

Fastlæggelse af varmeledningsevne og varmetab for fleksible twinrør

Et netop afsluttet projekt, støttet af Dansk Fjernvarmes F&U-Konto, handler om fleksible twinrør. Projektet viser, at der kan ske en betydelig varmeoverførsel fra fremløb til returløb.



F&U-PROJEKT

Af civilingeniør Niels Winther,
Teknologisk Institut

Projektets baggrund og formål

Fleksible præisolerede fjernvarmerør til stikledninger har inden for en årrække overtaget de lige rørs rolle.

De fleksible præisolerede fjernvarmerør bliver ofte lagt parvis, men i twinrør, der i dag oftere og oftere vælges for at reducere varmetabet, er der et rørpar i samme kapperør.

For valg af både enkeltrør og twinrør gælder, at det er vigtigt at kende rørens isoleringsevne og dermed varmetab ved forskellige forudsætninger.

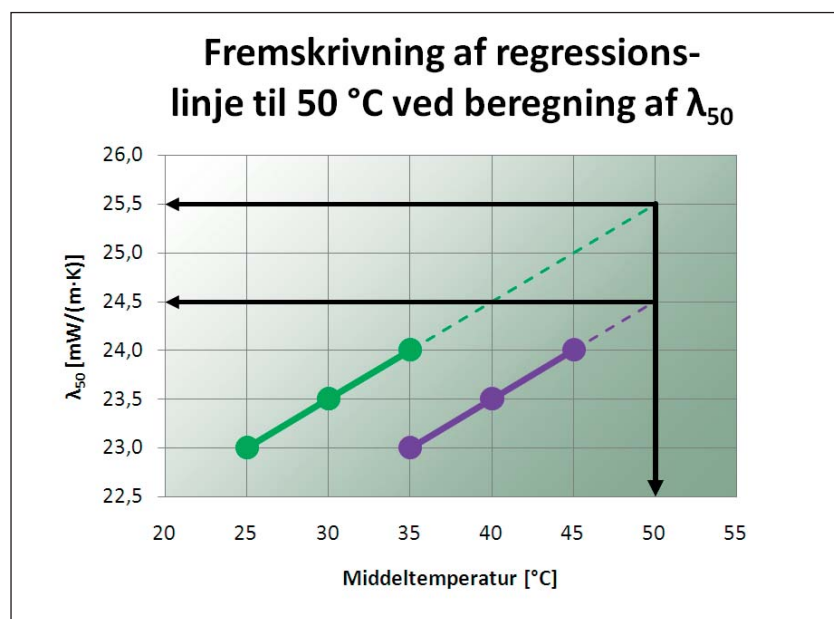
Fastlæggelse af varmetab og isoleringsevne, dvs. varmetransmissionskoefficient (U-værdi) og varmekonduktivitet (λ -værdi), er relativ simpel for enkeltrør, hvor geometrien består af koncentriske cirkler.

Her findes færdige beregningsformler i ståbi, normer og standarder, der er baseret på J. B. J. Fouriers (1768-1830) varmeteorem fra 1824 integreret over arealet.

Det betyder, at man ved måling af varmetabet ved en prøvning efterfølgende let kan beregne rørets og skummets isoleringsevne.

Ved twinrør er det noget mere kompliceret at fastlægge isoleringsevnen, og man må ty til forskellige tilnærmelser i forbindelse med beregningerne.

Formålet med nærværende projekt har været at fastlægge isoleringsevnen for konkrete, prøvede twinrør samt at sammenligne forskellige



Eksempel på fremskrivning af lineær regressionslinje mellem målte værdier for λ til 50 °C for beregning af λ_{50} .

beregningsmetoder, herunder anvisninger i rørstandarder.

Forudsætninger og gennemførelse

Ved prøvningerne er taget afsæt i Teknologisk Instituts prøvestand for fleksible prærør, der blev udviklet som et F&U-projekt i 2006 gennem Dansk Fjernvarme.

Et materiales varmekonduktivitet er i større eller mindre grad afhængig af temperaturen. For byggematerialer angives værdien ved en middeltemperatur på 10 °C (λ_{10}) og for præisolerede fjernvarmerør angives den grundet fjernvarmerørens temperaturforhold som λ_{50} , dvs. isoleringsevnen ved en middeltemperatur på 50 °C jf. EN 253.

I twinrør er geometrien kompleks, og en direkte eksakt beregning af isoleringsevne ud fra målt varmetab eller varmetab ud fra kendt isoleringsevne lader sig ikke udføre.

Ved at anvende Finite Element Method (FEM) kan varmekonduktiviteten fastlægges ud fra en iterativ simulering, hvor grænseværdierne herfor er opnået gennem en laboratorieprøvning. FEM er ud over anvendelsen inden for varmeledning og termodynamik tillige udbredt ved styrkeberegning, magnetisme, fluidmekanik, geohydrologi m.m.

Simuleringen med FEM blev udført af civilingeniør Christian Drivsholm,

Teknologisk Institut med Comsol Multiphysics.

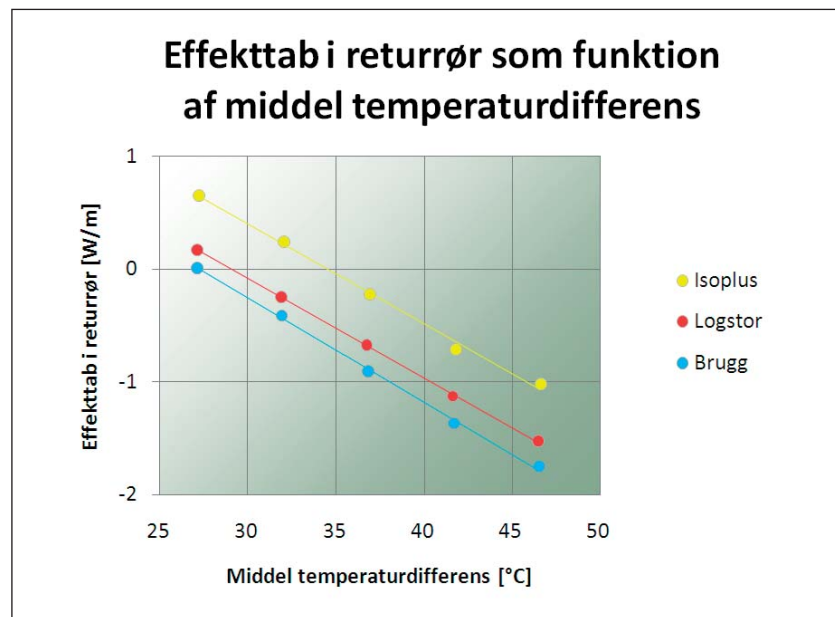
Til sammenligning er der udført dels simulering med Multipol, som er et beregningsværktøj baseret på iteration som ved FEM, men hvor der – som navnet antyder – regnes i et polært koordinatsystem, dels beregninger ud fra forskellige standarder (se senere). Multipolberegningerne er her foretaget i samarbejde med Lasse Elmelund Pedersen, LP Solutions.

Projektet har fastlagt U- og λ -værdier for tre forskellige twinrør ved 15 forskellige temperaturkombinationer.

Rørene har forinden været ældet i 13 uger ved 70° C jf. Dansk Fjernvarmes F&U-projekt 2007-02, hvorved de har opnået, hvad der svarer til en 30-års værdi. Rørene indgik tillige i Dansk Fjernvarmes prærørskontrol 2008.

I projektet er det endvidere undersøgt, hvorledes den interne effekt-overføring mellem frem- og returrør forholder sig ved forskellige driftssituationer.

Projektet er blevet gennemført på Teknologisk Institut med deltagelse af medarbejdere fra forskellige laboratorier: Laborant Nina Svensson, laboratorietekniker Flemming Gudbergsen, civilingeniør Otto Paulsen, civilinge-



Effekttab i returrør som funktion af middel temperaturdifferens.

niør Christian Drivsholm og med civilingeniør Niels Winther som projektleder.

De testede rør

De tre rør, som indgik i projektet, var alle fleksible præisolerede twinrør i dimensionen 2x20/110 mm af fabrikaterne Brugg, Isoplus og Logstor. Rørene fra Isoplus og Logstor havde diffusionsspærre af aluminium mellem kappe og isolering. Medierørene var alle af alupex.

Længden af rørene varierede fra 20,9 m til 26,9 m, men alle effekttab blev beregnet som W/m. Centerafstanden mellem medierørene var ca. 17% større på røret fra Isoplus end på røret fra Brugg.

De gennemførte prøvninger

Men udgangspunkt i Dansk Fjernvarmes Benchmarking Statistik 2007/2008 blev det besluttet, at projektet

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

skulle bestå i kombinationer af frem- og returtemperaturer med en minimumsdifferens på 30° C, hvilket svarer til mange værkers krav til mindste afkøling.

Højeste frem- og returtemperatur blev fastsat til hhv. 80° C og 50° C, og laveste frem- og returtemperatur fastsat til hhv. 60° C og 30° C. Med intervaller på 5° C giver det samlet 15 temperaturkombinationer.

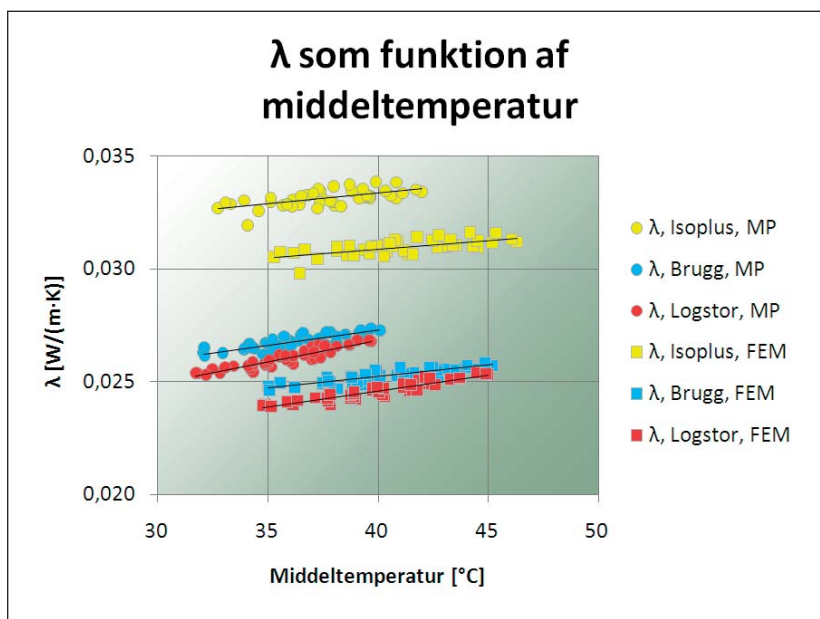
Hver måleperiode blev sat til at vare otte timer for at opnå steady-state, og hvert 30. sekund blev der målt rumtemperatur, rørkappetemperatur og vandets ind- og udgangstemperatur. Vandstrømmene blev fastlagt, så der var turbulent strømning i medierørene ved alle temperaturer.

Standardernes krav til fastlæggelse af isoleringsevne

For lige rør gælder som anført den europæiske standard EN 253. I februar 2009 udkom EN 15632-1, som omhandler klassifikation, generelle krav og prøvningsmetoder til fleksible præisolerede rørsystemer.

Normen anfører i annex A metoder til beregning af middeltemperatur, radial termisk resistans og termisk konduktivitet for rørsystemet. Herved ses twinrør som en hel konstruktion. Fastlæggelse af den termiske konduktivitet for isoleringen – λ_i - henvises i Annex B til EN 12667.

For lige twinrør fastlægges λ_i stadig i henhold til EN 253, men på basis af



λ som funktion af middeltemperatur i.h.t. EN 15632-1:2009 (FEM) og Multipol (MP).

et enkeltrør, hvortil der er anvendt samme skum som til fremstillingen af tilsvarende twinrør. Det er ikke logisk, at standarderne skelner mellem om et twinrør er lige eller fleksibelt.

Fastlæggelse af middeltemperatur på 50 °C

Når λ_{50} skal fastlægges, gøres det ud fra tre målepunkter med varmetab og fastlagt middeltemperatur, og der laves en lineær regression, som fremskrives til 50°C.

Fastlæggelse af middeltemperaturen ud fra frem-, retur- og rørkappetemperaturerne er ved enkeltrør ganske ukompliceret ud fra de målte størrelser, mens den ved twinrør er mere

kompleks, jævnfør de i indledningen beskrevne forhold, og må tilnærmes.

- EN 15632-1 angiver en metode, som giver relativt høje middeltemperaturer og dermed de laveste værdier for λ_{50} . Se formel 1.

- Teknologisk Institut tager afsæt i de beregnede temperaturer og arealer i elementerne og beregner middeltemperaturen, hvilket giver relativt lave middeltemperaturer og dermed højere værdier for λ_{50} ; til gengæld giver metoden stor linearitet når de samlede effekttab afbildes som funktion af middeltemperaturen. Se formel 2.

- En tredje metode til beregning af middeltemperatur er forholdet mellem temperaturen i et medie- eller kapperør ganget med rørets yderdiameter og summen af medie- og kapperørens diametre ("temperaturdiameter-forhold"). Se formel 3.

Ved Multipol indgår beregningen af middeltemperaturen i twinrøret i selve simuleringen.

Beregningerne herfor er komplekse og ligger uden for projektets rammer, men er i projektet anført til sammenligning med de øvrige middeltemperaturer.

FORMLER

$$\text{Formel 1: } T_{\text{middel}} = \frac{T_{\text{Frem}} + T_{\text{Retur}}}{4} + \frac{T_{\text{Overflade}}}{2}$$

$$\text{Formel 2: } T_{\text{middel}} = \frac{T_{\text{Frem}} + T_{\text{Retur}}}{2} - T_{\text{Overflade}}$$

$$\text{Formel 3: } T_{\text{middel}} = \frac{T_{\text{Frem}} \cdot d_{\text{Frem}} + T_{\text{Retur}} \cdot d_{\text{Retur}} + T_{\text{Kappe}} \cdot d_{\text{Kappe}}}{d_{\text{Frem}} \cdot d_{\text{Retur}} \cdot d_{\text{Kappe}}}$$

FORMLER

Resultater af målinger og forskellige beregningsmetoder

Indledningsvis skal anføres, at projektet ikke overraskende viste, at twinrør i visse driftssituationer har en negativ afkøling af returrøret, dvs. der sker en opvarmning af returvandet.

Denne opvarmning øges ved stigende middel temperaturdifferens, altså forskellen mellem frem og retur.

Ved fastlæggelse af λ_{50} -værdierne blev ved FEM-beregningerne forudsat stilstående luft omkring rørene, mens der ved Multipol indgik en simuleret konvektion omkring rørene.

I begge tilfælde var inddata for rørkappens temperatur et gennemsnit af fire målinger, hvilket er legalt i henhold til standarden, men det er klart, at temperaturen fordeler sig ujævnt omkring rørkappen. Prøvningerne blev alle gennemført med fremløbet placeret i bunden.

En samlet oversigt over de beregnede resultater fremgår af tabel 1. Som det ses, er der en vis variation i resultaterne afhængig af metoden for såvel beregning af middeltemperatur som for λ_{50} .

Simulering med FEM og middeltemperatur i henhold til EN 15632-1 giver

Fabrikat	Simuleringsmetode	Middeltemperatur [°C]	Linær regression		λ_{50} [(mW/(m·K))]
			A	B	
Brugg	FEM	DS/EN 15632-1	0,000102	0,021147	26,2
		Teknologisk Institut	0,000061	0,023379	26,4
		LP Solution	0,000156	0,020080	27,9
	Multipol	Multipol	0,000135	0,021879	28,6
Isoplus	FEM	DS/EN 15632-1	0,000078	0,027740	31,6
		Teknologisk Institut	0,000062	0,029185	32,3
		LP Solution	0,000095	0,027669	32,4
	Multipol	Multipol	0,000096	0,029542	34,3
Logstor	FEM	DS/EN 15632-1	0,000143	0,018878	26,0
		Teknologisk Institut	0,000083	0,022068	26,2
		LP Solution	0,000232	0,016966	28,6
	Multipol	Multipol	0,000195	0,019061	28,8

Samlet oversigt over de beregnede værdier for λ_{50} ved FEM og multipol.

de laveste værdier, mens Multipol giver de højeste værdier.

Årsagerne hertil kan være mangeartede, og det er ikke umiddelbart muligt at give et entydigt svar, men da Multipol beregner en konvektion omkring røret – hvilket ikke er forkert – vil det alt andet lige give højere værdier for λ_{50} når den målte kapperørstemperatur skal opretholdes, i det konvektionen giver en vis afkøling af røret.

Sammenfatning og konklusion

I projektet er gennemført målinger og forskellige beregninger på en række twinrør med forskellige frem- og

returtemperaturer, som svarer til et bredt udsnit af forholdene hos danske fjernvarmeværker.

Ved at sammenligne de forskellige beregningsmetoder er det konstateret, at de har en vis betydning for de fastlagte værdier af λ_{50} .

Endvidere har det vist, at man ved tætliggende medierør skal være opmærksom på muligheden for en ikke ubetydelig varmeoverførsel fra frem til retur.

nawn@teknologisk.dk