektet 3234 'högpresterande fjärrvärmerör'.

Resultaten från hybridisolerade fjärrvärmerör med vakuumpaneler var så lovande att provrör tillverkades för att ingå i ett distributionsnät. December 2011 beslutade projektets styrgrupp att provanläggningen för fältmätningar på hybridisolerade rör skall prioriteras. Detta ledde till att aktiviteter rörande de andra tekniska utmaningarna delvis eller helt försköts till framtiden.

Två provanläggningar etablerades i Varberg. Fjärrvärmerören (dubbelrör med dimensionerna DN2*25/140 och DN2*80/250) vid provanläggningen är utrustade med ett antal termoelement. Mätvärdesinsamling från anläggningen skall pågå en längre tid för att verifiera resultaten från mätningar i laboratoriet. Projekt 3234 'högpresterande fjärrvärmerör' avrapporterades under 2012 och projektet 'Hybridisolerade fjärrvärmerör' initierades.

1.1 Syfte

Syftet med projektet är att verifiera användning av hybridisolerade fjärrvärmerör med vakuumpanel i fält och i laboratorium.

1.2 Metod

Mätdata från provanläggning i Varberg har samlats in och analyserats kontinuerligt under tiden mellan slutet av januari 2012 och mars 2013. Analysverktyg, beräkningsmodeller, skall vidareutvecklas och förfinas. Resultaten från analyserna skall användas för att verifiera laboriemätningarna från projekt 3234 'högpresterande fjärrvärmerör'.

Med hjälp av fältmätningar tas korttidsegenskaper fram för de hybridisolerade fjärrvärmerörerna. En utredning om hur panelens termiska egenskaper påverkas av en hög medeltemperatur under lång tid kommer att initieras på laboratorienivå.

2 FÄLTMÄTNINGAR

Januari 2012 installerades två dubbelrör med vacuumisoleringspaneler (VIP) som en del i fjärrvärmenätet i Varberg. Rören är av dimensionerna DN2*80/250 och DN2*25/140 och utgör ett antal rörlängder av en sträcka med konventionella rör. Ett 6 m långt mätrör installerades för varje dimension, i vilka en del av framledningsröret har hybrid isolering medan den andra delen bara är isolerade med polyuretanisoleing för att verka som referens. Vakuumisoleringspanelerna har en tjocklek på 10 mm och är ungefär 1 m långa.

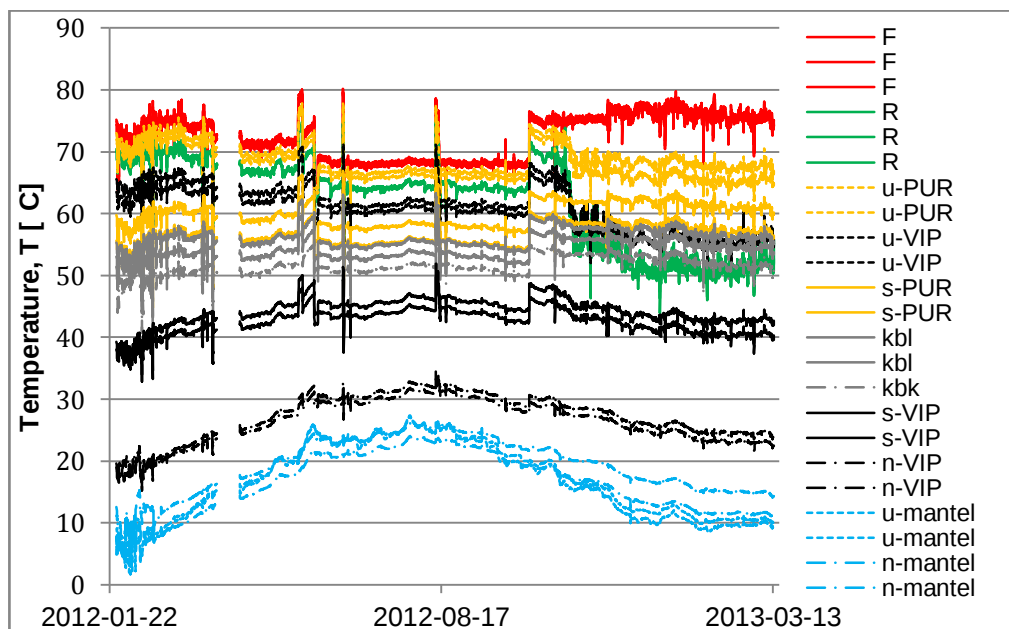
Termoelement har gjutits in i mätrören för att få en bild utav temperaturfältet i rörsnittet och temperaturen mäts kontinuerligt varannan timme i ett antal olika positioner både i den hybridisolerade delen av röret och motsvarande temperaturer i referensdelen. Den exakta placeringen av varje termoelement redovisas i den tidigare Fjärrsyn rapporten (Adl-Zarrabi & Berge, 2012) men en förklaring av namngivningen i relation till placering, vilken används i de efterföljande temperaturfigurerna, visas i Figur 1.

							
	Framledn.: F	Retur: R	Upp: u-VIP	Sidan: s-VIP	Ner: n-VIP	Köldbrygga längsmed: kbl	Köldbrygga kant: kbl
	Framledn.: F	Retur: R	Upp: u-PUR	Sidan: s-PUR	Ner: n-PUR	-	-

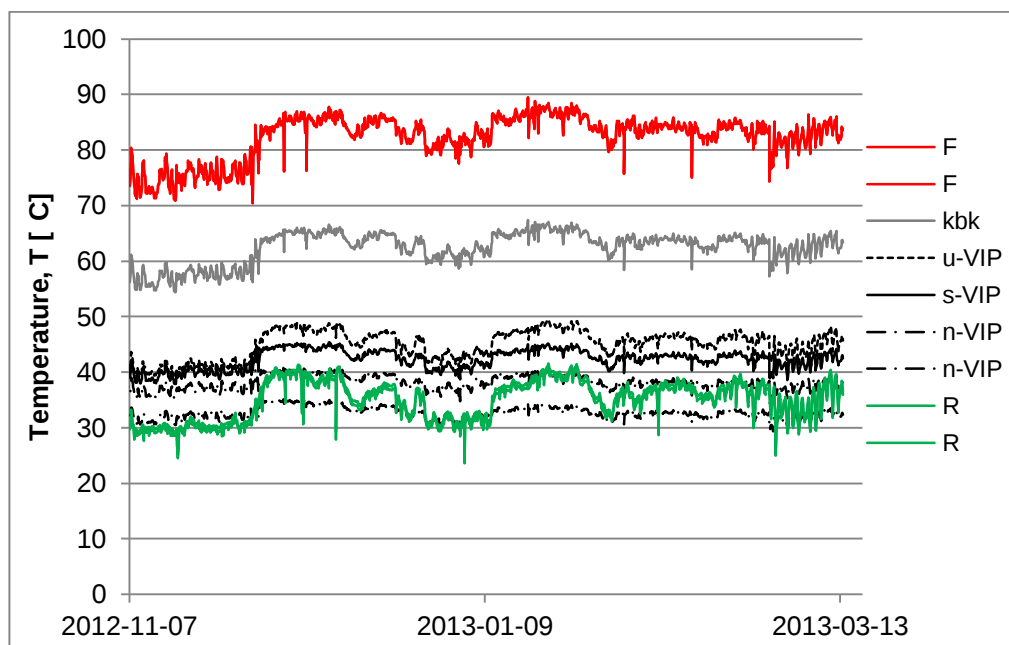
Figur 1. Namngivning av mätpositioner för termoelementen i fältmätningarna. Övre raden visar positioner i delen med vakuumisoleringspaneler (VIP) och nedre raden visar motsvarande positioner i referensdelen polyuretan (PUR). Dessa namn används för att beskriva positionen för de uppritade temperaturkurvorna som följer i kapitlet.

2.1 Mätresultat

Mätresultaten från samtliga temperaturmätningar i respektive dubbelrör, DN 80/250 och DN2 25/140, visas i Figur 2 och Figur 3. Figurerna visar att mätningarna fortgår utan problem. Resultaten är fortfarande koherenta efter nära ett års mätningar.



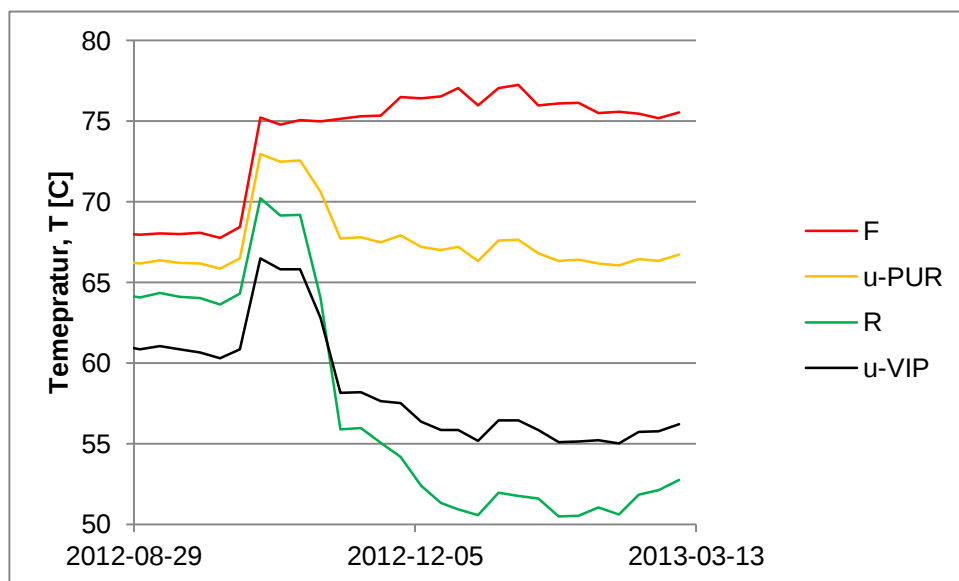
Figur 2. Uppmätta temperaturer i fält för rör med dimensionen DN 2*80/250. Legenden är organiserad sjunkande utifrån temperaturnivå i början av mätningen.



Figur 3. Uppmätta temperaturer i fält för rör av dimensionerna DN 2*25/140. Legenden är organiserad sjunkande utifrån temperaturnivå i början av mätningen.

Figur 4 visar valda temperaturer i röret med dimensionerna DN 2*80/250. I skiftet mellan oktober och november började värmeenergi tas ut ifrån fjärrvärmesystemet vilket visar sig i en större differens mellan framlednings- och returledningstemperatur. Figur 4 visar också att temperaturen på utsidan av vakuumisoleringspanelen

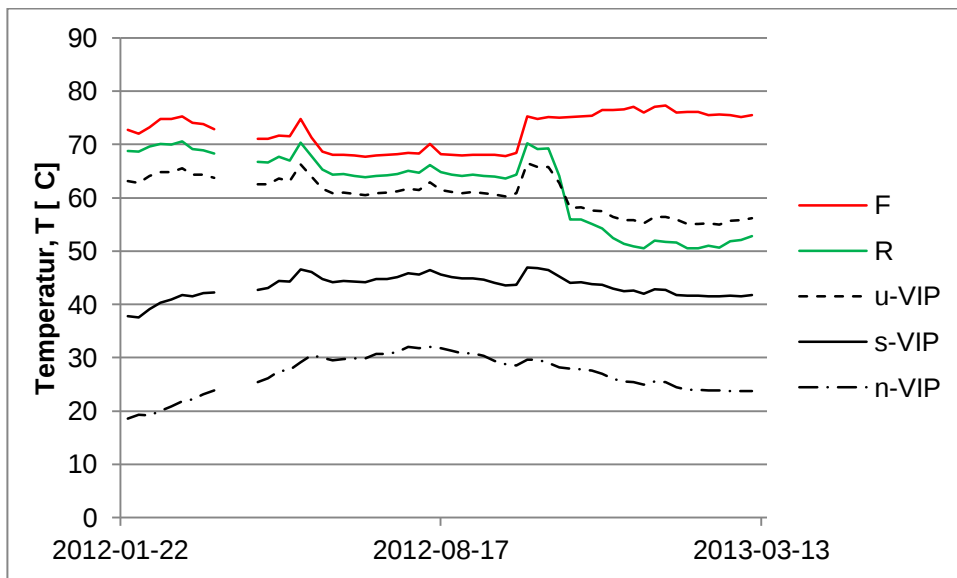
fortfarande ligger långt under motsvarande position i referensdelen med bara polyuretan. Det innebär att värmeflödet ut ifrån delen med vakuumpaneler är mindre än motsvarande värmeflöde i referensdelen.



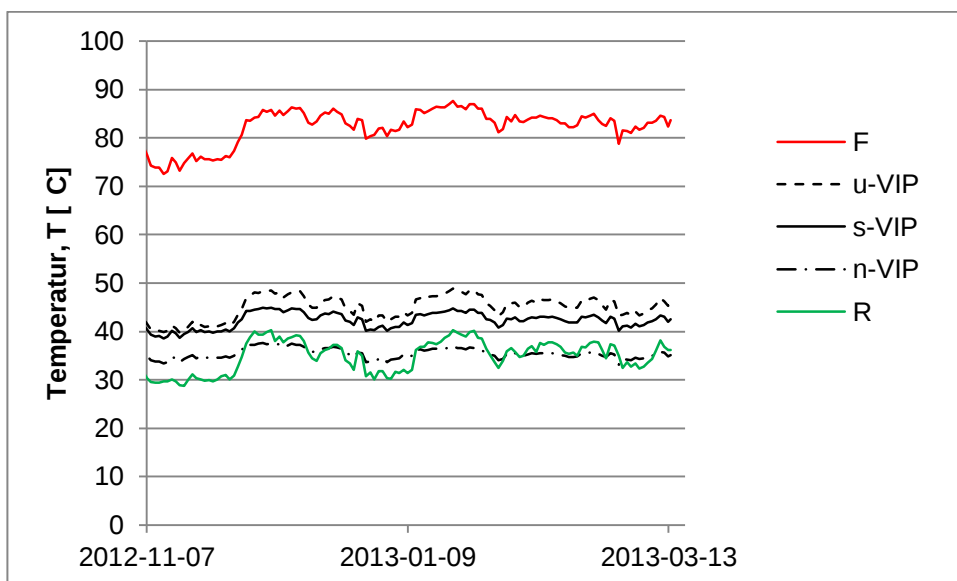
Figur 4. Utvalda temperaturer från fältmätningar som visar att vakuumpaneler ger en betydligt lägre temperatur på utsidan av panelerna jämfört med temperaturen på motsvarande ställe i ren polyuretan som är ett tecken på panelenseffektivitet. Figuren visar även tidpunkten för när stora mängder energi började plockas ut ur fjärrvärmesystemet och differensen mellan framlednings- och returledningstemperaturen ökar.

2.2 Vakuumisoleringspanelernas långtidsprestanda

Temperaturerna i de olika positionerna på vakuumisoleringspanelerna visas i Figur 5 för röret med dimensionerna DN 2*80/250 och i Figur 6 för röret med dimensionerna DN 2*25/140. Figurerna visar även temperaturerna på framledningsröret och retur-röret som referens. Temperaturerna på utsidan av vakuumisoleringspanelerna visar ett stabilt beteende. Om någon av panelerna hade gått sönder skulle det visa sig som ett snabbt hopp i temperaturen vilket inte kan ses för något av rören. Det går inte heller att se någon långsam temperaturökning på grund av den luft som sakta diffunderar in genom det diffusionstäta laminatet som omger panelerna.



Figur 5. Uppmätta temperaturer på utsidan av vakuumpanelerna för röret med dimensionerna DN 2*80/250

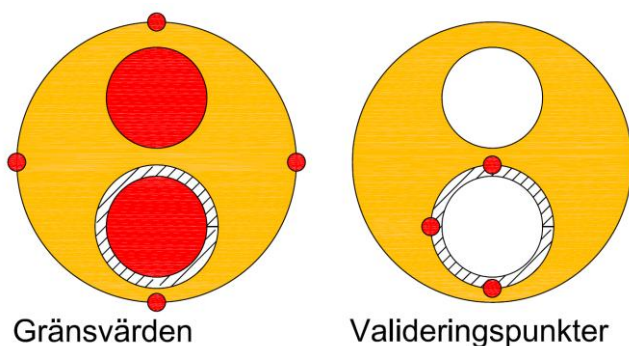


Figur 6 Uppmätta temperaturer på utsidan av vakuumpanelerna för röret med dimensionerna DN 2*25/140.

Resultatet antyder att temperaturer runt 80 grader, som i det aktuella fjärrvärme-systemet, inte medför en för snabb försämring av vakuumisolerings-panelerna. Energiförlusterna kommer således fortsätta vara låga under viss tid framöver. Mätningar har ännu bara gjorts över ett år så för att göra en noggrannare uppskattning av livslängden krävs fler undersökningar.

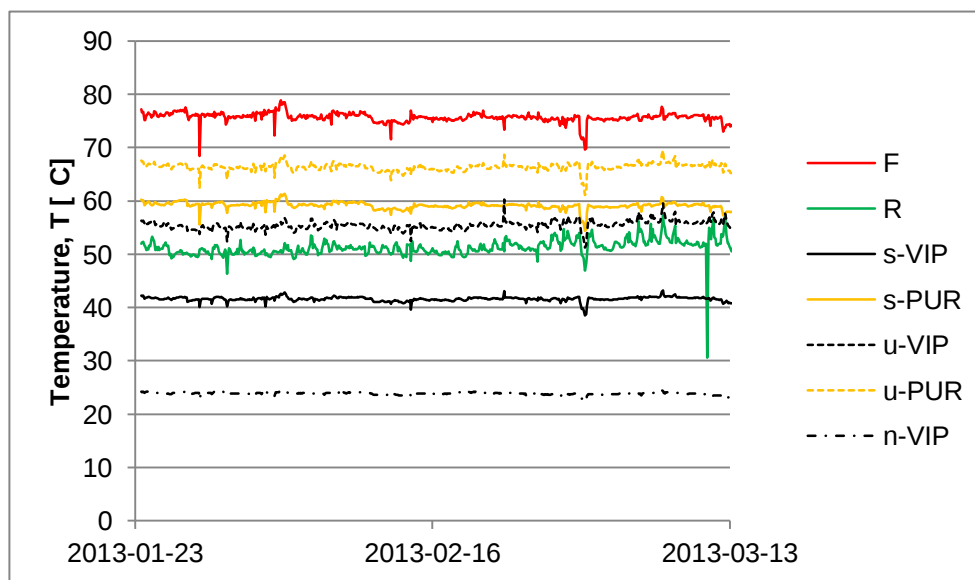
2.3 Simulering av fältförsök

En modell skapad i Comsol, likande de modeller som beskrivs i Adl-Zarrabi & Berge (2012), användes för att återskapa temperaturerna uppmätta i fält. Korrekta förutsägelser av temperaturerna skulle innebära större trovärdighet i simulerade energiförluster. Temperaturerna på mantelröret och temperaturerna i fram- och returledningsrör används som gränsvärden. De beräknade temperaturerna på utsidan av vakuumisoleringspanelerna jämfördes med motsvarande uppmätta temperaturer. Gränsvärden och valideringspunkter visas i Figur 7.



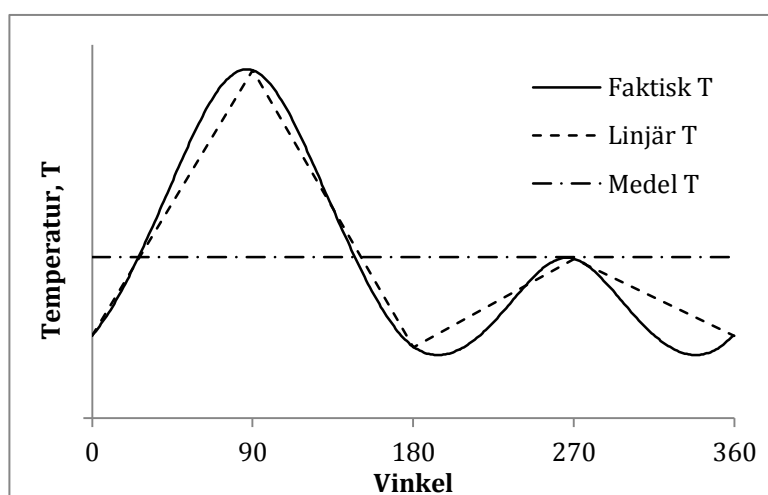
Figur 7. Placering och benämning av sensorer i mätröret för DN 2*80/250.

För att få fram gränsvärdestemperaturer och jämförelsetemperaturer för validering användes de uppmätta medeltemperaturerna under nästan två månader mellan 130123-20130313. Under denna tidsperiod var samtliga temperaturer relativt stabila och fjärrvärmesystemet användes aktivt. Detta framgår av Figur 8 som visar temperaturmätningarna över perioden.



Figur 8. Uppmätta temperaturer på valda positioner för mätröret DN 2*80/250

Figur 9 beskriver antagande de antaganden som gjorts kring mantelrörets temperatur i simuleringsmodellen. En simulerad temperaturvariation längsmed mantelrörets omkrets visas den faktiska temperaturen. Data finns dock bara för fyra punkter på mantelröret. Att använda medeltemperaturen för dessa fyra punkter skulle ge ett ganska stort fel speciellt på toppen och i botten av mantelröret. Därför antogs temperaturen variera linjärt mellan de uppmätta punkterna. Figur 9 visar att detta minskar felet i mantelrörstemperaturen avsevärt.



Figur 9. Temperaturen på mantelröret i olika positioner

Övriga indata för simuleringarna visas i Tabell 1. Tabellen redovisar tre olika värden för vakuumisoleringspanelerna som alla testades för att se vilken som genererade bäst samstämmighet med de mätta temperaturerna. På så vis kunde en värmekonduktivitet mitt i vakuumisoleringspanelerna uppskattas.

Tabell 1. Indata för teoretiska simuleringar

Indata	Värde	Enhet
λ_{PUR}	$26+0,1 \cdot (T+50^{\circ}\text{C})$	mW/(m·K)
λ_{VIP}	7,0 / 6,0 / 4,5	mW/(m·K)
$\lambda_{VIP,old}$	20	mW/(m·K)
T_f	75,7	°C
T_r	51,3	°C
Dim.	DN 2*80/250	
Period	130123-130313	

Resultaten från simuleringarna visas i Tabell 2. Först visas de uppmätta temperaturerna, sedan de beräknade temperaturerna för motsvarande punkter med olika värmekonduktivitet på vakuumisoleringspanelerna. Tabell 2 visar också den procentuella avvikelsen mellan uppmätta och beräknade resultat.

Tabell 2. Temperatur beräkningar på vacuumisoleringspanel

	7 mW/(m·K)			6 mW/(m·K)		4.5 mW/mK	
	T_{Field}	T_{Cmsol}	p	T_{Cmsol}	p	T_{Cmsol}	p
T_{VIPs}	41.6	42.1	1.1%	40.1	-3.6%	36.8	-11.7%
T_{VIPu}	55.4	55.9	0.9%	54.8	-1.1%	52.9	-4.4%
T_{VIPn}	23.8	28.3	19.1%	26.9	12.9%	24.4	2.7%

Temperaturerna på sidan om och uppe på panelerna visar god samstämmighet både för värmekonduktiviteten 6 mW/(m·K) och 7 mW/(m·K). Temperaturen på nedansidan av panelen överskattas dock grovt. För att kontrollera möjliga orsaker till överskattningen beräknades temperaturerna även för två specialfall. Först ett deformerat mantelrör där mantelröret modellerades som elliptiskt med 3 eller 4 mm mindre radie vertikalt och motsvarand ökning på radien horisontellt. Sedan modellerades en ökning i värmekonduktiviteten på polyuretanet i botten av röret. Resultaten visas i Tabell 3 där bäst överensstämmelse sker för en värmekonduktivitet på 7 mW/(m·K) för vakuumisoleringspanelerna och en 4 mm deformation av mantelröret. Felet på nedansidan av panelerna skulle också kunna bero på att termoelementen har lossnat under skumningen av rören och således kan vara placerade var som helst men detta förefaller osannolikt då temperaturerna i båda mätpunkterna för positionen följer varandra väldigt nära.

Tabell 3. Temperatur beräkningar på vacuumisoleringspanel för deformerade rör.

	6 mW/(m·K) 3 mm deform			7 mW/(m·K) 3 mm deform		7 mW/(m·K) 4 mm deform		6 mW/(m·K) var λ_{PUR}	
	T_{Field}	T_{Cmsol}	p	T_{Cmsol}	p	T_{Cmsol}	p	T_{Cmsol}	p
T_{VIPs}	41.6	39.7	-4.7%	41.6	-0.03%	41.4	-0.5%	39.1	-5.9%
T_{VIPu}	55.4	54.8	-1.1%	55.9	0.9%	55.9	0.8%	54.7	-1.3%
T_{VIPn}	23.8	23.8	-0.2%	25.0	5.1%	23.7	-0.5%	24.8	4.3%

Från beräkningarna av temperaturerna kan man även få energiförlusterna från det beräknade snittet. Resultaten visas i

Tabell 4 för en värmekonduktivitet hos vakuum-isoleringspanelerna på både 6 mW/(m·K) och 7 mW/(m·K). Som jämförelse visas även resultaten för antagandet om att vakuumpanelerna är helt luftfyllda och då uppnår en värmekonduktivitet på 20 mW/(m·K) i mitten av panelen.

Tabell 4 Beräknade energiförluster

	Energiförlust [W/m]	Relativt PUR
$\lambda_{VIP} = 7$	15.9	-21%
$\lambda_{VIP} = 6$	15.4	-24%
$\lambda_{VIP,old}$	20.0	-0,6%
PUR	20.2	-

Resultaten i

Tabell 4 visar att det går att vänta sig en minskning i energiförlusterna på omkring 20 procent i ett initialt skede hos rör av dimensionen DN2*80/250. Efter lång tid, när panelernas har fyllts med luft, kommer energiförlusterna fortfarande vara av samma storlek som för motsvarande rör med bara polyuretan.

3 LABORATORIEMÄTNINGAR

Mätningar i laboratoriet kan delas i tre huvud grupper nämligen; bestämning av värmekonduktivitet för singelrör och dubbelrör med vakuumisoleringspaneler, vakuumisoleringspanelernas beteende vid höga temperaturer och bestämning av värmekonduktivitet av en dubbelrör med två värmestavar

Bestämningen av värmekonduktiviteten utfördes baserade på standarden för mätningar med mätmetoden 'Guarded Hot Pipe (GHP)', SS-EN ISO 8497:1994. Vid mätningar med GHP genomfördes temperaturmätningarna med termoelement av typ "T".

3.1 Bestämning av värmekonduktivitet hos hybridisolerade fjärrvärmerör

Effekten av hybridisolering i fjärrvärmerör varierar med fjärrvärmerörs- och vacuumpanelens dimensioner samt värmekonduktivitet hos vacuumpanelen. Ett antal provkroppar av hybridisolerade fjärrvärmerör producerades för undersöka inverkan av extra isolering. Resultaten visas i Tabell 5 som total värmekonduktivitet, beräknad som om röret hade en homogen isolering, och effektiv värmekonduktivitet för lagret med vakuumisoleringspaneler, beräknat utifrån en antagen värmekonduktivitet på $26 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ för polyuretan.

Tabell 5. Mätresultat från hybridisolerade fjärrvärmerör med vakuumisoleringspaneler. Samtliga rör har dimensionerna DN 100/225.

Rör nr.	VIP-tjocklek [mm]	λ_{tot} [mW/m/K]	$\lambda_{\text{eff.VIP}}^*$ [mW/m/K]
1	5	23.5	11.4**
2	10	28.3	29.1
3	20***	21.2	16.6
4	10	19.6	10.3
5	10	28.4	29.6

* Baserad på ett antagande om en värmekonduktivitet på $26 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ för polyuretan.

** Två stycken paneler på 0.5 m bredd vid varandra längs röret vilket ger extra köldbryggor

*** Två stycken lager med 10 mm tjocka vakuumisoleringspaneler

Tabell 5 visar en stor variation både för den totala värmekonduktiviteten och för den effektiva värmekonduktiviteten. För vissa rör är den effektiva värmekonduktiviteten till och med högre än för polyuretanet. Detta beror troligtvis på att vakuumisoleringen har skadats och fyllts med luft. Skador på panelerna kan uppkomma under själva produktionen vilket är en risk med vakuumisolering som kräver hänsyn. Det har dock visat sig att antingen panelerna eller mantelröret har rört sig under skumningen av polyuretanet vilket har lett till att flera av panelerna har blivit förstörda när provrören

har sågats till rätt längd. Ett exempel på ett skadat rör visas i Figur 10, markeringen på mantelröret är förskjutet relativt vakuumisoleringspanelens placering.



Figur 10. Bild på ett uppskuret hybridisolerat fjärrvärmerör där vakuumisoleringspanelerna har blivit genomskuren på grund av att markeringen har förskjutits relativt panelerna under polyuretanskumningen.

Mätningarna visar dock att den effektiva konduktiviteten för en fullt fungerande vakuumisoleringspanel når ner till $10.3 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ motsvarar 40 procent av polyuretans värmeledningsförmåga. I föregående rapport av Adl-Zarrabi & Berge (2012) användes en effektiv värmekonduktivitet på $12 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ för att beräkna energiförlusterna. Dessa resultat antyder att förlusterna troligen skulle kunna bli ännu mindre för ett nyinstallerat rör.

3.2 Vacuumisoleringspaneler vid höga temperaturer

Höga temperaturer har en negativ påverkan på livslängden hos vakuumisoleringspaneler. Det låga trycket i en vacuumpanel bevaras med ett metalliserat laminat. Vid höga temperaturer ökar luftens diffusionshastighet in i vacuumpanelen. Diffusionen sker rakt genom laminaten och genom fogarna i laminaten.

Enligt uppgifter framtagna av tillverkaren är livslängden hos en 10 mm tjock vakuumisoleringspanel cirka 50 år vid 60°C . Den deklarerade livslängden baseras på tiden som krävs för att trycket i vacuumisoleringspanelen uppnår 100 mbar. Temperaturen i ett fjärrvärmesystem är högre än 60°C . Laboratorietester utfördes för att kartlägga livslängden hos vacuumisoleringspanelerna i ännu högre temperaturer.

3.2.1 Laborietester

Fem vacuumisoleringspaneler med en tjocklek på 10 mm placerades i en ugn. Temperaturen i ugnen var initialt 105°C men sänktes senare till 70°C . Alla sidor

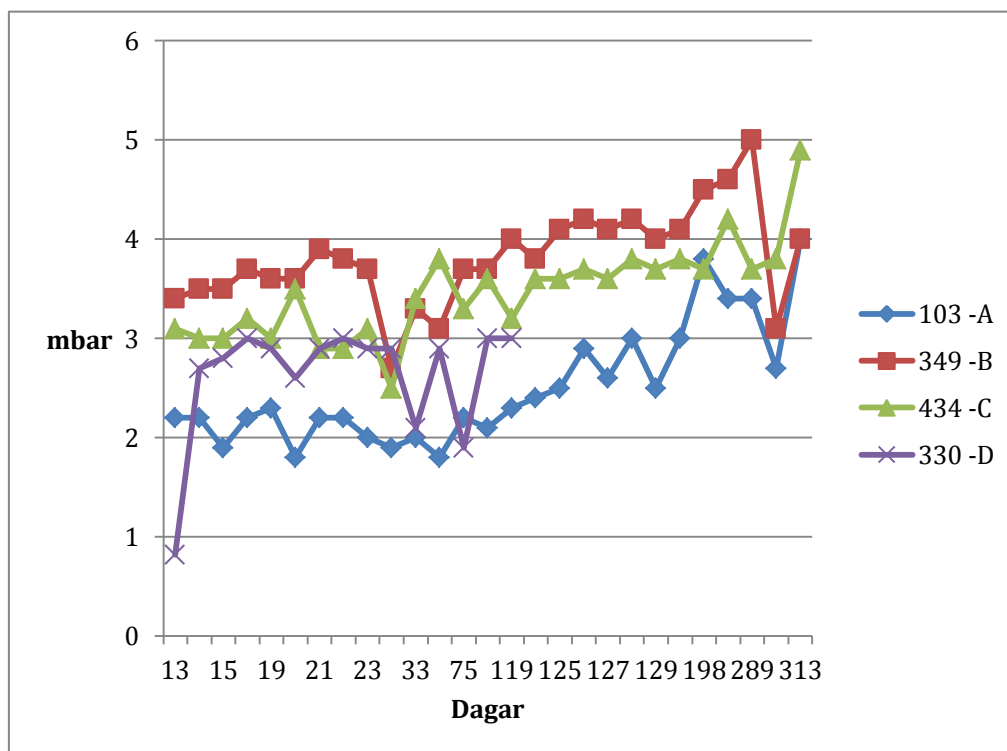
på panelerna, inklusive skarvar, var exponerade för ugnstemperaturen. Provuppställningen representerar ett värre fall än för de hybridisolerade fjärrvärmerören. I ett hybridisolerat fjärrvärmerör är ena sidan av panelen i kontakt med tilldelningsröret (högre temperatur) och den andra sidan är i kontakt med polyuretan (lägre temperatur). Detta medför att vakuumisoleringspanelen utsätts till en icke-symmetrisk temperaturfördelning som är fördelaktig för panelernas livslängd. Dessutom kan skarvarna i ett hybridisolerat fjärrvärmerör läggas på sidan med den lägre temperaturen. Detta betyder att provuppställningen kan underskatta vakuumisoleringspanelernas livslängd.

Trycket i vakuumisoleringspaneler bestämdes med ”va-Q-check” som är ett mätinstrument för produktkontroll vid tillverkning av vakuumisoleringspaneler. Mätinstrumentets mätområde är mellan 1-20 mbar. Detta leder till att en större tryckökning än till 20 mbar inte kunde mätas. Den maximala mätvärdet på 20 mbar har antagits som den nivå då panelen anses vara skadad/oanvändbar. Mätresultaten vid 105 °C presenteras i Tabell 6.

Tabell 6. Tryck i vakuumisoleringspaneler som har exponerats för en temperatur på 105 °C.

	Panelens serienummer				
	'334'	'424'	'349'	'434'	'330'
Tid [timmar]	undertryck [mbar]				
0	1,4	1,2	1,1	1,47	0,82
288	>20	>20	3,4	3,1	2,7

Trycket i vakuumisoleringspaneler ”334” och ”424” var större än 20 mbar efter cirka 12 dagar. Panelerna klassades som skadade och eliminerades från mätserien. Mätningarna fortsattes sedan med en temperatur på 70 °C och en ny vakuumisoleringspanel, med serienummer ”103”, lades till mätserien. Mätresultaten är presenterade i Figur 11.



Figur 11 Undertryck i vacuumisoleringspaneler vid 70°C

Trycket i panel ”330” uppnådde 20 mbar efter 119 dagar (12 dagar vid 105 °C och 107 dagar vid 70 °C).

Matresultanten visar att panelernas livstidsprestanda varierar vid höga temperaturer. Två paneler skadades redan efter 12 dagar vid 105 °C och tre paneler klarade denna temperaturnivå.

Resultaten i Figur 11 visar att efter cirka 300 dagar har trycket i kvarvarande vacuumisoleringspanelerna stigit med cirka 2 mbar. Vacuumisoleringspanelens värmekonduktivitet vid 100 mbar är 8 mW/(m·K). Med antagandet att tryckändringen är linjär med tiden kan man uppskatta en ungefärlig livslängd av storleksordningen 50 år för vacuumisoleringspaneler vid 70 °C.

3.3 Bestämning av värmekonduktivitet med två värmestavar

’Guarded Hot Pipe’-metoden är konstruerad för att mäta värmekonduktiviteten hos enkelrör, en värmestav genererar värme i medieröret och värmekonduktiviteten beräknas genom ett antagande om ett endimensionellt axisymmetriskt flöde ut genom röret. Den skenbara värmekonduktiviteten för hybridisolerade fjärrvärmerör bestämdes i projekt 3234 ’högpresterande fjärrvärmerör’ med hjälp av ’Guarded Hot Pipe’-metoden.

Enligt SS-EN 15698-1 skall värmekonduktiviteten av dubbelrör beräkna genom att bestämma polyuretanets värmekonduktivitet genom mätningar på enkelrör, med samma polyuretanrecept som för dubbelröret. Ett enkelrörs värmekonduktivitet bestäms med en värmestav enligt 'Guarded Hot Pipe (GHP)' SS-EN ISO 8497:1994.

För att utvärdera hybridisolerings inverkan på en dubbelrörskonfiguration är det av intresse att utveckla en metod för att mäta polyuretanisolerings värmekonduktivitet direkt för dubbelrör. En sådan metod är under utveckling där en värmestav placeras i varje medierör. Provuppställningen för metoden visas i Figur 12.



Figur 12. Provuppställning för mätning på dubbelrör med två värmestavar.

Fyra olika provinställningar valdes ut för att finna den bästa möjliga provinställningen. Dessa provinställningar visas i Tabell 7 där en vertikal position innebär att de två medierören är positionerade bredvid varandra och en horisontell position innebär att tilldelningsröret är placerat under returröret så som dubbelrör normalt är orienterade i fält.

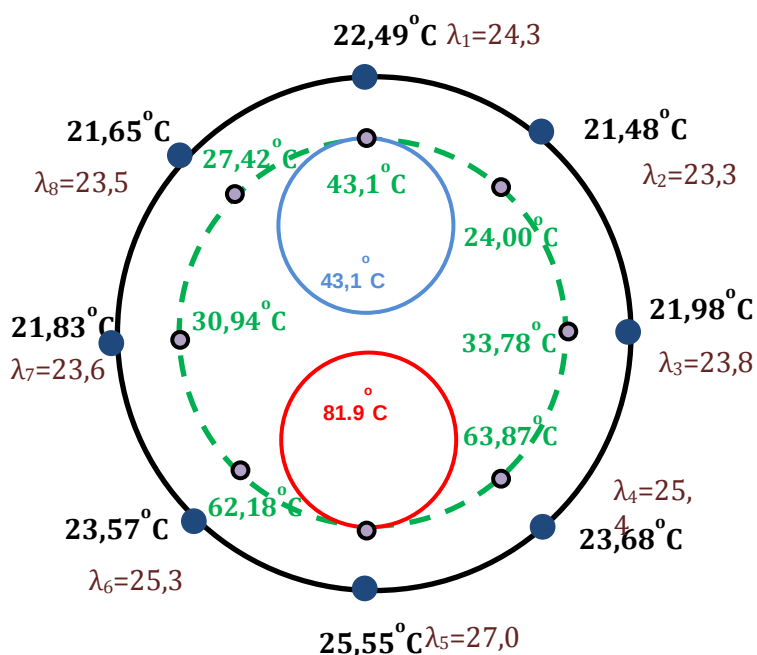
Tabell 7 Provinställningar med två värmestavar

Provinställning	Position	Temperatur i tilldelningsrör	Temperatur i returrör
1	Vertikal	80	80
2	Vertikal	80	40
3	Horisontell	80	80
4	Horisontell	80	40

Temperaturen på mantelytan, i returröret och i tilldelningsröret mättes med 24 termoelementer i fyra sektioner längs röret.

En förenkelade teoretisk modell genererades för att kunna bestämma värmekonduktiviteten hos röret med hjälp av temperaturmätningar och den tillförda effekten i värmestavar.

De uppmätta temperaturerna från provinställning 2 visas i Figur 13. Den streckade cirkel är en imaginär sektion. Temperaturen (T_{in}) i denna sektion är beräknad med hjälp av den förenklade teoretiska modellen. Den beräknade värmekonduktiviteten överensstämmer med polyuretanets värmekonduktivitet vid olika temperaturer.



Figur 13 Temperaturer på mantelyta och retur och tilldelningsrör samt beräknade temperaturer (T_{in}), streckade linje, och värmekonduktivitet i varje sektion.

Mätmetoden och tillhörande teoretiska modellen är inte färdigutvecklade. Vidare mätningar och beräkningar behövs för att kunna använda metoden för bestämning av värmekonduktivitet för en dubbelrör. Mer detaljerade information om mätningar och beräkningar presenteras i Bilaga 1.

4 SLUTSATSER

Fältmätningar i detta projekt är av stort intresse. Resultaten från fältmätningar med hybrid isolerade DN2*80/250 bekräftar resultaten från laboratiemätningar, att vakuumisoleringspaneler reducerar värmeförlusterna från fjärrvärmerören med runt 20 %.

Jämförelsen mellan fältmätningar och de teoretiska beräkningarna visar att de teoretiska beräkningarna kan ge en god bild av de faktiska förhållandena i rören. Det är dock många okända faktorer som måste uppskattas vilka spelar stor roll för de beräknade temperaturen. Bäst överenskommelse mellan resultaten fram fältmätningar och beräkningar uppnådes där vakuumisoleringspanelerna gavs en värmekonduktivitet på $7 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ i ett snitt utan inverkan av köldbryggor vilket överstämde med resultaten från laboratiemätningar men är betydligt högre än i produktspecifikationen.

Nya mätningar av den effektiva värmekonduktiviteten i lager av vakuumisolerings-paneler har uppmätts. Resultaten har stora variationer. Dessa variationer beror troligtvis på svårigheten att såga till provkroppar utan att skada vakuumpanelerna och luftspalter vid vakuumisoleringen med två paneler. Vakuumisoleringspanelerna visar tendenser till att kunna röra på sig under produktionen, relativt mantelröret, vilket gör det svårt att veta deras exakta placering vid sågning.

En alternativ uppsättning har utvecklats för att kunna bestämma värmekonduktiviteten hos hybridisolerade dubbelrör genom att använda två värmestavar. De första resultaten ser lovande ut. Mätmetoden och tillhörande teoretiska modellen är inte färdigutvecklad. Vidare mätningar och beräkningar behövs för att kunna använda metoden.

Baserad på information från tillverkaren ligger vakuumpanelernas operativa temperatur runt 90°C och livslängden vid denna temperaturnivå reduceras till 50 år eller kortare. Efter ett års fältmätningar visar resultaten fortfarande ingen synlig försämring av vakuumpanelernas prestanda. Vakuumpanelerna har fortfarande en lägre temperatur på utsidan än motsvarande position i ett rör med bara polyuretan.

Vid höga temperaturer, 70°C , i laboratorium, efter cirka 320 dagar och dubbelsidig temperaturexponering, syns tecken på att höga temperaturer kommer att påverka vakuumpanelens livslängd. Trycket i panelerna har ökat med 1- 2 mbar under mät-tiden. En enkel linjär beräkning visar att panelerna efter cirka 50 år kommer att ha ett innertryck som motsvarar 100 mbar. Vid denna trycknivå har vakuumpanelerna en värmekonduktivitet av storleksordning $10\text{-}12 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

5 VIDARE FORSKNING

Vakuumisoleringspanelernas prestanda sjunker kontinuerligt under livslängden, på grund av diffusionen av luft in i vakuumpanelen. Storleken på denna försämring är av stor betydelse att undersöka, i synnerhet då högre temperaturer skyndar på diffusionsförloppet. Det är ännu oklart i vilken grad diffusionen sker genom den skyddande folien jämfört med diffusionen genom den svetsade folieplasten (skarvar). Detta påverkar diffusionens förväntade storlek vid höga temperaturer (110-120°C). Hur fjärrvärmerörens prestanda förändras vid tryckförändringar i panelen måste också utvärderas.

Livslängden hos vakuumpaneler kan bestämmas i laboratorium med accelererade tester. Ett testresultat från ett parallellt projekt om fjärrvärmerör visar att det är möjligt att genomföra accelererade tester.

Pågående fältmätningar skall fortsätta. Resultaten från fältmätningar är i särklass det bästa möjliga hjälpmedlet för att bestämma livslängden på panelerna. Vissa energiverk har visat intresse för att hjälpa till med initiering av ännu flera mätstationer.

Teoretiska studier skall fortsättas för att kunna vidareutveckla teoretiska modeller för bedömning av vakuumisoleringspanelernas livslängd.

Kanteffektens betydelse och hur man skulle kunna minimera denna bör undersökas grundligt. Mätningar har visat att den genomsnittliga värmekonduktiviteten på en panel kan öka från fabrikantens uppgifter på 4 mW/(m·K) till 11 mW/(m·K).

I nuläget finns inte vakuumisoleringspaneler som är specialanpassade till fjärrvärmerör. Prestandan hos panelerna skall eventuellt kunna förbättras genom att anpassa panelerna till fjärrvärmerör redan i produktionen.

Metoden för att mäta värmekonduktiviteten hos dubbelrör kommer att fortsätta utvecklas. Metoden kommer sedan att kunna användas för att utvärdera inverkan av hybridisolering i dubbelrör direkt i laboratoriet.

6 REFERENSER

Adl-Zarrabi, B. & Berge A. (2012). *Högpresterande fjärrvärmerör*, Rapport 2012:16, Fjärrsyn.

SS-EN 15698-1 (2009). *Fjärrvärmesystem - Förisolerade rörsystem med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör för direkt markförlagd distribution av hetvatten - Del 1: Rörenhet bestående av två raka medierör av stål, värmeisolering av hård uretancellplast (PUR-skum) och mantelrör av etenplast*. SIS -Swedish Standards Institute

SS-EN ISO 8497:1994 (1994) *Värmeisolering - Bestämning av termiska egenskaper hos rörisolering under stationära förhållanden*. SIS -Swedish Standards Institute

BILAGA 1 – METOD DEVELOPMENT

1. The experimental setup

The setup for measuring the temperature distribution over the casing of the heating pipe and inside the steel pipes is shown in Figure 1. The heating pipe is a twin pipe; one supply (represented by red colour in this report) and one return (represented by blue colour in this report). A heat rod is placed in each of the supply and return pipes to simulate the fluid which is carrying energy in the pipes. It is possible to set the electrical current in the heat rods to get a constant heat power. Thermocouples are placed over the casing and inside the steel pipes to measure temperature at different points, which are shown in figures 3-5. There are 16 thermocouples over the casing and 4 in each steel pipe. Temperature of the heat rods and the ambient air are also measured by thermocouples. All the data are collected by two software programs. Programs and thermocouples were calibrated before running the experiment to make sure about the accuracy of the collected data.



Figure 1. The experimental setup for measuring the temperature profile of the twin district heating pipe.

1.1 Geometrical characteristics of the twin pipe

The geometrical characteristics of the twin heating pipe which was used in the experiment are shown in Figure 2.

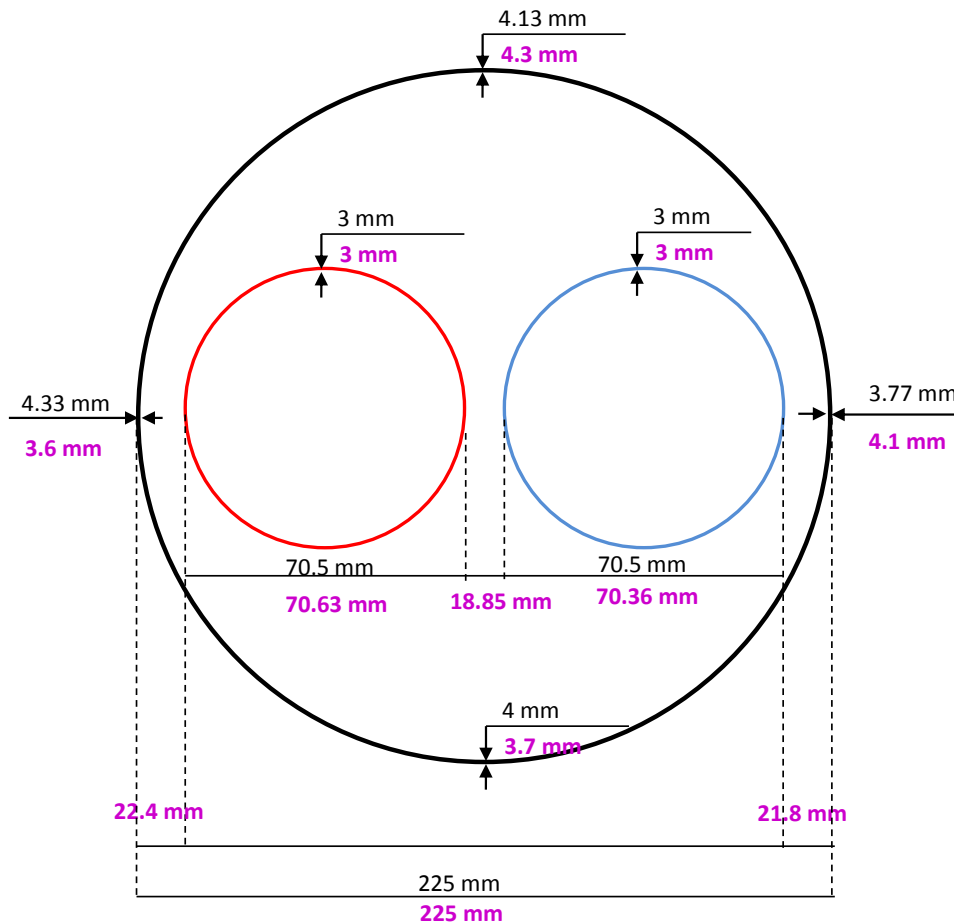


Figure 2. Geometrical characteristics of the twin district heating pipe which was used in the experiment. Purple colour corresponds to the other side of the pipe which is closer to the electrical cables.

1.2 Installing thermocouples

Thermocouples (or the heat probes) were installed inside the steel pipes and over the casing to measure temperature at different points of the whole setup. Thermocouples were connected to a device which transferring data to computers for monitoring and collecting the data. Each thermocouple has a number which enables to track the data afterwards.

1.2.1 Position of the thermocouples inside the steel pipes

Figure 3 shows the position of the thermocouples which were installed inside the steel pipes. The red pipe represents the supply flow and the older heat rod is placed in it.

The **blue** pipe represents the return flow. Figure 3 shows the horizontal position of the twin heat pipe.

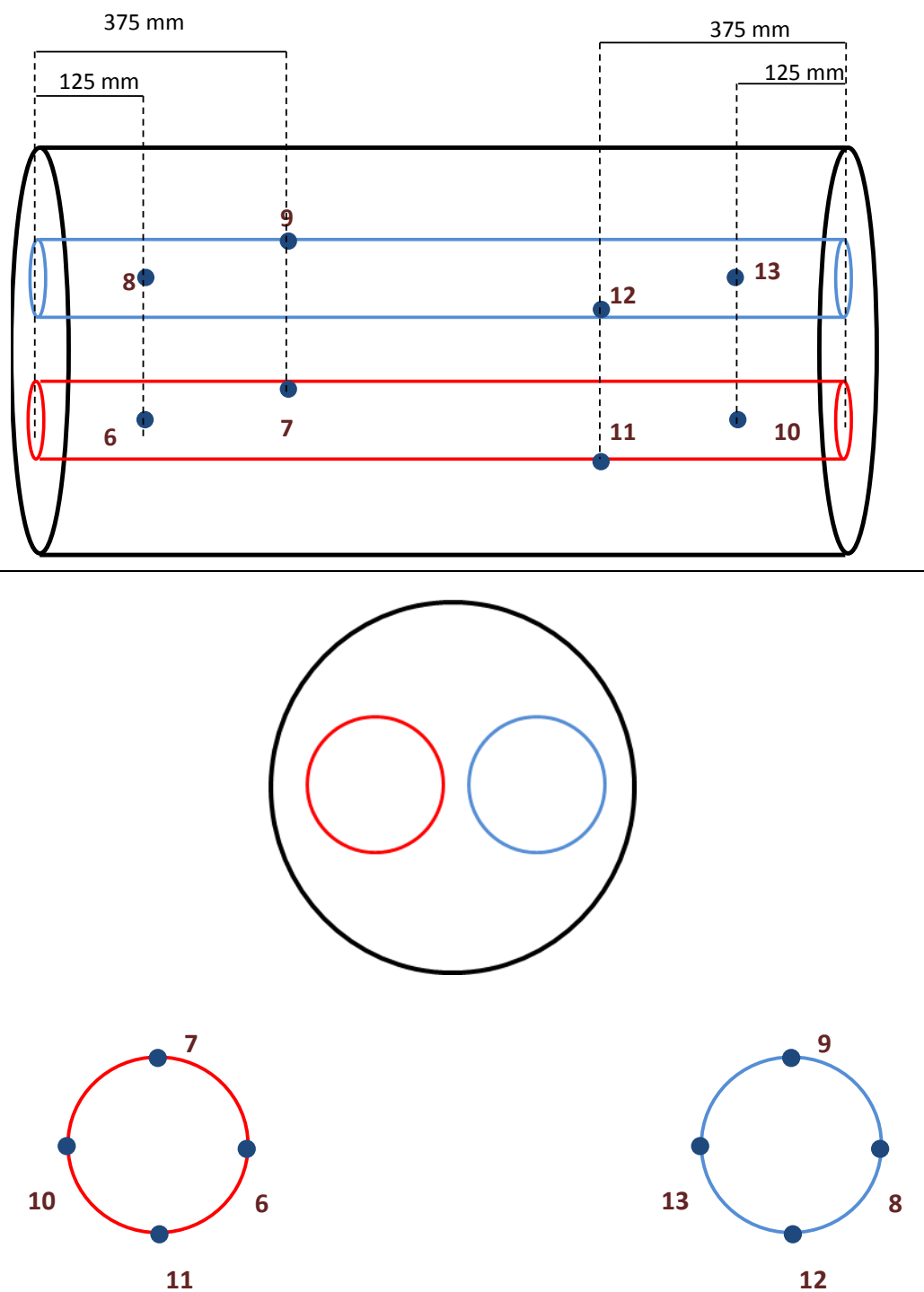
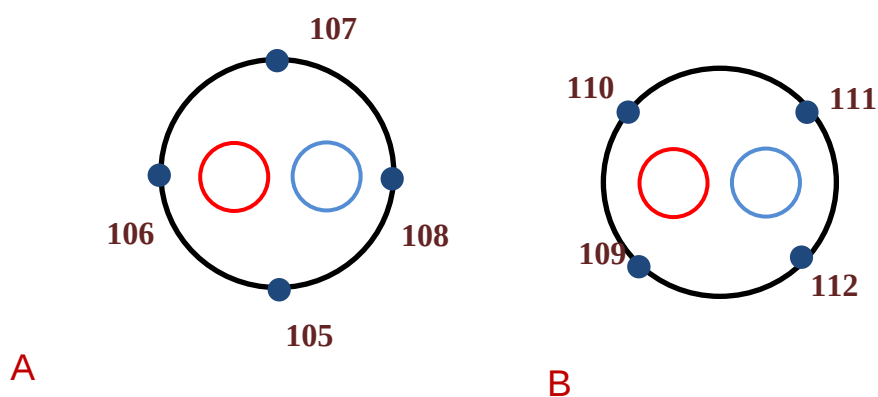
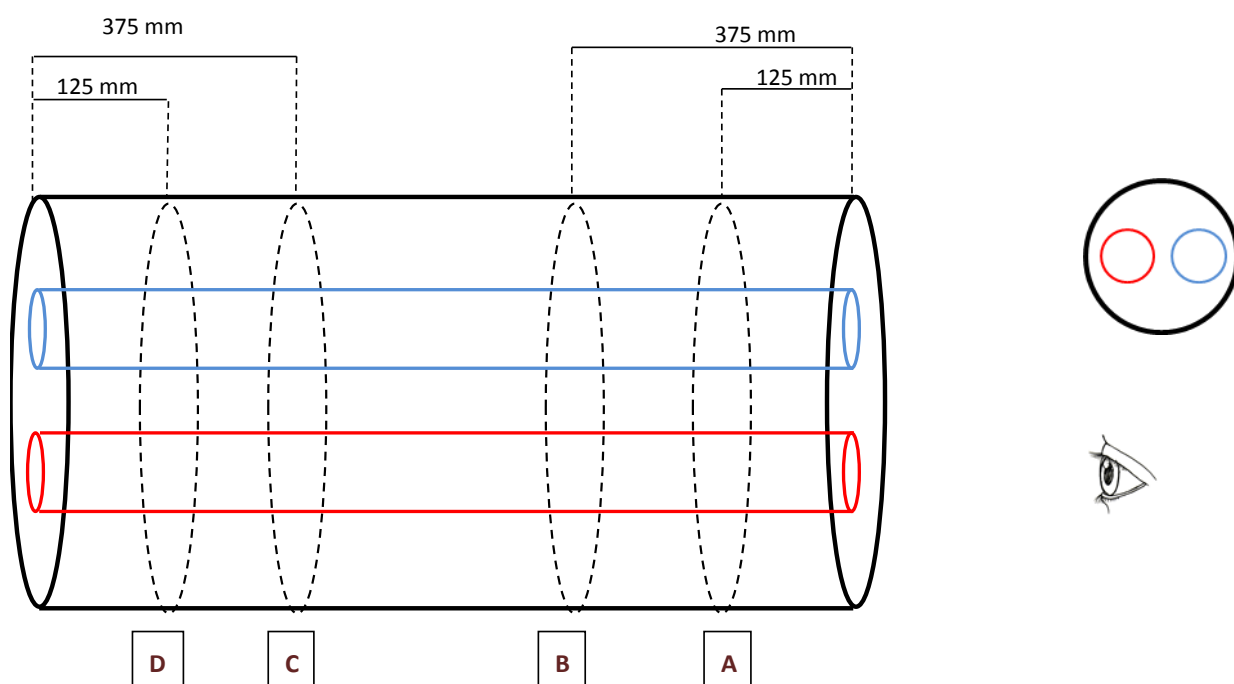


Figure 3. Position of thermocouples inside the steel pipes. The red pipe (on the left)

represents the supply pipe which contains the older heat rod and the blue pipe (on the right) represents the return pipe which contains the newer heat rod. This figure shows the horizontal position of the twin heat pipe.

1.2.2 Position of the thermocouples on the casing pipe – horizontal position of the twin pipe



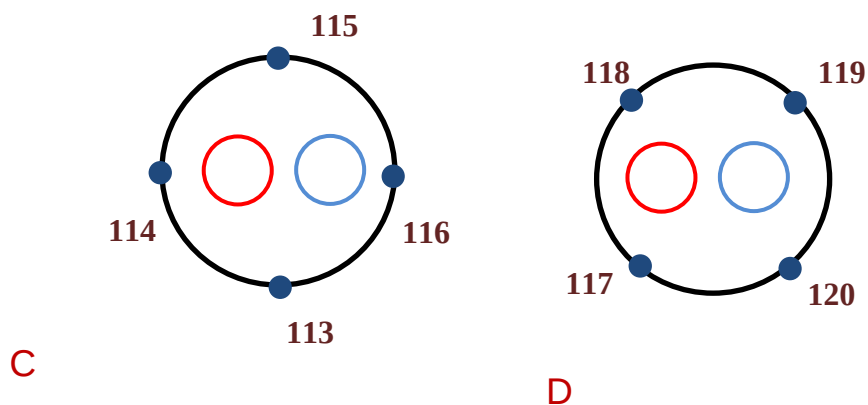
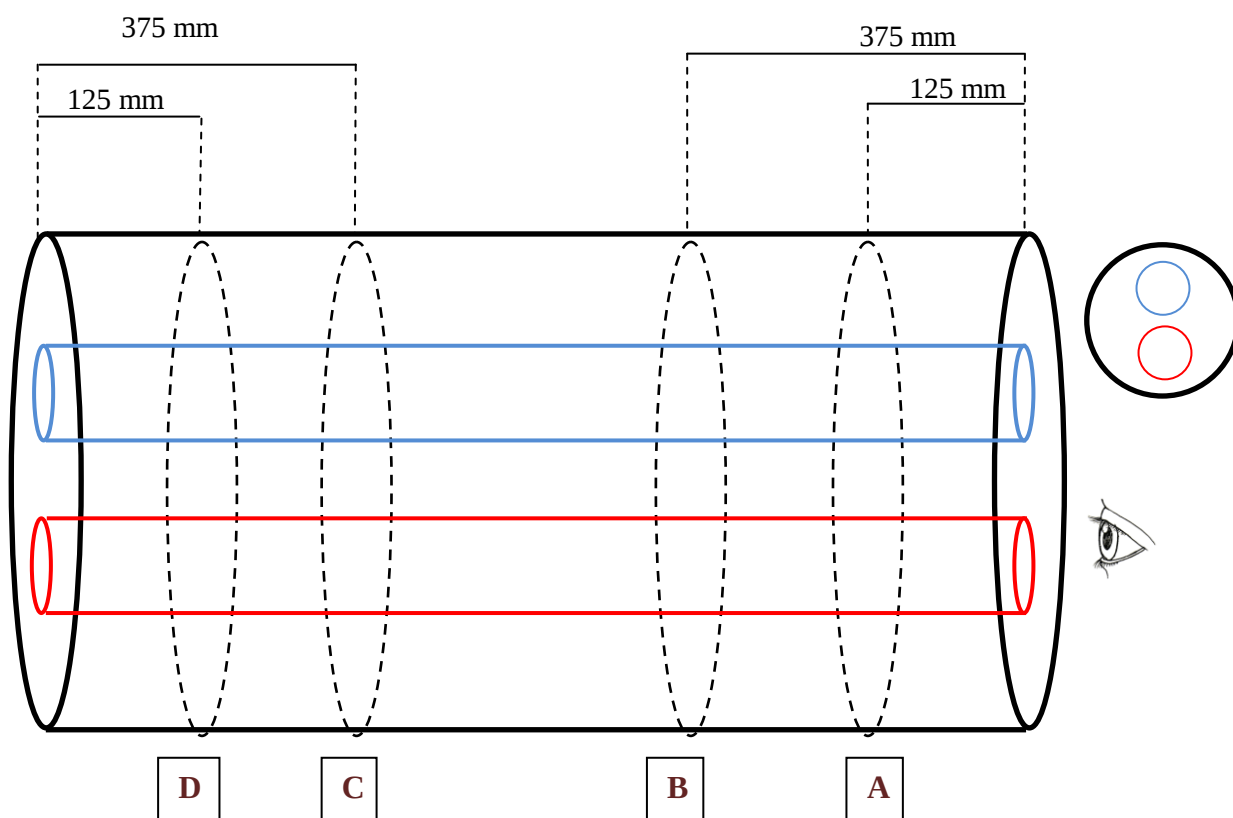


Figure 4. Position of thermocouples over the casing for the horizontal position of the twin heat pipe. The red pipe (on the left) represents the supply pipe which contains the older heat rod and the blue pipe (on the right) represents the return pipe which contains the newer heat rod.

1.2.3 Position of the thermocouples on the casing pipe – vertical position of the twin pipe



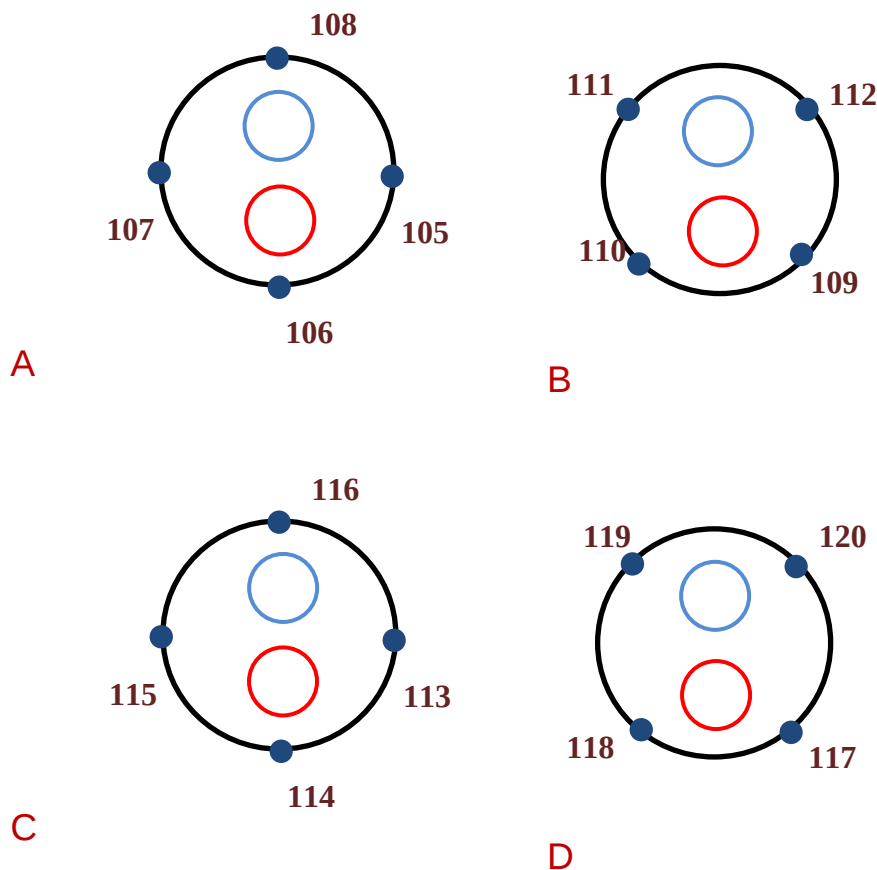


Figure 5. Position of thermocouples over the casing for the vertical position of the twin heat pipe. The red pipe (on the left) represents the supply pipe which contains the older heat rod and the blue pipe (on the right) represents the return pipe which contains the newer heat rod.

2. Performing the experiment

Experiments were done in different steps, which four of them are presented in this report:

1. Horizontal – Supply flow of 78°C – Return flow of 78°C
2. Vertical – Supply flow of 78°C – Return flow of 78°C
3. Vertical – Supply flow of 70°C – Return flow of 50°C
4. Vertical – Supply flow of 80°C – Return flow of 40°C

Measurements were performed for two positions of the twin heat pipe; horizontal (see Figure 4) and vertical (see Figure 5). The aim was investigating the effects of rotating the twin pipe on the temperature distribution over the casing as the consequence of changes in the convective heat flow pattern around the casing. All the heat from the twin pipe transfers to the ambient air through free convective heat transfer. In the free

convective heat transfer the flow pattern of the fluid is very affected by the temperature pattern and change in the distribution can affect the heat transfer.

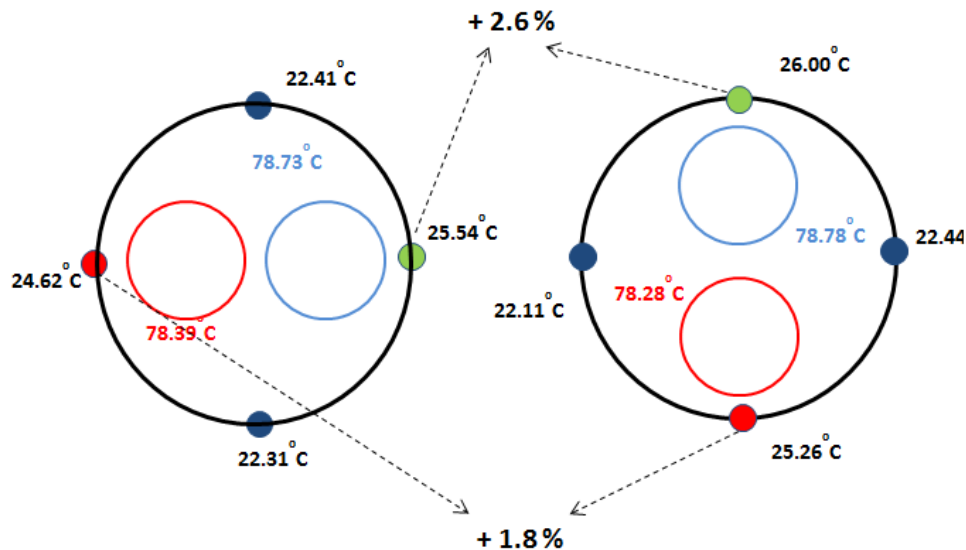


Figure 6. Differences in the temperature distribution over the casing caused rotating the twin heat pipe.

Based on the measurements the maximum difference caused by rotating the cylinder is for the green point in Figure 6. Its temperature increases for 2.6% when the twin pipe turns to the vertical position.

Since the actual position of the twin pipe is vertical, most of the measurements were performed for this position of the twin pipe.

3. Results of the measurements

In the following results of the measurements are presented using schematic figures for the four cases which were mentioned earlier. Temperatures of the steel pipes are the mean values of the four measured points in each pipe. Temperatures over the casing are mean values of the two measured points at each angle.

3.1 Horizontal – Supply flow of 78°C – Return flow of 78°C

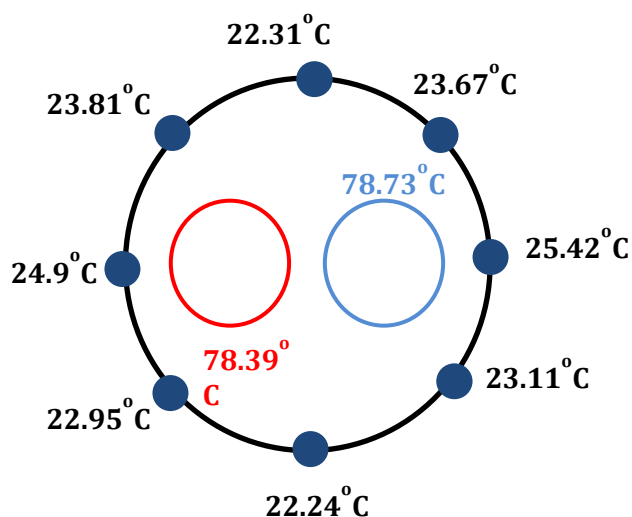


Figure 7. Temperature distribution over the casing in its horizontal position with the supply flow of 78°C and the return flow of 78°C.

3.2 Vertical – Supply flow of 78°C – Return flow of 78°C

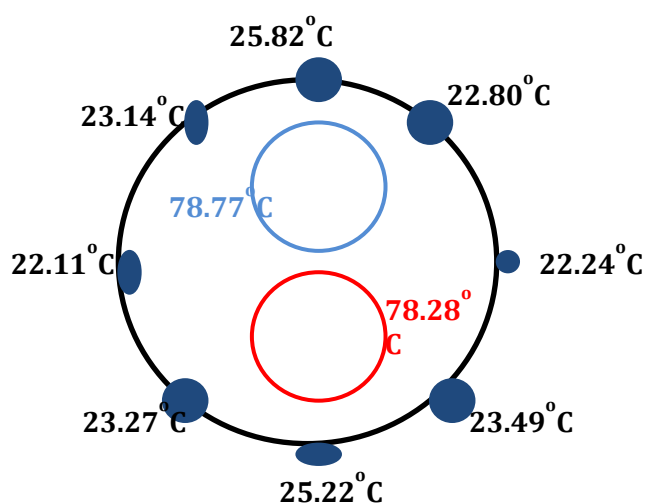


Figure 8. Temperature distribution over the casing in its vertical position with the supply flow of 78°C and the return flow of 78°C.

3.3 Vertical – Supply flow of 70°C – Return flow of 50°C

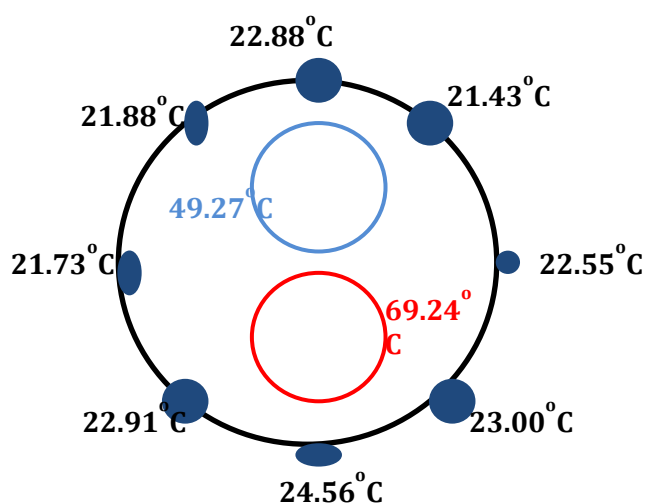


Figure 9. Temperature distribution over the casing in its vertical position with the supply flow of 70°C and the return flow of 50°C.

3.4 Vertical – Supply flow of 80°C – Return flow of 40°C

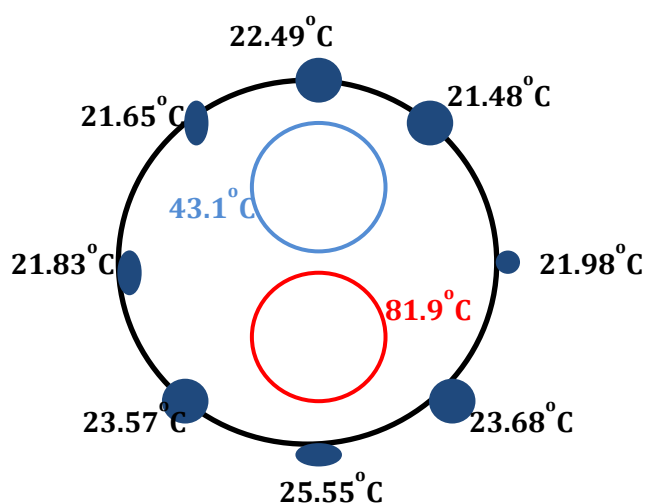


Figure 10. Temperature distribution over the casing in its vertical position with the supply flow of 80°C and the return flow of 40°C.

4. Method for calculating the thermal conductivity

A simple method was developed to estimate the conductivity of the insulation based on the performance of the whole setup:

Imagine a circle tangent to one the steel pipes. Both the steel pipes are inscribed inside the imaginary circle as it is marked by dashed green line in Figure 11. The amount of heat which passes through the imaginary green circle is equal to the heat which transfers to the surrounding air through the casing. Assuming an infinite narrow section, as it is marked in Figure 11, the amount of conductive heat transfer from the imaginary circle, the green point in Figure 11, is equal to the amount of convective heat transfer from the blue point on the casing to the air.

$$\lambda_{\text{insulation}} \frac{T_{\text{inner}} - T_{\text{casing}}}{R_{\text{casing}} - R_{\text{inner}}} = h_{\text{air}} (T_{\text{casing}} - T_{\text{air}}) \quad (1)$$

$\lambda_{\text{insulation}}$ is the thermal conductivity of the insulation [W/m/K], T_{inner} is the temperature on the imaginary circle at the considered point [K], T_{casing} is the temperature on the casing at the considered point, h_{air} is the convective heat transfer coefficient of air [W/m²/K], R_{casing} is the radius of the casing, R_{inner} is the radius of the imaginary inner circle and T_{air} is the temperature of the surrounding air.

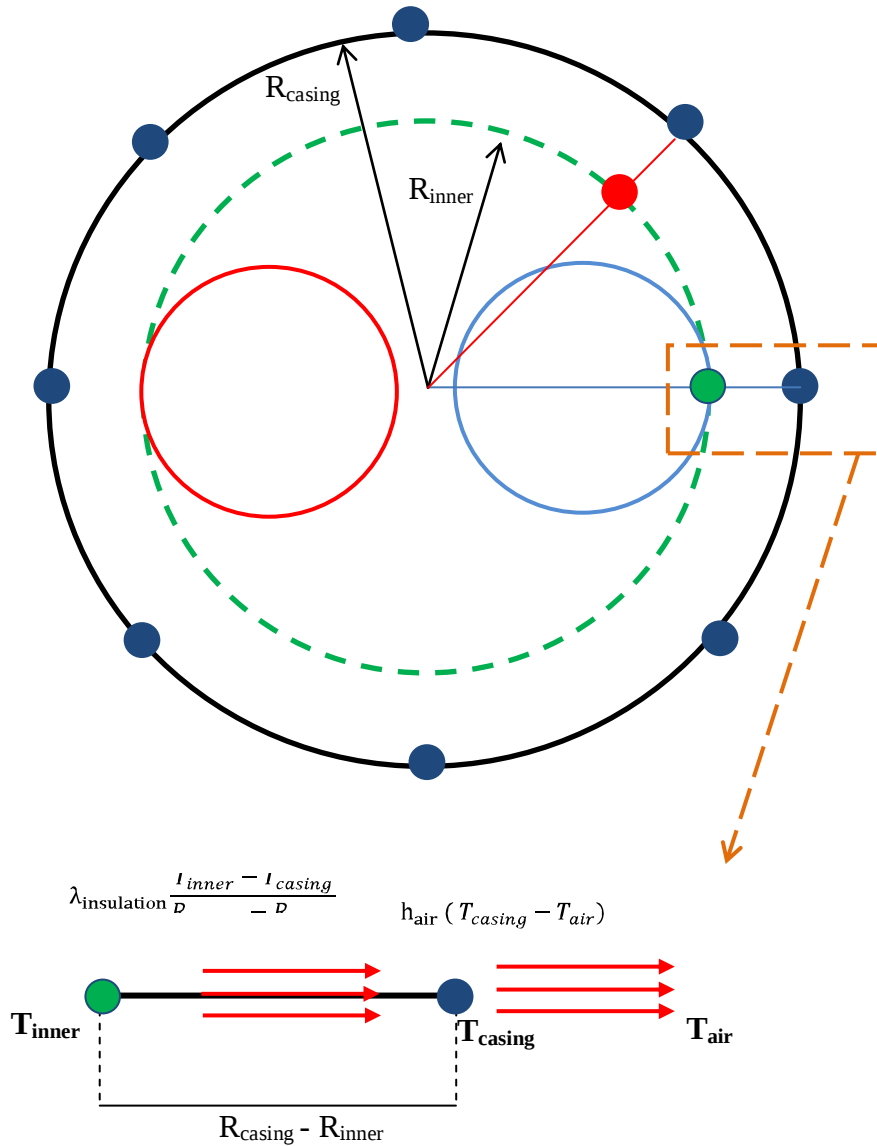


Figure 11. Temperature distribution over the casing in its vertical position with the supply flow of 80°C and the return flow of 40°C.

T_{casing} is known for the 8 measured points on the casing. T_{inner} is known only for the point on the steel pipe, the green point in Figure 11. Since the geometry is not perfect the imaginary circle is not tangent to the other steel pipe. Therefore that temperature is not assumed known and will be calculated. Aim is finding the temperature distribution over the imaginary circle based on relation (1). Three parameters are unknown in that relation; $\lambda_{insulation}$, T_{inner} and h_{air} . The thermal conductivity of the insulation can be defined as a function of temperature:

$$\lambda_{insulation} = 26 + 0.1(T - 50) \quad (2)$$

Unit for the conductivity in this relation is [mW/m/K].

Calculations of h_{air} were done in two ways:

1. By knowing T_{inner} for the green point and using relation (2), h_{air} is calculated for that section of the casing. Afterwards the same h_{air} is used for all the other points around the casing.
2. The amount of heat which is generated inside the twin pipe is known. All the heat transfers to the surrounding air:

$$Q = h_{air} A_{casing} (T_{casing} - T_{air}) \quad (3)$$

T_{casing} is the average temperature of the measured points over the casing, A_{casing} is the surface area of the casing for a unit length. Using relation (3) it is possible to find an average h_{air} which can be used in the calculations.

Using the mentioned relations and assumptions T_{inner} is calculated for the 8 points corresponding to the 8 measured points on the casing. Having this temperature distribution for the insulation inside the casing helps to calculate the heat conductivity at 8 points based on relation (2). The temperature which is used at each section in relation (2) is the average temperature of the casing and the imaginary circle:

$$T_{insulation,i} = (T_{inner,i} + T_{casing,i})/2 \quad (4)$$

$i=1, 2, \dots, 8$

5. The calculated thermal conductivity

Based on the measured and calculated temperature profiles, which were discussed in the previous sections, distributions for the thermal conductivity of the insulation are and presented in the following. An average thermal conductivity is calculated as the mean value of the thermal conductivities at 8 points. This thermal conductivity can be interpreted as the total conductivity of the whole setup since it is based on the calculation of the amount of heat flow from the twin district heating pipe to the surrounding air.

In the following figure show the distribution of temperatures and thermal conductivities. Tables compare the calculated thermal conductivities which were calculated based on the two methods for calculating h_{air} .

5.1 Horizontal – Supply flow of 78°C – Return flow of 78°C

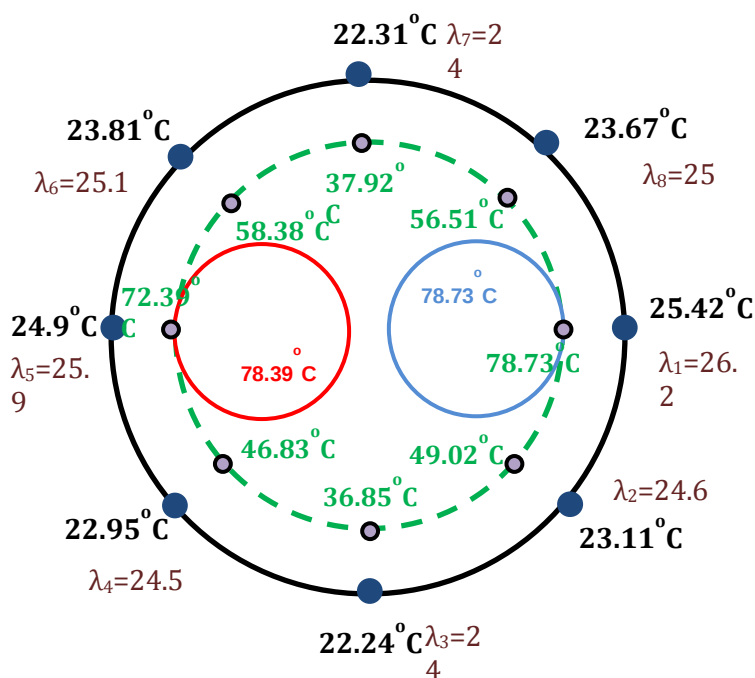


Figure 12. Temperature distribution over the casing and the imaginary circle (dashed green line). The calculated heat conductivity is shown at each section in mW/m/K.

	Temperature			$\lambda_{\text{isulation (or } \lambda_{\text{setup)}} \text{ [mW/m/K]}$	
	T_{casing}	T_{inner}	T_{mean}	h_{air} was calculated at point 1	h_{air} was calculated as a mean
1	25.42	78.73	52.08	26.2	25.8
2	23.11	49.02	36.07	24.6	24.4
3	22.24	36.85	29.55	24.0	23.8
4	22.95	46.83	34.89	24.5	24.3
5	24.90	72.39	48.65	25.9	25.5
6	23.81	58.38	41.10	25.1	24.8
7	22.31	37.92	30.12	24.0	23.9
8	23.67	56.51	40.09	25.0	24.8
Mean			39.07	24.9	24.7

Table 1. The calculated thermal conductivities for the twin district heating pipe at 8 points and the average value. Values are compared for the two methods of calculating the convective heat transfer coefficient of air.

5.2 Vertical – Supply flow of 78°C – Return flow of 78°C

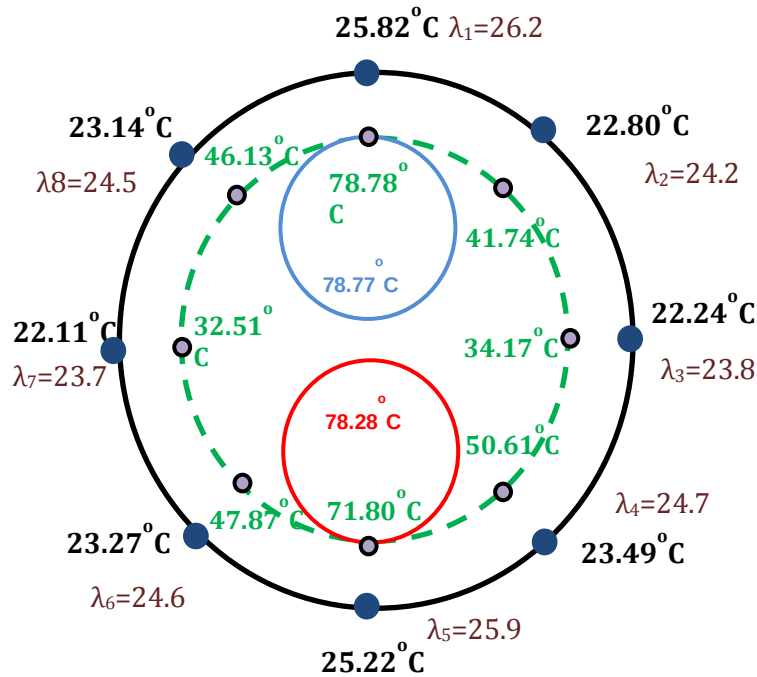


Figure 13. Temperature distribution over the casing and the imaginary circle (dashed green line). The calculated heat conductivity is shown at each section in mW/m/K.

	Temperature			$\lambda_{\text{isulation (or } \lambda_{\text{setup)}} [\text{mW/m/K}]$	
	T _{casing}	T _{inner}	T _{mean}	h_{air} was calculated at point 1	h_{air} was calculated as a mean
1	25.82	78.78	52.30	26.2	26.1
2	22.80	41.74	32.27	24.2	24.2
3	22.24	34.17	28.21	23.8	23.8
4	23.49	50.61	37.05	24.7	24.7
5	25.22	71.80	48.51	25.9	25.8
6	23.27	47.87	35.57	24.6	24.5
7	22.11	32.51	27.31	23.7	23.7
8	23.14	46.13	34.64	24.5	24.4
Mean			36.98	24.7	24.7

Table 2. The calculated thermal conductivities for the twin district heating pipe at 8 points and the average value. Values are compared for the two methods of calculating the convective heat transfer coefficient of air.

5.3 Vertical – Supply flow of 70°C – Return flow of 50°C

Temperature of the imaginary inner circle which is found from solving the equations is overestimated; higher than the red pipe temperature. Results were checked for calculating the temperature profile using the red pipe temperature as the reference temperature; differences were negligible.

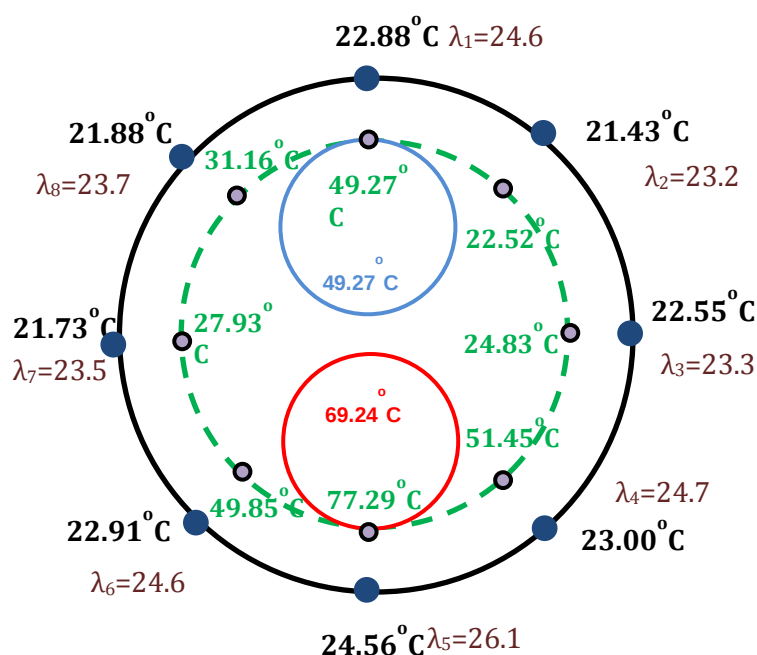


Figure 14. Temperature distribution over the casing and the imaginary circle (dashed green line). The calculated heat conductivity is shown at each section in mW/m/K.

	Temperature			$\lambda_{\text{isulation (or } \lambda_{\text{setup)}} \text{ [mW/m/K]}$	
	T_{casing}	T_{inner}	T_{mean}	h_{air} was calculated at point 1	h_{air} was calculated as a mean
1	22.88	49.27	36.08	24.6	24.4
2	21.43	22.52	21.98	23.2	23.2
3	22.55	24.83	23.69	23.3	23.3
4	23.00	51.54	37.27	24.7	24.5
5	24.56	77.29	50.93	26.1	25.7
6	22.91	49.85	36.38	24.6	24.4
7	21.73	27.93	24.83	23.5	23.4
8	21.88	31.16	26.52	23.7	23.6
Mean			32.21	24.2	24.1

Table 3. The calculated thermal conductivities for the twin district heating pipe at 8 points and the average value. Values are compared for the two methods of calculating the convective heat transfer coefficient of air.

5.4 Vertical – Supply flow of 80°C – Return flow of 40°C

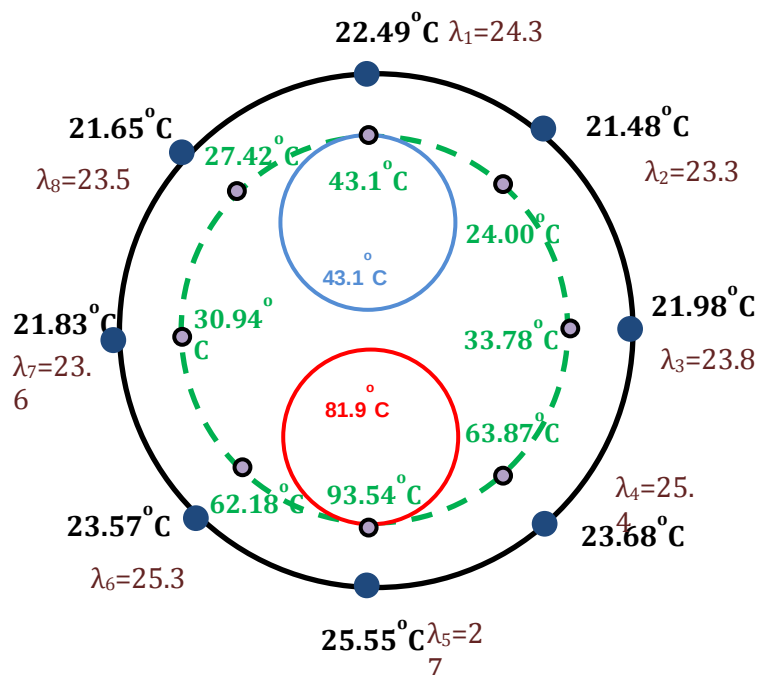


Figure 15. Temperature distribution over the casing and the imaginary circle (dashed green line). The calculated heat conductivity is shown at each section in mW/m/K.

	Temperature			$\lambda_{\text{isulation (or } \lambda_{\text{setup)}} \text{ [mW/m/K]}$	
	T_{casing}	T_{inner}	T_{mean}	h_{air} was calculated at point 1	h_{air} was calculated as a mean
1	22.49	43.10	32.79	24.3	24.0
2	21.48	24.00	22.74	23.3	23.2
3	21.98	33.78	27.88	23.8	23.6
4	23.68	63.87	43.78	25.4	24.8
5	25.55	93.54	59.55	27.0	26.1
6	23.57	62.18	42.88	25.3	24.8
7	21.83	30.94	26.39	23.6	23.5
8	21.65	27.42	24.54	23.5	23.4
Mean			35.07	24.5	24.2

Table 4. The calculated thermal conductivities for the twin district heating pipe at 8 points and the average value. Values are compared for the two methods of calculating the convective heat transfer coefficient of air.

6. Remarks

Based on the results, the two methods for calculating of the convective heat transfer coefficient of air does not affect the calculated thermal conductivity of the setup considerably. However calculating hair using more accurate techniques may result in better accuracy in the calculation.

The proposed method for calculating the thermal conductivity of the twin district heating pipe is simple and quick. Moreover it is not very dependent on the geometry inside the casing, for example it might be possible to use the same technique for estimating the conductivity of a twin pipe with vacuum insulation panels inside.

HYBRIDISOLERADE FJÄRRVÄRMERÖR

För att fjärrvärme ska vara konkurrenskraftigt också i framtiden måste distributionen effektiviseras. Ett sätt är att förbättra fjärrvärmerörens isoleringsförmåga. Här beskrivs och testas ett lovande alternativ som går ut på att använda hybridisolering till fjärrvärmerör. Det betyder att man har kombinerat polyuretan med ett annat isolerande material och jämfört fältmätningar med teoretiska beräkningar.

Resultaten efter ett års mätningar visar ingen synlig försämring av vakuumpanelernas presentanda och panelerna har en lägre temperatur på utsidan än ett rör med bara polyuretan, vilket innebär mindre energiförluster.

Fjärrvärmerör med vakuumpaneler kan bli en intressant isolermetod men det krävs mer forskning och utveckling kring materialet, men också att panelerna anpassas till fjärrvärmerör redan i produktionen för att prestandan ska kunna öka ytterligare.