



Forskning och
Utveckling

FOU 2002:79

JÄMFÖRELSE MELLAN DUBBEL- OCH ENKELRÖR

Akumulerande värmeförluster och miljöbelastning under 50 års drifttid

Ulf Jarfelt, Chalmers tekniska högskola

JÄMFÖRELSE MELLAN DUBBEL- OCH ENKELRÖR

**Akumulerade värmeförluster och miljöbelastning
under 50 års drifttid**

Ulf Jarfelt, Chalmers tekniska högskola

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.

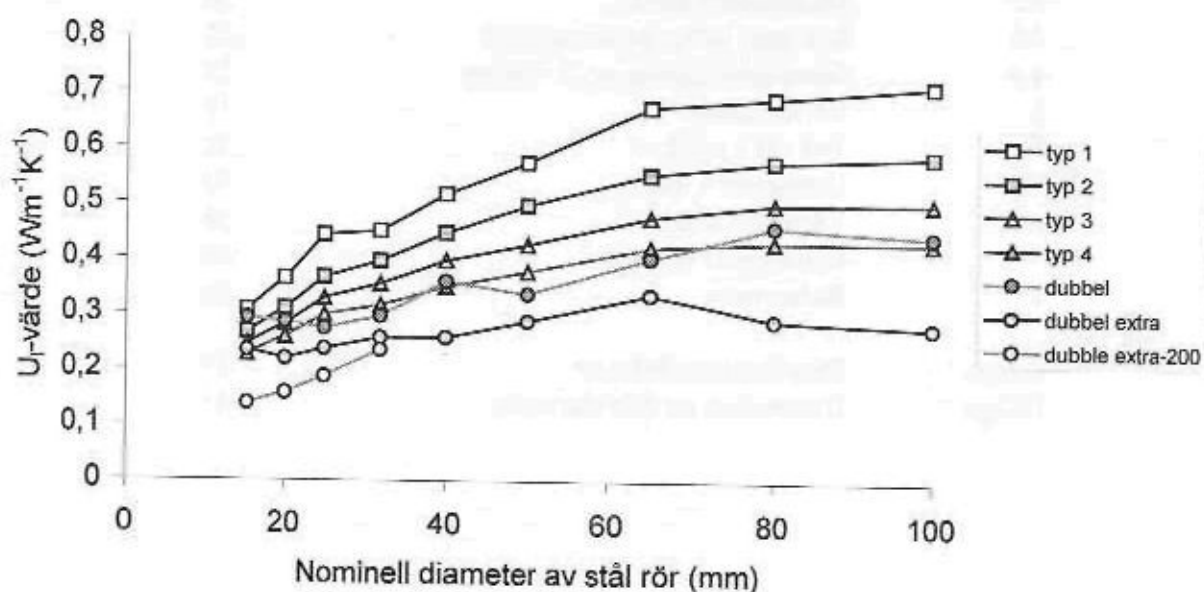
Innehållsförteckning

		Sida
	Sammanfattning	3
	Summary	5
1	Inledning	7
2	Polyuretanisoleringens värmekonduktivitet	8
3	Beräkningsmetod för värmeförluster	12
3.1	Två rör i mark	14
3.2	Dubbelrör i mark	15
3.3	Rör med olika isoleringsgrad	16
4	Fjärrvärmerörens isoleringsförmåga	17
4.1	Två rör i mark	17
4.2	Dubbelrör i mark	20
4.3	Rör med olika isoleringsgrad	22
4.4	Sammanställning av U_l -värden	25
5	Värmebalans	31
5.1	Två rör i mark	32
5.2	Dubbelrör i mark	32
6	Värmeproduktion	34
7	Emissioner till luft	35
8	Referenser	36
Bilaga 1	Distributionsförluster	37
Bilaga 2	Dimension av fjärrvärmerör	41

Sammanfattning

I denna rapport redovisas resultat av beräkningar av ackumulerade värmeförluster från enkel- och dubbelrör. Distributionsförlusterna från fjärrvärmerör beror dels på rörkonstruktion, enkel- eller dubbelrörskonstruktion, och dels på dimension och isoleringstjocklek. Polyuretanisoleringens värmekonduktiviteten (λ -värde) kommer att försämrats över tiden pga. att den i isoleringsskummet inneslutna drivgasen, i allmänhet cyklopentan blandad med koldioxid, diffunderar ut ur skummet och luft diffunderar in. Denna förändring sker olika snabbt för olika rördimensioner.

Rörkonstruktionens isoleringsförmåga redovisas som en transmissionskoefficient (U_i), som är ett mått på hur många watt som förloras per meter rör och per grad Celsius. För enkelrören redovisas 4 olika isoleringsgrader, typ 1-4, och för dubbelrören 3 isoleringsgrader.



Figur 1. Beräknad transmissionskoefficient (U_i), som medelvärde av 50 års drift, för fjärrvärmerör av olika dimensioner och isoleringsgrader.

Av resultaten i Figur 1 framgår att dubbelrören har en betydligt bättre isolerande förmåga. För att enkelrörskonstruktionen skall nå upp till dubbelrörets isoleringnivå krävs en isoleringsgrad som i figuren betecknas med "typ 4". Denna isoleringvariant finns ej kommersiellt tillgänglig trots att isoleringstjockleken inte överstiger 50-80mm beroende på rördimension (t.ex. 56 mm för DN32 och 79 mm för DN100).

Den totala distributionsförlusten under 50 års drifttid har beräknats för 1,0 m av en fjärrvärmerörskonstruktion. Vid beräkningen har antagits en årlig medeltemperatur av $7^{\circ}C$, vilket motsvarar Göteborgsregionen och temperaturen på fram- respektive returledning har antagits vara $80^{\circ}C$ och $45^{\circ}C$. Produktion av värme till fjärrvärmenätet är baserat på den energi-mix som redovisas för Sverige år 2000. Utifrån denna har sedan emissionerna till luft beräknats under 50 års drift för 2 dimensioner DN32 och DN100.

Tabell 1. Transmissionskoefficient för fjärrvärmerör (DN32 och DN100) med olika isoleringstjocklek och motsvarande värmeförluster under 50 års drift för 1,0 m av rörkonstruktionen omräknat till emissioner till luft.

	Transmissions- koefficient $Wm^{-1}K^{-1}$	Emission till luft under 50 år för 1 m rörkonstruktion			
		kg CO ₂	kg NO _x	kg SO _x	kg CO
DN32, typ 1	0.45	890	3.0	2.3	4.6
DN32, typ 2	0.40	780	2.6	2.0	4.0
DN32, typ 3	0.36	700	2.3	1.8	3.6
DN32, typ 4	0.32	630	2.1	1.6	3.2
DN32, dubbel	0.30	590	2.0	1.5	3.0
DN32, dubbel extra	0.26	510	1.7	1.3	2.6
DN100, typ 1	0.72	1410	4.7	3.6	7.2
DN100, typ 2	0.56	1100	3.7	2.8	5.7
DN100, typ 3	0.50	990	3.3	2.6	5.1
DN100, typ 4	0.43	850	2.8	2.2	4.4
DN100, dubbel	0.44	880	2.9	2.3	4.5
DN100, dubbel extra	0.28	550	1.8	1.4	2.8

Av Tabell 1 och Figur 1 framgår att transmissionskoefficienten och emissionerna till luft är mindre för dubbelrörskonstruktion än för enkelrörskonstruktion för dimensioner upp till DN100. Generellt kan man konstatera att detta gäller för de kommersiellt tillgängliga isoleringstjocklekarna. Om enkelrören isoleras med ännu tjockare isolering, typ 4, erhålles jämförbara resultat.

Det positiva med dubbelrörskonstruktionen förutom de goda isoleringsegenskaperna är att materialåtgång, dvs. vikt av polyuretan och polyeten, är mindre för dubbelrör än för motsvarande enkelrörskonstruktion. Dessutom kräver dubbelrören mindre grävarbete

Summary

In this report the accumulated heat losses over the entire life of single- and twin-pipe constructions are presented. A comparison of the linear thermal transmittance has been made between pipes of different insulation dimensions for a period of 50 years, see Figure 2 and Table 4. Four insulation alternatives are presented for single pipes as well as three alternatives for twin pipes. The comparison shown in Figure 2 is made for the pipe dimensions: DN15 (21.3 mm steel pipe diameter), DN20 (26.9 mm), DN25 (33.7 mm), DN32 (42.4 mm), DN40 (48.3 mm), DN50 (60.3 mm), DN65 (76.1 mm), DN80 (88.9 mm) and DN100 (114.3 mm). The dimensions of the pipes, DN32 and DN100, are presented in Table 2.

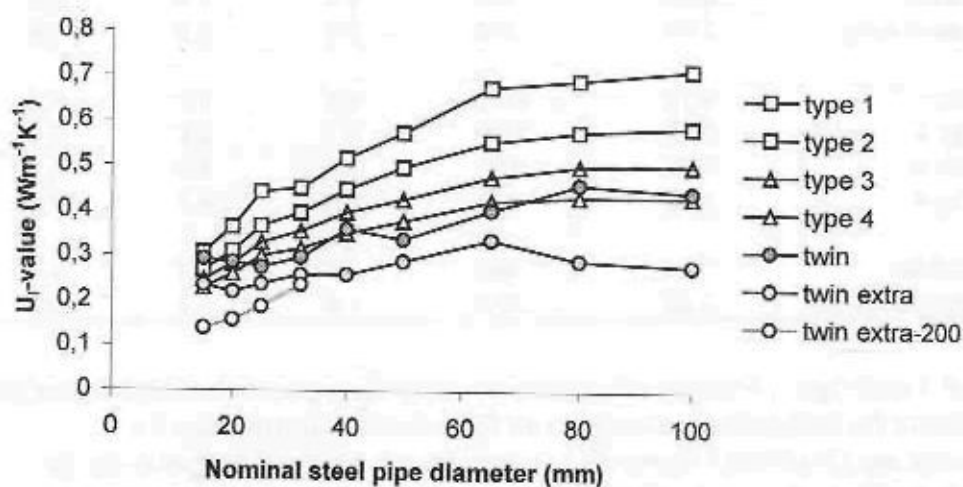


Figure 2. Calculated linear thermal transmittance (average value over 50 years of operation) for district heating pipes of different dimensions.

The results presented in Figure 2 show that the Twin-pipes have better insulating capacity in general. For a single-pipe, with comparable insulating capacity, a type 4 insulation thickness is necessary, which corresponds to an insulation thickness of approximately 50-80 mm depending on pipe diameter. However pipes with this insulation thickness are not commercially available.

The total heat loss during 50 years of operation has been calculated for 1 m of pipe construction. The mean annual temperature was assumed to 7°C (Göteborg region in Sweden) and the temperature in the flow and return pipe was 80°C and 45°C, respectively. From the average emissions for production of district heating in Sweden the emissions to air due to heat losses during 50 years have been calculated for DN32 and DN100 single and twin pipes, see Table 2.

Table 2. Linear thermal transmittance of district heating pipes (DN32 and DN100) with different insulation foam thickness and the corresponding heat losses during 50 years for 1 m of pipe construction calculated as emissions to air.

	Linear thermal transmittance $Wm^{-1}K^{-1}$	Emission to air during 50 years for 1 m of pipe construction			
		kg CO ₂	kg NO _x	kg SO _x	kg CO
DN32, type 1	0.45	890	3.0	2.3	4.6
DN32, type 2	0.40	780	2.6	2.0	4.0
DN32, type 3	0.36	700	2.3	1.8	3.6
DN32, type 4	0.32	630	2.1	1.6	3.2
DN32, twin	0.30	590	2.0	1.5	3.0
DN32, twin extra	0.26	510	1.7	1.3	2.6
DN100, type 1	0.72	1410	4.7	3.6	7.2
DN100, type 2	0.56	1100	3.7	2.8	5.7
DN100, type 3	0.50	990	3.3	2.6	5.1
DN100, type 4	0.43	850	2.8	2.2	4.4
DN100, twin	0.44	880	2.9	2.3	4.5
DN100, twin extra	0.28	550	1.8	1.4	2.8

It can be seen from Table 2 (and also Figure 2) that the linear thermal transmittance and the emissions to air are lower for the twin pipe construction than for the single pipe construction for the dimensions up to DN100. The emissions from a single pipe construction with an insulation thickness corresponding to type 4 are about the same as for a twin pipe construction. This result can be regarded as a general rule when designing district heating networks for the dimensions studied.

The use of twin pipes is also favorable from a resource use point of view for dimensions up to DN100. The material consumption (weight of PUR-foam, type 2, and PE-casing) is less for a twin pipe construction than for the corresponding single pipe construction [12]. Moreover, laying of twin pipes requires less excavation work than laying of single pipe constructions.

1 Inledning

I det ekonomiskt uthålliga samhälle som vi planerar för, måste miljökonsekvenserna ha en central roll vid bedömning och val av teknik och produkt. Även den ekonomiska bedömningsgrunden måste ha ett långtidsperspektiv då vi bygger samhällsstrukturer med lång varaktighet. För fjärrvärmen innebär detta att ledningarnas driftsäkerhet och förväntade prestanda skall upprätthållas. Skall fjärrvärmen kunna användas på ett ekonomiskt och miljömässigt sunt vis till distribution av energi i mindre tätbebyggda områden, måste distributionsförlusterna reduceras till nivåer som kan anses acceptabla. De ackumulerade värmeförlusterna under den totala drifttiden, 50 år eller mer, representerar stora ekonomiska belopp och bidrar till avsevärd miljöbelastning.

Distributionsförlusterna från fjärrvärmerör beror dels på rörkonstruktion, enkel- eller dubbelrörskonstruktion, och dels på dimension och isoleringstjocklek. Polyuretan-isoleringens värmekonduktiviteten (λ -värde) kommer att försämrats över tiden pga. att den i isoleringsskummet inneslutna drivgasen, i allmänhet cyklopentan blandad med koldioxid, diffunderar ut ur skummet och luft diffunderar in. Den mest vanliga typen av fjärrvärmerör är enkelrörskonstruktionen, med en fram- och en returledning placerade i en och samma rörgrav. Mediarören är av stål, isoleringen av styv polyuretancellplast (PUR) och ytterst ett mantelrör av polyeten (PE). På senare år har, för mindre dimensioner, en ny typ av konstruktion blivit vanlig, nämligen dubbelrörskulvert. Denna dubbelrörskonstruktion återfinns för medierörsdimensioner från DN15 till DN150.

I denna studie har de ackumulerade värmeförlusterna från enkel- och dubbelrörskonstruktioner beräknats och jämförts för ett drifttid av 50 år. Beräkningarna baseras på samlad kunskap och erfarenhet från bestämning av cellgasinnehåll hos nytillverkade fjärrvärmerör och från experimentell bestämning av diffusionsegenskaper för luft, koldioxid och cyklopentan i PUR och PE. Provningar på nytillverkade och något åldrade (0-8 år) fjärrvärmerör stöder beräkningsresultaten.

Alla värmeförluster motsvarar någon form av miljöbelastning, beroende på hur energin har producerats. I denna rapport har miljöbelastningen för tillverkning av fjärrvärmecenergi räknats fram från den bränslemix som gällde vid tillverkning av fjärrvärme år 2000 i Sverige [10]. Utsläpp av koldioxid och några andra gaser av stor betydelse för miljön har bestämts. Emissionsfaktorer av samtliga betydande bränslen är baserade på livscykelanalyser [11].

2. Polyuretanisoleringen värmekonduktivitet (λ -värde)

Polyuretanisoleringens (PUR) värmekonduktivitet beror till stor del på den inneslutna gasblandningens sammansättning. För ett nytillverkat fjärrvärmerör innehåller PUR-isoleringen till största delen koldioxid och cyklopentan med viss inblandning av luft. I naturens strävan att utjämna koncentrationsskillnader kommer koldioxid och cyklopentan att diffundera ut ur och luft in i materialet. Detta medför att cellgassammansättningen förändras över tiden och dess isolerande förmåga förändras.

Värmets transport genom isoleringsmaterialet består av ledning i gasen, ledning i den fasta polymeren och strålning mellan cellväggarna och kan tecknas:

$$\lambda_{\text{total}}(t) = \lambda_{\text{gas}}(t) + \lambda_{\text{polymer}} + \lambda_{\text{strålning}}$$

där

$\lambda_{\text{gas}}(t)$	Värmeledning i gasblandningen, tidsberoende	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
λ_{polymer}	värmeledningen genom polymeren	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\lambda_{\text{strålning}}$	värmeledningen genom strålning	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Värmeledningen genom polymeren (λ_{polymer}) och värmeledningen genom strålning mellan cellens ytor ($\lambda_{\text{strålning}}$) förväntas inte förändras över tiden. I de beräkningar som finns i denna rapport har det sammanlagda bidraget från ledning i polymeren och strålning antagit vara $0,012 (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ [1]. Detta antagande baseras på erfarenheter från verkliga bestämningar av värmekonduktiviteten i laboratorium på kommersiellt tillgängliga fjärrvärmerör. Givetvis kan denna siffra variera mellan olika PUR-skum beroende på cellstruktur och densitet.

Ett flertal metoder att beräkna gasblandningars värmekonduktivitet finns beskrivna [2] med olika grader av komplexitet. I rapporten har följande metod används:

$$\lambda_{\text{gas}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \cdot \lambda_i + \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\lambda_i}} \right)$$

där

y_i	andel av gas (i)
λ_i	värmekonduktivitet hos gas (i)

Vid beräkningarna har följande värden använts för gasernas värmekonduktivitet vid medeltemperaturen 50°C :

Syre	$0,0278 (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	[6]
Kväve	$0,0278 (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	[6]
Koldioxid	$0,0180 (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	[6]
Cyklopentan	$0,0145 (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	[7]

Med hjälp av den initiala cellgasblandningen och med bestämda diffusionskoefficienter [2] kan diffusionsprocessen beskrivas och den aktuella cellgasblandningen beräknas vid varje tidpunkt. Som hypotes har använts att gasernas diffusionsmotstånd återfinns i mantelröret. För cyklopentan har senare forskningsresultat visat att diffusionsmotståndet i PUR-materialet dominerar [5]. Av beräkningstekniska skäl har detta diffusionsmotstånd räknats om till ett fiktivt diffusionsmotstånd för mantelröret.

Följande beräkningsmodell [3] har använts:

$$p_{\text{gas}} = p_0 \cdot e^{-t/t_c}$$

$$t_c = \frac{d \cdot V}{P_{\text{gas}} \cdot A \cdot R \cdot T}$$

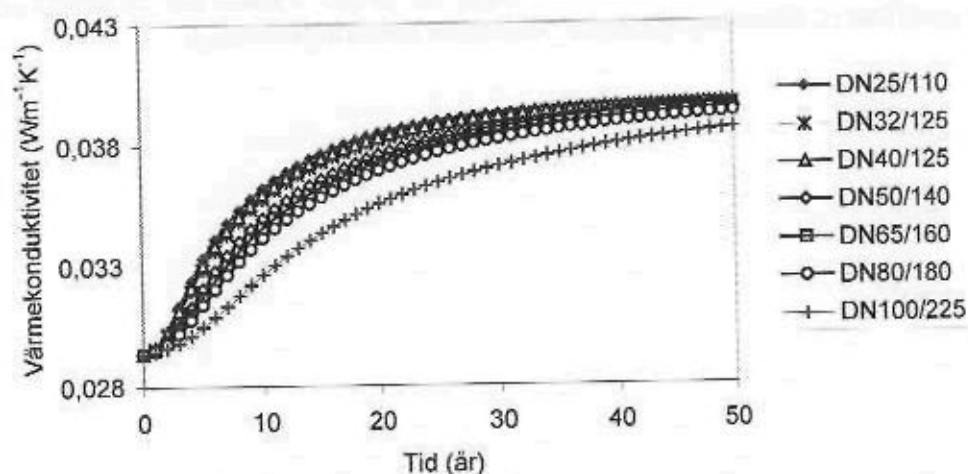
där

p_0	gasens partialtryck vid tiden $t=0$	(kPa)
D	mantelrörets godstjocklek	(m)
V	isoleringsmaterialets volym	(m ³)
A	mantelrörets area	(m ²)
R	gaskonstanten = 8,314	(Pa·m ³ ·mol ⁻¹ ·K ⁻¹)
T	temperatur	(K)
P_{gas}	permeabilitetskoefficient för resp. gas	(mol·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)

Följande permeabilitetskoefficienter har använts vid beräkningarna:

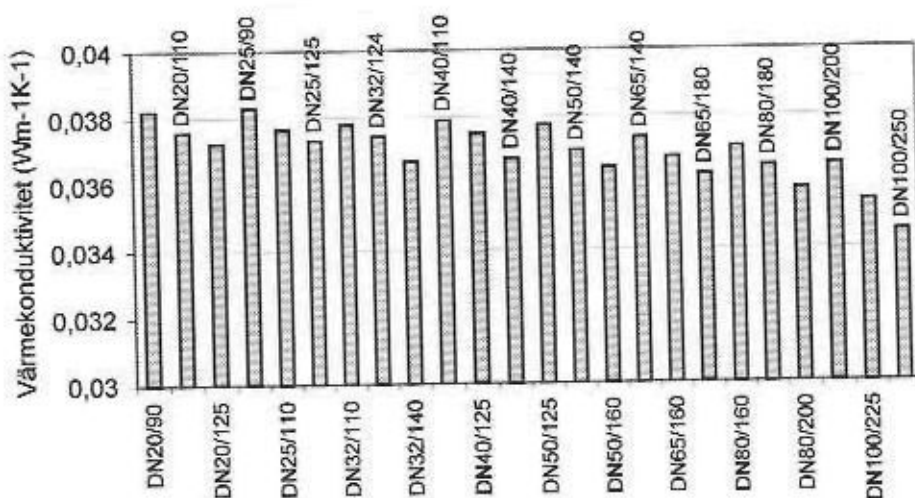
Syre	$4,1 \cdot 10^{-17}$ (mol·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	[4]
Kväve	$5,3 \cdot 10^{-17}$ (mol·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	[4]
Koldioxid	$55 \cdot 10^{-17}$ (mol·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	[4]
Cyklopentan	$6,2 \cdot 10^{-17}$ (mol·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	[5]

Diffusionsprocessen för luft och koldioxid påverkas starkt av polyetenmanteln (HDPE). Det diffusionsmotstånd som mantelröret utgör är direkt proportionellt mot materialsiktets tjocklek, vilket medför att ju grövre rören är desto större motstånd erhålls och långsammare diffusionsprocess. Detta medför att diffusionsprocessens hastighet är olika för rör med olika dimension och följaktligen blir förändringen av PUR-isoleringens värmekonduktivitet också dimensionsberoende. Detta exemplifieras för några olika rördimensioner i Figur 3, där man tydligt ser att försämringen, dvs. ökningen av värmekonduktiviteten, sker olika snabbt. Generellt gäller att små dimensioner åldras snabbare.



Figur 3 . Exempel på hur värmekonduktiviteten förändras med tiden för polyuretanisoleringen hos fjärrvärmerör med olika dimensioner.
Change of thermal conductivity vs. time for polyurethane insulation of district heating pipes. Examples.

Då man skall betrakta fjärrvärmerören i ett 50-årigt driftsperspektiv måste ett effektivt λ -värde beräknas, som motsvarar ett medelvärde för PUR-isoleringens värmekonduktivitet under hela driftperioden. I Figur 4 redovisas detta 50-årsvärde för de olika rörisoleringarna. Detta skall jämföras med värmekonduktiviteten 0,029 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) som är det antagna värdet för PUR-isolering hos nytilverknade fjärrvärmerör. Att detta värde valts har sin orsak i att det är ett normalvärde vid laborativa provningar på kommersiellt tillgängliga fjärrvärmerör. Detta värde kan dock variera beroende på faktorer som cellstorlek, densitet, och gasblandning, men här har använts 0,029 som ett normalvärde för ett nytilverkat fjärrvärmerör [8].



Figur 4. Exempel på effektivt värmekonduktivitet (λ -värde) för driftperioden 50 år. Beräkningarna gäller för enkelrör.
Effective thermal conductivity (λ -value) calculated as an average value over a period of 50 years. Calculations valid for single pipes.

De i Figur 4 redovisade värmekonduktiviteterna gäller för drifttiden 50 år.
Försämring av värmekonduktiviteten kan uppgå till 30-35 % vilket har en direkt och
menlig inverkan på fjärrvärmerörskonstruktionens isoleringsförmåga.



Figur 4. Värmekonduktivitetsförsämring för olika isoleringsmaterial under 50 års drifttid. (Källa: SVEBIO, 2000)

Enligt SVEBIO (2000) är den största delen av den totala värmeförlusten i fjärrvärmerörskonstruktioner beroende på värmeförlusterna i rören. Detta innebär att en förbättring av rörens isoleringsförmåga har en stor betydelse för den totala energisparningen. Enligt SVEBIO (2000) kan en förbättring av rörens isoleringsförmåga med 10 % ge en energisparing på upp till 10 %.



Figur 5. Energisparning för olika isoleringsmaterial under 50 års drifttid. (Källa: SVEBIO, 2000)

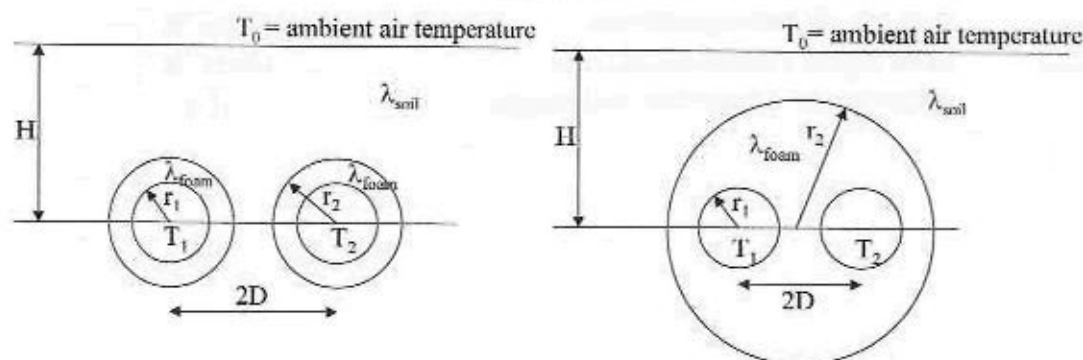
3. Beräkningsmetod för värmeförluster

Isoleringsförmågan hos en rörkonstruktion kan uttryckas med hjälp av en transmissionskoefficient (U_l) som betecknar den totala värmeförlusten per löpmeter rör dividerat med aktuell temperaturdifferens mellan fjärrvärmerören och markytan. Följande beräkningssamband kan tecknas:

$$U_l = \frac{q_{total}}{\left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \cdot L} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

där

U_l	transmissionskoefficient	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
T_0	temperatur hos omgivande luft	(K)
T_1	temperatur rör 1	(K)
T_2	temperatur rör 2	(K)
L	ledningslängd	(m)
q_{total}	distributionsförlust per meter	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-1})$



Figur 5. Schematisk bild av förläggning av två rör och dubbelrör i mark.
General drawing of two pipes and a twin pipe in the ground.

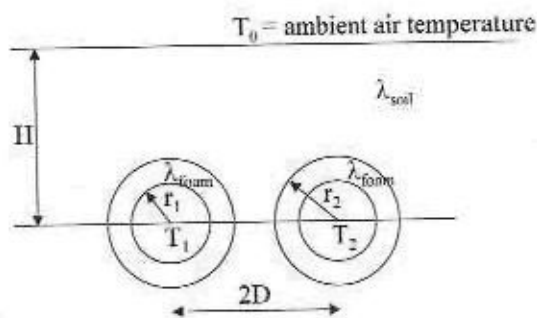
Värmeförlusterna från två rör förlagda i en och samma rörgrav och från ett dubbelrör förlagt i mark kan beräknas med hjälp av olika approximativa lösningar. Petter Wallentén presenterar i sin licentiatuppsats "Steady-state heat loss from insulated pipes" explicita former för beräkning av stationära värmeförluster från ett rör i mark, två rör i mark, två rör omgivna av cirkulär isolering och två rör omgivna av cirkulär isolering i mark. Lösningemetoden kallas för "multi-pole method" [9]

Metoden finns också utvecklad som program för PC [13].

I de ekvationer som beskriver värmeförlustberäkningarna förekommer följande beteckningar:

D	halva avståndet mellan centrum för rör 1 och 2	(m)
H	avstånd mellan markyta och centrum rör	(m)
L	ledningslängd	(m)
T_0	markytans temperatur	(°C)
T_1	temperatur rör 1	(°C)
T_2	temperatur rör 2	(°C)
U_1	transmissionskoefficient	(W·m ⁻¹ K ⁻¹)
d	avstånd mellan mantelrören	(m)
h_s	värmeförlustfaktor för symmetriskt fall	(-)
h_a	värmeförlustfaktor för asymmetriskt fall	(-)
q_{total}	värmeförlust för den totala konstruktionen	(W·m ⁻¹)
q_s	värmeförlust för symmetriskt fall	(W·m ⁻¹)
q_a	värmeförlust för asymmetriskt fall	(W·m ⁻¹)
r_1	medierörets ytterradie	(m)
r_2	mantelrörets ytterradie	(m)
$r_{2:1}$	mantelrörets ytterradie rör 1 (Figur 8)	(m)
$r_{2:2}$	mantelrörets ytterradie rör 2 (Figur 8)	(m)
β	parameter som beskriver isoleringen	(-)
λ_{soil}	markens värmekonduktivitet	(W·m ⁻¹ K ⁻¹)
λ_{foam}	isoleringens värmekonduktivitet	(W·m ⁻¹ K ⁻¹)
σ	parameter som beskriver isoleringen	(-)

3.1 Två rör i mark (enkelrörsförläggning)



Figur 6. Schematisk bild på förläggning av två rör i mark.
General drawing of two pipes in the ground.

Beräkning av värmeförlusterna för en enkelrörskonstruktion beskrivs nedan:

$$q_{total} = q_1 + q_2$$

där

$$q_1 = q_s + q_a$$

$$q_2 = q_s - q_a$$

$$q_s = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \cdot 2\pi\lambda_{soil} \cdot h_s$$

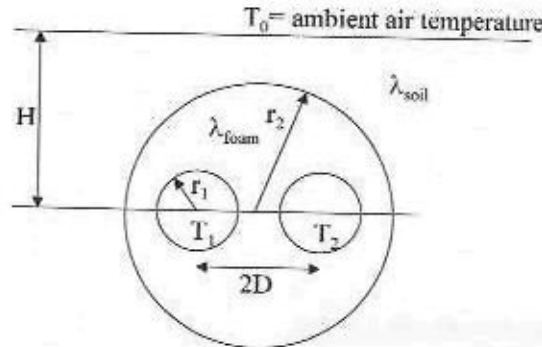
$$q_a = \left(\frac{T_1 - T_2}{2} \right) \cdot 2\pi\lambda_{soil} \cdot h_a$$

$$h_s^{-1} = \ln\left(\frac{2H}{r_2}\right) + \beta + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_2}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_2}{2H}\right)^2 + \frac{r_2^2}{4(D^2 + H^2)}}{\frac{1 + \beta}{1 - \beta} + \left(\frac{r_2}{2D}\right)^2}$$

$$h_a^{-1} = \ln\left(\frac{2H}{r_2}\right) + \beta - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_2}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_2}{2H}\right)^2 + \frac{r_2^2}{4(D^2 + H^2)}}{\frac{1 + \beta}{1 - \beta} - \left(\frac{r_2}{2D}\right)^2}$$

$$\beta = \frac{\lambda_{soil}}{\lambda_{foam}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

3.2 Dubbelrör i mark



Figur 7. Schematisk bild av ett dubbelrör (twin-rör) i mark.
General drawing of a twin pipe in the ground.

I Figur 7 är medierören placerade på samma horisontella nivå, vilket inte överensstämmer med den normala placeringen vid fjärrvärmemontage. Skillnaden mellan värmeförluster i den ovan beskrivna geometrin och om röret roteras 90 grader är obetydlig. Skillnaden i värmeförluster mellan dessa alternativ endast 0,2 % [9].

$$q_{total} = q_1 + q_2$$

där

$$q_1 = q_s + q_a$$

$$\sigma = \frac{\lambda_{foam} - \lambda_{soil}}{\lambda_{foam} + \lambda_{soil}}$$

$$q_2 = q_s - q_a$$

$$q_s = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \cdot 2\pi\lambda_{foam} \cdot h_s$$

$$\gamma = \frac{2(1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \left(\frac{r_2}{2H} \right)^2}$$

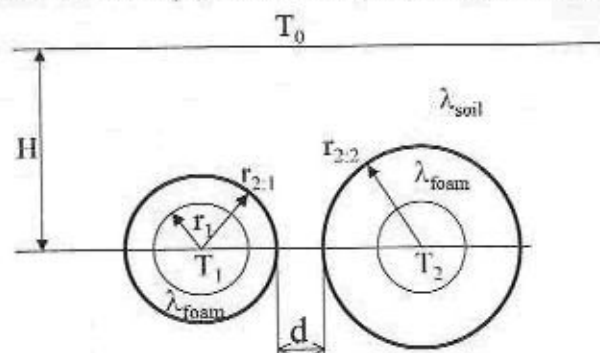
$$q_a = \left(\frac{T_1 - T_2}{2} \right) \cdot 2\pi\lambda_{foam} \cdot h_a$$

$$h_s^{-1} = \frac{2\lambda_{foam}}{\lambda_{soil}} \ln \left(\frac{2H}{r_2} \right) + \ln \left(\frac{r_2^2}{2Dr_1} \right) + \sigma \cdot \ln \left(\frac{r_2^4}{r_2^4 - D^4} \right) - \frac{\left(\frac{r_1}{2D} - \frac{\sigma 2r_1 D^3}{r_2^4 - D^4} \right)^2}{1 + \left(\frac{r_1}{2D} \right)^2 + \sigma \left(\frac{2r_1 r_2^2 D}{r_2^4 - D^4} \right)^2}$$

$$h_a^{-1} = \ln \left(\frac{2D}{r_1} \right) + \sigma \ln \left(\frac{r_2^2 + D^2}{r_2^2 - D^2} \right) - \frac{\left(\frac{r_1}{2D} - \gamma \frac{Dr_1}{4H^2} + \frac{2\sigma r_1^2 D}{r_2^4 - D^4} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_1}{2D} \right)^2 - \gamma \frac{r_1}{2H} + 2\sigma r_1^2 r_2^2 \cdot \frac{r_2^4 + D^4}{(r_2^4 - D^4)^2}} - \gamma \left(\frac{D}{2H} \right)^2$$

3.3 Rör i mark med olika isoleringsgrad

Värmeförlusterna från två rör i mark med olika isoleringstjocklek har beräknats med hjälp av ett datorprogram "Multipole method to compute the convective heat flows to and between pipes in a composite region: Pipes in a circle in a half-plane"[13]

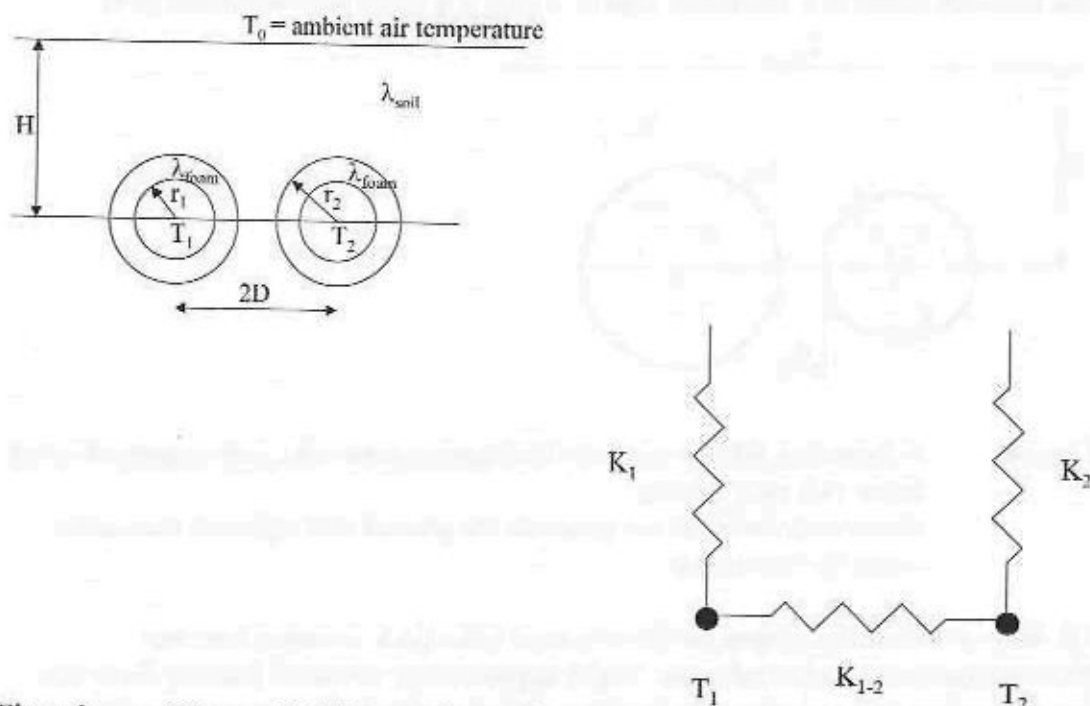


Figur 8. Schematisk bild på enkelrörsförläggning med olika isoleringstjocklek på fram- och returledning.
General drawing of two pipes in the ground with different insulation capacity (thickness).

Då fram- och returledningen har försetts med olika tjock isolering kommer beräkningsarbetet att kompliceras. Något approximativ numerisk lösning finns inte här presenterad. De resultat som återfinns i Kapitel 4 är beräkningar genomförda med hjälp av det ovan beskrivna datorprogrammet.

4. Fjärrvärmerörens isoleringsförmåga

4.1 Två rör i mark (enkelrörsförläggning)



Figur 9. Schematisk bild av enkelrörskonstruktion samt förenkling av rörkonstruktionen till ett nätverk bestående av noder (värmekällor) och konduktanser.
General drawing of two pipes in the ground. Network analysis is used.

Fjärrvärmerörskonstruktionens totala distributionsförlust kan redovisas med hjälp av transmissionskoefficient (U) eller med hjälp av konduktanser, som beskriver ledningsförmågan mellan rören och mellan rören och markytan.

$$q_{total} = U_1 \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{2} - T_0 \right)$$

$$U_1 = K_1 + K_2$$

Då rören har samma isoleringstjocklek och ligger på samma djup kommer konduktiviteten för fram- resp. returledning att vara lika.

Skulle det vara olika isoleringstjocklek på fram- resp. returledning får problemet behandlas på annat sätt. Se Kap. 4.3:

Beteckningar:

K_1	Konduktans mellan rör 1 och markytan	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
K_2	Konduktans mellan rör 2 och markytan	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
K_{1-2}	Konduktans mellan rör 1 och 2	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$

Eftersom PUR-isoleringens värmekonduktivitet förändras över tiden kommer följaktligen rörkonstruktionens transmissionskoefficient också att ändras över tiden. I det följande kommer U_l^{ny} -värdet för en ny tillverkad (ej åldrad) att presenteras och jämföras med den transmissionskoefficient som representeras av medelvärdet för 50 års drifttid $U_l^{\text{medel 50 år}}$.

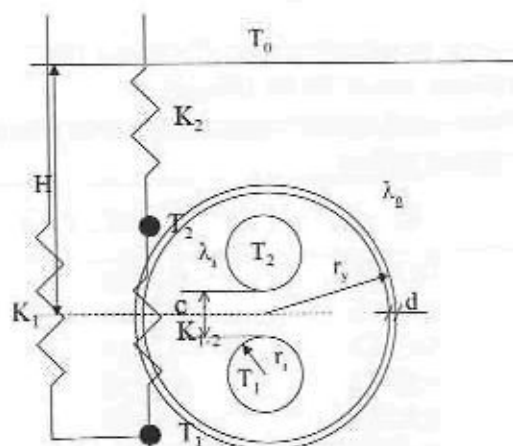
I Tabell 3 förekommer medierörsdimensioner DN15 till DN100. Var och en av dessa medierörsdimensioner har 4 isoleringsalternativ, typ 1, 2, 3 och 4, där typ 1 representerar den minsta isoleringstjockleken och typ 4 den tjockaste.

Tabell 3. Transmissionskoefficient (U_I -värde). Nyttillverkade rör och medelvärde för rör under 50 års drifttid.

Transmission coefficient (U_I -value). Newly produced pipes and an average value corresponding to 50 years of operation.

Medierör	Mantelrör		Nyttill- verkade rör	Medelvärde 50 år	Förändring
	diameter (mm)	isolerings- grad (typ)	U_I^{ny}	$U_I^{medel 50}$	(%)
DN15 (21,3 mm)	90	1	0,2454	0,3077	25,4
	110	2	0,2163	0,2675	23,7
	125	3	0,2007	0,2465	22,8
	140	4	0,1895	0,2282	20,4
DN20 (26,9 mm)	90	1	0,2911	0,3644	25,2
	110	2	0,2511	0,3102	23,5
	125	3	0,2303	0,2826	22,7
	140	4	0,2156	0,2596	20,4
DN25 (33,7 mm)	90	1	0,3551	0,4432	24,8
	110	2	0,2972	0,3668	23,4
	125	3	0,2686	0,3294	22,6
	140	4	0,2488	0,2995	20,4
DN32 (42,4 mm)	110	1	0,3657	0,4508	23,3
	125	2	0,3233	0,3963	22,6
	140	3	0,2951	0,3554	20,4
	160	4	0,2658	0,3168	19,2
DN40 (48,2 mm)	110	1	0,4207	0,5180	23,1
	125	2	0,3656	0,4479	22,5
	140	3	0,3299	0,3974	20,5
	160	4	0,2937	0,3502	19,2
DN50 (60,3 mm)	125	1	0,4703	0,5755	22,4
	140	2	0,4129	0,4978	20,6
	160	3	0,3577	0,4271	19,4
	180	4	0,3202	0,3785	18,2
DN65 (76,1 mm)	140	1	0,5607	0,6764	20,6
	160	2	0,4636	0,5548	19,7
	180	3	0,4025	0,4770	18,5
	200	4	0,3617	0,4225	16,8
DN80 (88,9 mm)	160	1	0,5779	0,6925	19,8
	180	2	0,4859	0,5773	18,8
	200	3	0,4276	0,5011	17,2
	225	4	0,3763	0,4323	14,9
DN100 (114,8 mm)	200	1	0,6065	0,7152	17,9
	225	2	0,5083	0,5881	15,7
	250	3	0,4444	0,5031	13,2
	280	4	0,3916	0,4323	10,4

4.2 Dubbelrör (Twin-rör) i mark



Figur 10. Schematisk bild av dubbelrörskonstruktion samt förenkling av rörkonstruktionen till ett nätverk bestående av noder (värmekällor) och konduktanser.
General drawing of two pipes in the ground. Network analysis is used.

Tabell 4. Aktuella dimensioner.
Dimensions.

			normal	extra	extra-200
	c (mm)	r _i (mm)	r _y (mm)	r _y (mm)	r _y (mm)
DN 2x15/90	15	21,3	90	110	200
DN 2x20/110	15	26,9	110	140	200
DN 2x25/140	19	33,7	140	160	200
DN 2x32/160	19	42,4	160	180	200
DN 2x40/160	19	48,3	160	200	
DN 2x50/200	20	60,3	200	225	
DN 2x65/225	20	76,1	225	250	
DN 2x80/250	25	88,9	250	315	
DN 2x100/315	25	114,3	315	400	

Tabell 5. Beräknade konduktanser och transmissionskoefficient för ny tillverkad dubbelrörskonstruktion.
Calculated conductance and transmission coefficients for a newly produced twin pipe construction.

	$K_1^{ny} \approx K_2^{ny}$	K_{1-2}^{ny}	$U_1^{ny} = K_1^{ny} + K_2^{ny}$
DN 2x15/90	0,1175	0,0500	0,2351
DN 2x20/110	0,1161	0,0565	0,2322
DN 2x25/140	0,1140	0,0583	0,2281
DN 2x32/160	0,1241	0,0678	0,2483
DN 2x40/160	0,1507	0,0734	0,3015
DN 2x50/200	0,1441	0,0792	0,2884
DN 2x65/225	0,1744	0,0921	0,3489

DN 2x80/250	0,2028	0,0880	0,4057
DN 2x100/315	0,2030	0,1032	0,4061

Tabell 6. Beräknat medelvärde av transmissionskoefficienten för endubbelrörskonstruktion under 50 års drifttid.
Calculated conductance and transmission coefficients for a newly produced twin pipe construction.

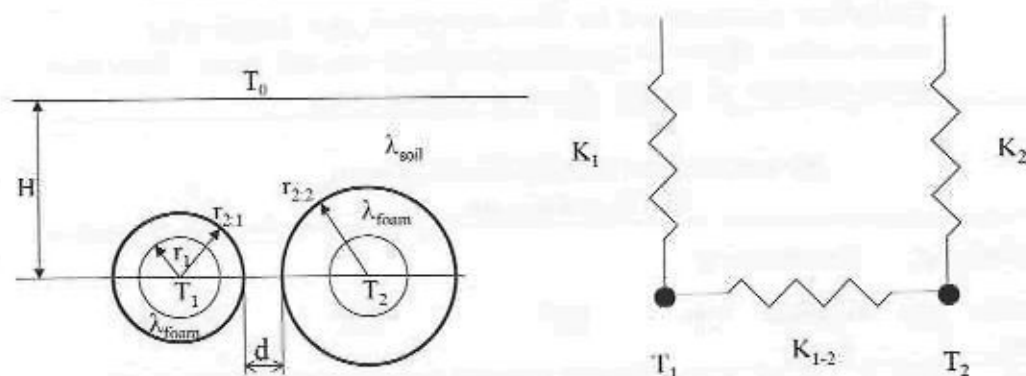
	$K_1 \approx K_2$	K_{1-2}	$U_l^{\text{medel } 50} = K_1 + K_2$
DN 2x15/90	0,1468	0,0624	0,2936
DN 2x20/110	0,1432	0,0697	0,2865
DN 2x25/140	0,1374	0,0702	0,2749
DN 2x32/160	0,1483	0,0810	0,2967
DN 2x40/160	0,1801	0,0877	0,3603
DN 2x50/200	0,1689	0,0927	0,3378
DN 2x65/225	0,2013	0,1063	0,4027
DN 2x80/250	0,2300	0,0998	0,4601
DN 2x100/315	0,2216	0,1127	0,4433

De ovan redovisade beräkningarna av konduktanser och transmissionskoefficienter är gjorda för dubbelrör med standardisolering. För att jämföra dessa värden med ett dubbelrör med tjockare isolering har här valts att öka på mantelrörskonstruktionen "ett steg", dvs. ta nästa större dimension men behålla de inbördes avstånden mellan fram- och returledning. Dessutom redovisas också en speciell variant av ett extraisolerat dubbelrör, där mantelröret har valts till 200 mm för stålörörskonstruktionerna DN15 till DN32.

Tabell 7. Beräknat medelvärde av transmissionskoefficient för en dubbelrörskonstruktion med extra och extra-200 mm isolering under 50 års drifttid.
Transmission coefficient (U-value) as an average value corresponding to 50 years of operation. Twin pipes with extra and extra-200 mm insulation

$U_l^{\text{medel } 50} =$		$U_l^{\text{medel } 50} =$	
$K_1 + K_2$		$K_1 + K_2$	
DN 2x15/110	0,235	DN 2x15/200	0,139
DN 2x20/140	0,220	DN 2x20/200	0,158
DN 2x25/160	0,238	DN 2x25/200	0,188
DN 2x32/180	0,258	DN 2x32/200	0,236
DN 2x40/200	0,259		
DN 2x50/225	0,288		
DN 2x65/250	0,337		
DN 2x80/315	0,291		
DN 2x100/400	0,278		

4.3 Två rör med olika isoleringsgrad



Figur 11. Schematisk bild av enkelrörskonstruktion men med olika isoleringsgrad hos fram- resp. returledning samt förenkling av rörkonstruktionen till ett nätverk bestående av noder (värmekällor) och konduktanser.
General drawing of two pipes in the ground. Network analysis is used.

En metod att reducera värmeförlusterna är att använda en tjockare isolering på framledningen. Då de båda rören har olika isoleringstjocklek är den bästa vägen att beräkna rörkonstruktionens isoleringsgrad att betrakta de enskilda konduktanserna. Värmeförlusten från ledningarna kan tecknas:

$$q_{\text{total}} = q_{\text{fram}} + q_{\text{retur}} = K_1 \cdot (T_1 - T_0) + K_2 \cdot (T_2 - T_0)$$

$$U_l = \frac{q_{\text{total}}}{\left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0\right) \cdot L} = \frac{K_1(T_1 - T_0) + K_2(T_2 - T_0)}{\left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0\right) \cdot L}$$

Beteckningar enligt Figur 11.

I Tabell 8-11 presenteras 2 dimensioner av medierör DN32 och DN100.

Tabell 8. Beräknade konduktanser för fram- resp. returledning för enkelrörsförläggning med olika tjocklek på rörisoleringen. Medierörsdimension DN32 (stålrörets ytterdiameter 42,4 mm)
Calculated conductance for flow and return pipe. Single pipe construction. Different insulation thickness on both pipes. (Steel pipe outer diameter 42.4 mm). Newly produced pipes.

Medierörsdimension DN32 (42,4 mm) Nyttillverkade rör						
Framledning		Returledning		K_1^{ny}	K_2^{ny}	K_{1-2}^{ny}
diameter (mm)	typ	diameter (mm)	typ			
110	1	110	1	0,183	0,183	0,0056
125	2	110	1	0,183	0,161	0,0048
140	3	110	1	0,184	0,145	0,0044
160	4	110	1	0,184	0,132	0,0039
125	2	125	2	0,161	0,161	0,0042
140	3	125	2	0,162	0,147	0,0038
160	4	125	2	0,162	0,132	0,0034
140	3	140	3	0,147	0,147	0,0034
160	4	160	4	0,133	0,133	0,0027

Tabell 9. Beräknade konduktanser för fram- resp. returledning för enkelrörsförläggning med olika tjocklek på rörisoleringen. Medierörsdimension DN100 (stålrörets ytterdiameter 114,3 mm)
Calculated conductance for flow and return pipe. Single pipe construction. Different insulation thickness on both pipes. (Steel pipe outer diameter 114.3 mm). Newly produced pipes.

Medierörsdimension DN100 (114,3 mm) Nyttillverkade rör						
Framledning		Returledning		K_1^{ny}	K_2^{ny}	K_{1-2}^{ny}
diameter (mm)	typ	diameter (mm)	typ			
200	1	200	1	0,305	0,305	0,0140
225	2	200	1	0,254	0,303	0,0115
250	3	200	1	0,218	0,305	0,0097
280	4	200	1	0,192	0,306	0,0084
225	2	225	2	0,256	0,256	0,0945
250	3	225	2	0,220	0,257	0,0081
280	4	225	2	0,193	0,258	0,0070
250	3	250	3	0,221	0,221	0,0686
280	4	280	4	0,195	0,195	0,0513

Tabell 10. Beräknade konduktanser för fram- resp. returledning för enkelrörsförläggning med olika tjocklek på rörisoleringen. Medierörsdimension DN32 (stålrörets ytterdiameter 42,4 mm)
Calculated conductance for flow and return pipe. Single pipe construction. Different insulation thickness on both pipes. (Steel pipe outer diameter 42.4 mm). Average value of 50 years of operation.

Medierörsdimension DN32 (42,4 mm) Medelvärde för 50 års drift						
Framledning		Returledning		$K_1^{\text{medel 50}}$	$K_2^{\text{medel 50}}$	$K_{1-2}^{\text{medel 50}}$
diameter (mm)	typ	diameter (mm)	typ			
110	1	110	1	0,225	0,225	0,0068
125	2	110	1	0,220	0,193	0,0058
140	3	110	1	0,219	0,174	0,0052
160	4	110	1	0,221	0,158	0,0046
125	2	125	2	0,194	0,194	0,0051
140	3	125	2	0,194	0,176	0,0046
160	4	125	2	0,195	0,158	0,0040
140	3	140	3	0,177	0,177	0,0041
160	4	160	4	0,159	0,159	0,0032

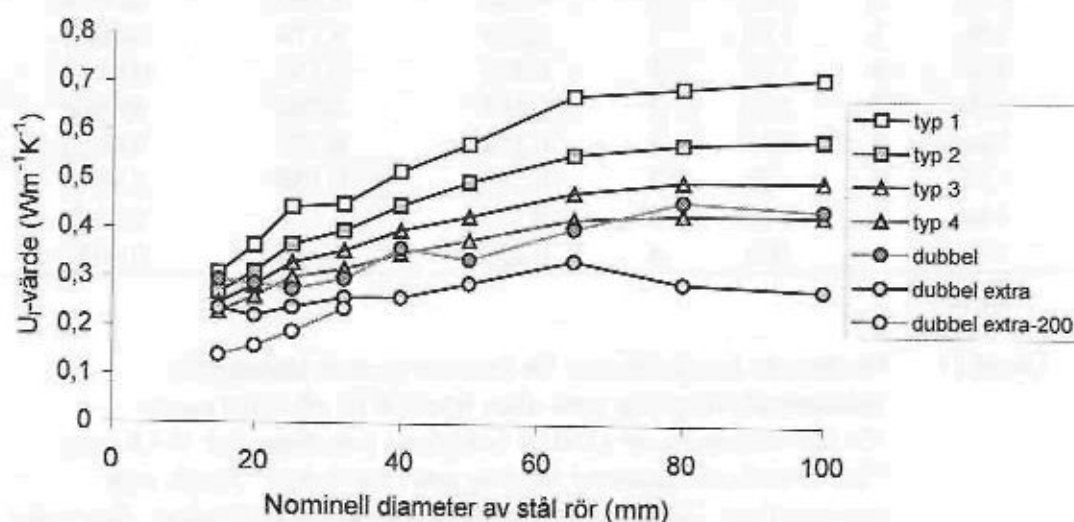
Tabell 11. Beräknade konduktanser för fram- resp. returledning för enkelrörsförläggning med olika tjocklek på rörisoleringen. Medierörsdimension DN100 (stålrörets ytterdiameter 114,8 mm)
Calculated conductance for flow and return pipe. Single pipe construction. Different insulation thickness on both pipes. (Steel pipe outer diameter 114.3 mm). Average value of 50 years of operation.

Medierörsdimension DN100 (114,8 mm) Medelvärde för 50 års drift						
Framledning		Returledning		$K_1^{\text{medel 50}}$	$K_2^{\text{medel 50}}$	$K_{1-2}^{\text{medel 50}}$
diameter (mm)	typ	diameter (mm)	typ			
200	1	200	1	0,358	0,358	0,0165
225	2	200	1	0,294	0,358	0,0133
250	3	200	1	0,247	0,358	0,0111
280	4	200	1	0,213	0,358	0,0094
225	2	225	2	0,294	0,294	0,0105
250	3	225	2	0,249	0,297	0,0093
280	4	225	2	0,214	0,298	0,0080
250	3	250	3	0,252	0,252	0,0078
280	4	280	4	0,216	0,216	0,00056

4.4 Sammanställning av U_I -värden

Samtliga beräknade transmissionskoefficienter (U_I -värden) redovisas i Figur 12. Resultat presenteras för enkelrör med 4 olika isoleringsgrader, där typ 1 motsvarar rör med den minsta isoleringstjockleken, 26-40 mm, där typ 2 motsvarar rör med vad som i många fall betecknas som normaltjock isolering, 36-52 mm, där typ 3 motsvarar rör med extra tjock isolering, 43-64 mm och där typ 4 motsvarar en tänkt isoleringstjocklek som inte för närvarande är kommersiellt tillgänglig, 50-78 mm. Dubbelrör redovisas med normal isoleringsstandard, extra isoleringstjocklek och en variant där mantelrörsdimensionen ej understiger 200 mm. Dubbelrör tillverkas och tillhandahålls endast med en isoleringsstandard (normal).

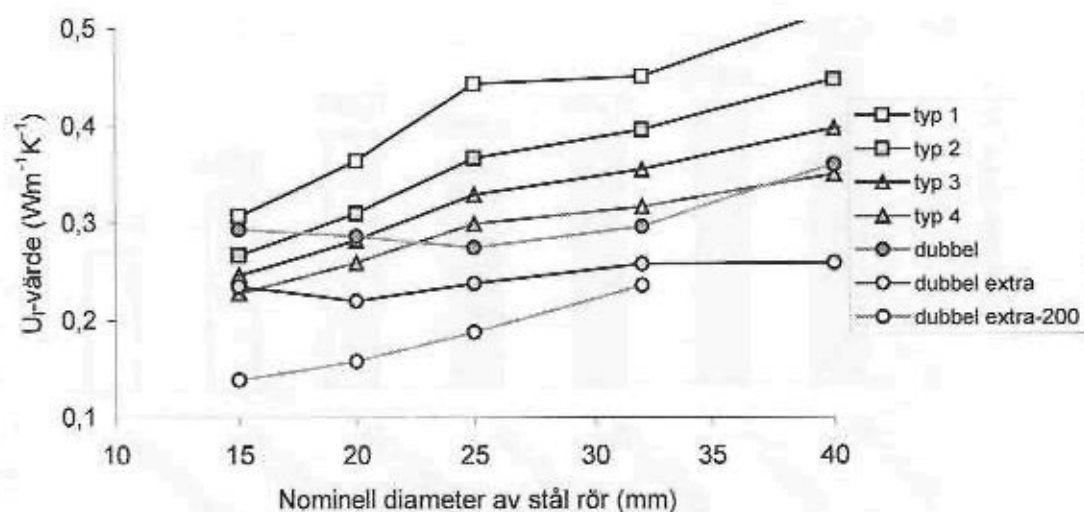
Samtliga transmissionskoefficienter är presenterade som medelvärden under 50 års drifttid för rörkonstruktionen. I Bilaga 2 redovisas samtliga rördimensioner i detalj.



Figur 12. Sammanställning av transmissionskoefficienter för medierör DN15–DN100. Jämförelse mellan enkelrörskonstruktion och dubbelrörskonstruktion, med olika isoleringsstandard.
Summary of calculated transmission coefficients for pipe diameters DN 15–DN100. Comparison between single pipe and twin pipe construction. Pipes with different insulation thickness.

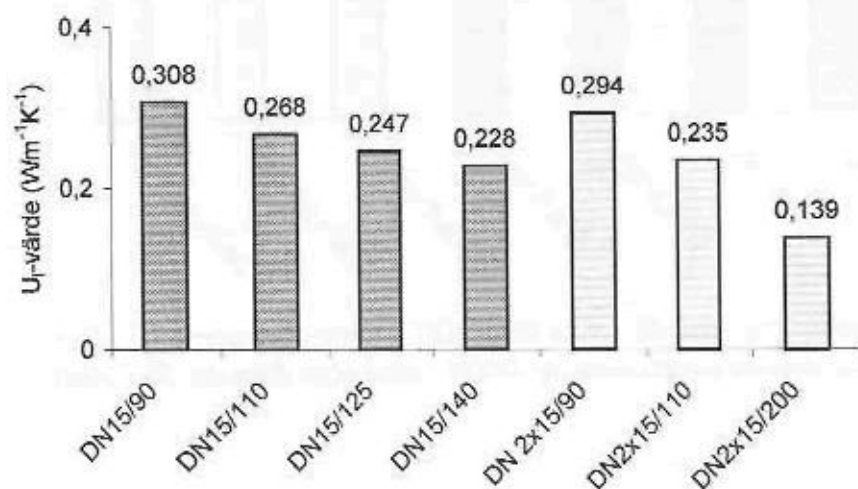
En klar trend går att utläsa i Figur 12, där transmissionskoefficienten för en ett dubbelrör har ungefär samma isoleringsvärde som för två enkelrör av typ 4. Dubbelrörskonstruktionen har för de flesta dimensionerna en klart bättre isoleringsstandard än de kommersiellt tillgängliga enkelrörsalternativen.

Det bör dock påpekas att för dimensionerna DN15 och DN 20 förhållandena inte är så gynnsamma för dubbelröret. För dessa dimensioner används ett mantelrör med diametern 90 mm. (Även enkelrören är försedda med mantelrör med denna dimension.) Detta betyder att dubbelröret för dimensionerna DN15 och DN 20 kan betraktas som svagt isolerade och borde följaktligen förses med tjockare isolering.

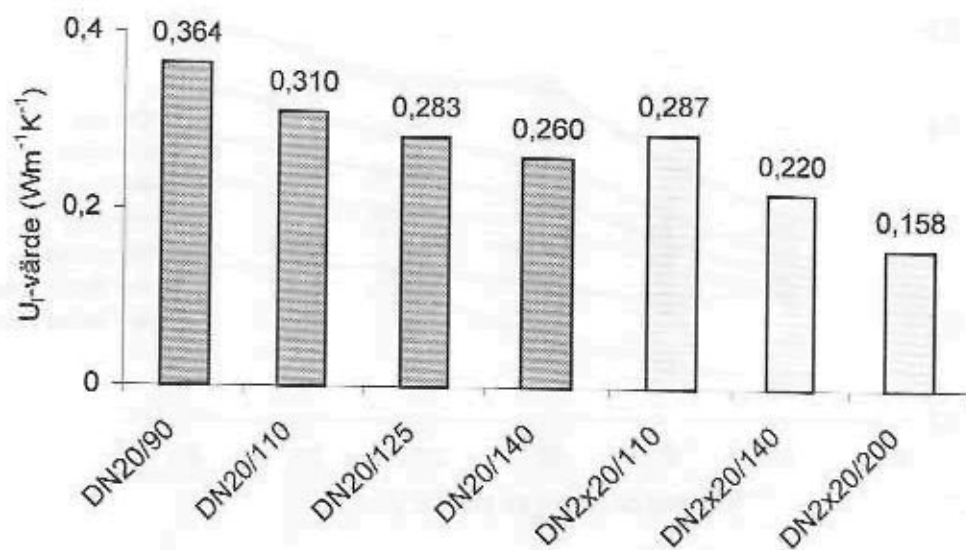


Figur 13. Detalj av resultatredovisning för dimensionerna DN15, DN20, DN25, DN32 och DN40.
Detailed presentation for pipe dimensions DN15, DN20, DN25, DN32 and DN40.

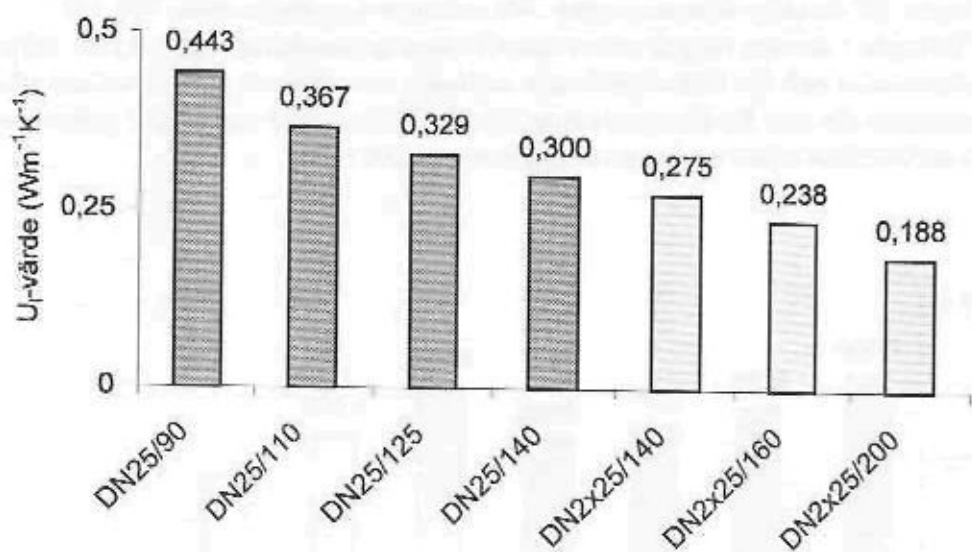
Nedan följer en mer detaljerad sammanställning av erhållna transmissionskoefficienter för de olika dimensionerna. För enkelrörskonstruktionen, dvs. två enelrör förlagda i samma rörgrav redovisas 4 isoleringstjocklekar (typ 1-4) för varje stålördsdimension och för dubbelrörskonstruktionen redovisas ett normalisolerat rör, ett extraisolerat rör och för dimensionerna DN15, DN20 DN25 och DN32 redovisas även en dubbelrörskonstruktion med mantelrörsdiameter 200 mm.



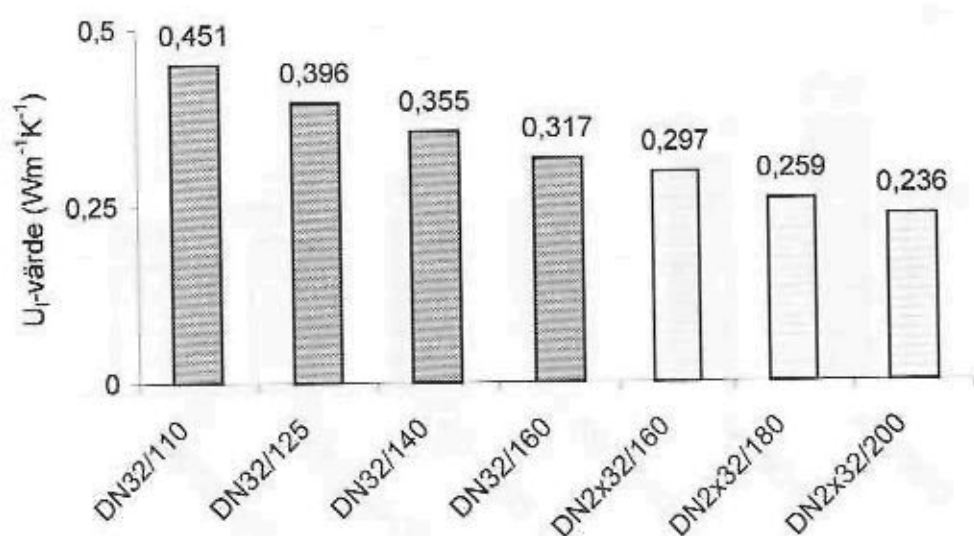
Figur 14. Transmissionskoefficienter för DN15 (stålördsdiameter 21,3 mm).
Transmission coefficients for DN15 (steel pipe diameter 21.3 mm)



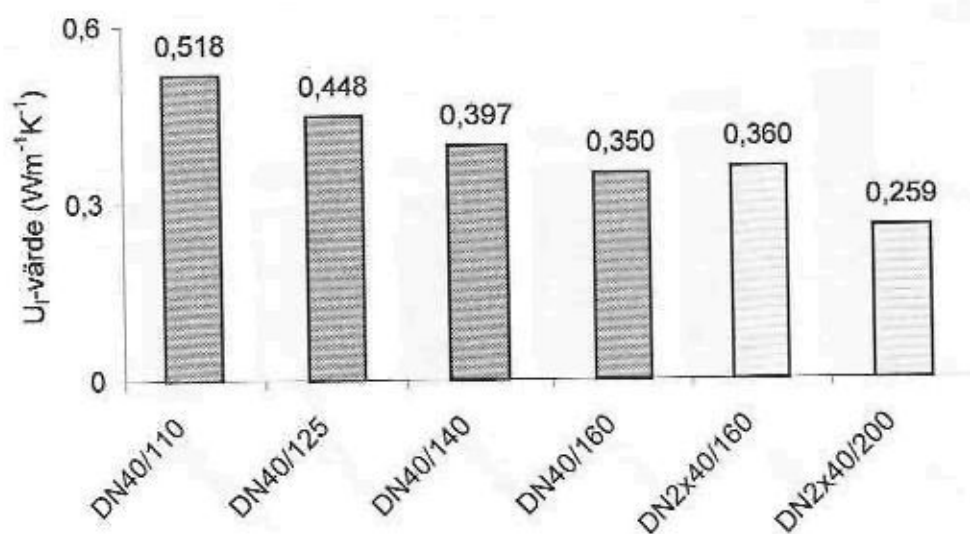
Figur 15. Transmissionskoefficienter för DN20 (stålrörsdiameter 26,9 mm).
 Transmission coefficients for DN20 (steel pipe diameter 26.9 mm)



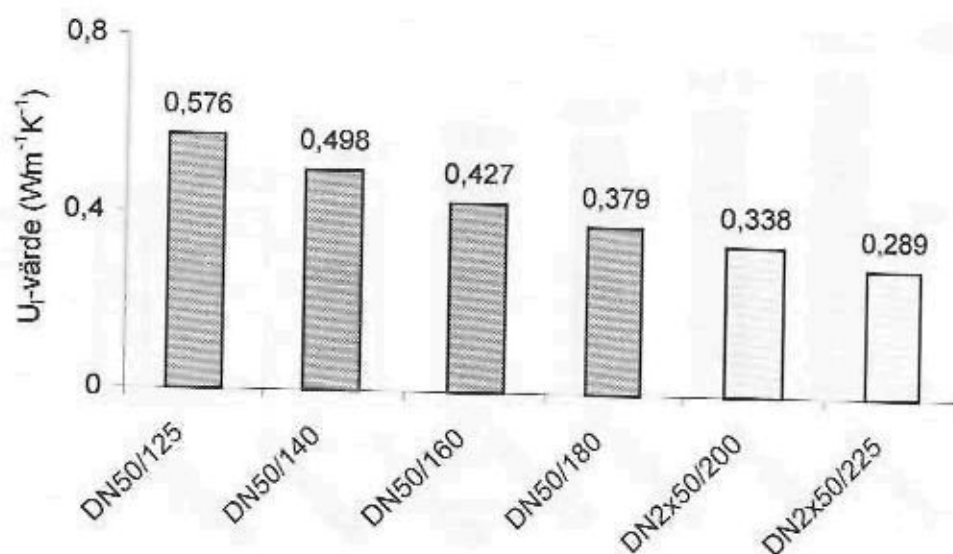
Figur 16. Transmissionskoefficienter för DN25 (stålrörsdiameter 33,7 mm).
 Transmission coefficients for DN25 (steel pipe diameter 33.7 mm)



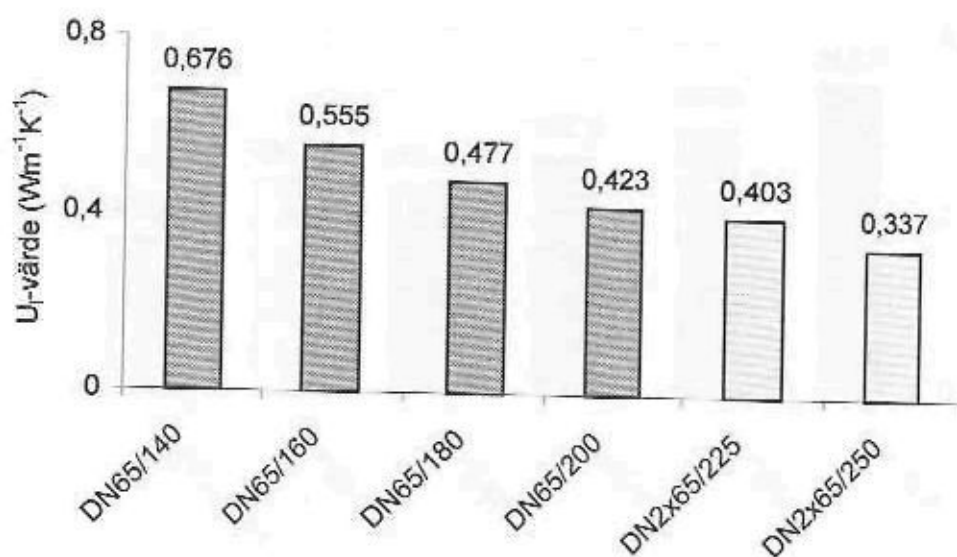
Figur 17. Transmissionskoefficienter för DN32 (stålrörsdiameter 42,2 mm).
 Transmission coefficients for DN32 (steel pipe diameter 42.2 mm)



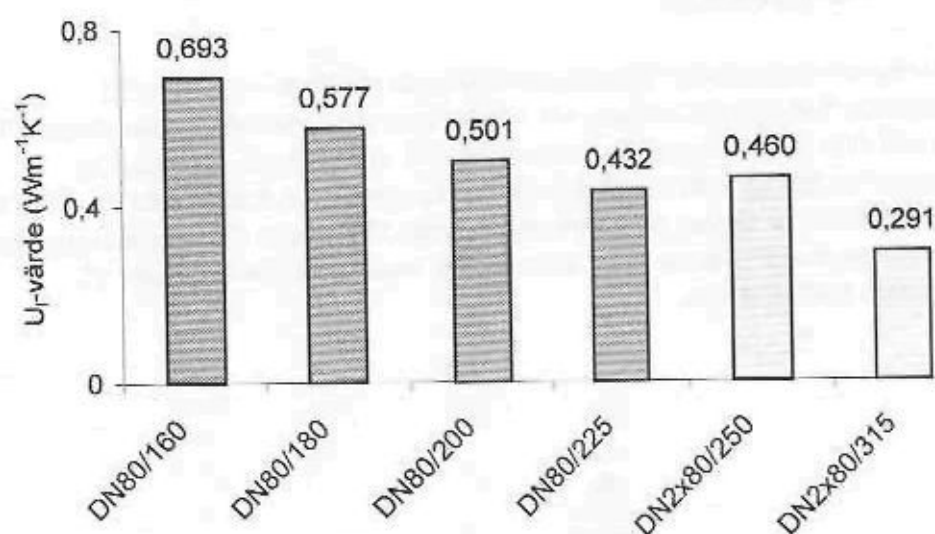
Figur 18. Transmissionskoefficienter för DN40 (stålrörsdiameter 48,2 mm).
 Transmission coefficients for DN40 (steel pipe diameter 48.2 mm)



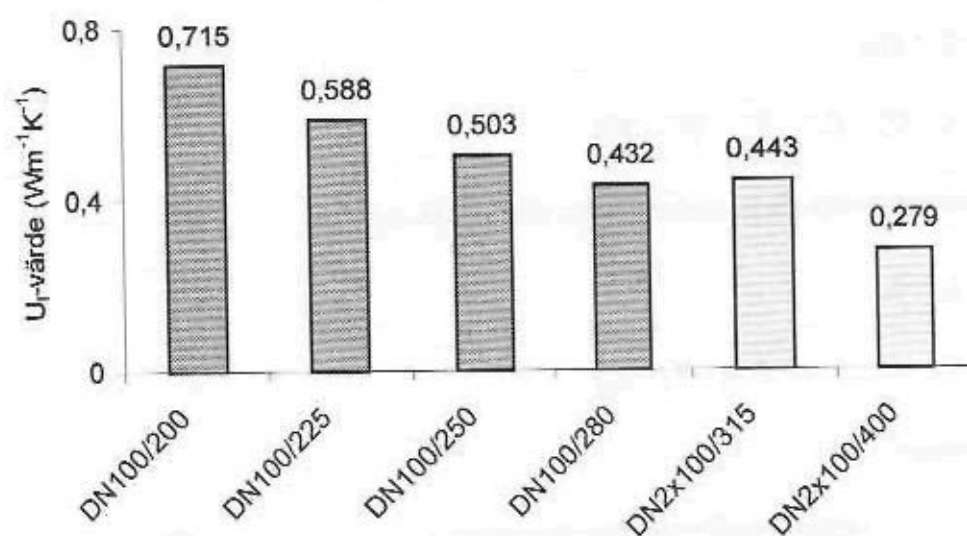
Figur 19. Transmissionskoefficienter för DN50 (stålrörsdiameter 60,3 mm).
 Transmission coefficients for DN50 (steel pipe diameter 60.3 mm)



Figur 20. Transmissionskoefficienter för DN65 (stålrörsdiameter 76,1 mm).
 Transmission coefficients for DN65 (steel pipe diameter 76.1 mm)



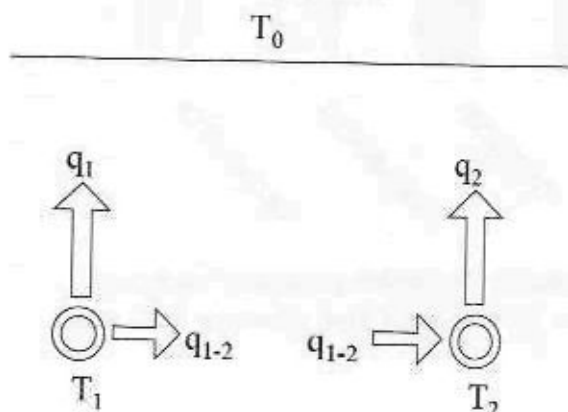
Figur 21. Transmissionskoefficienter för DN80 (stålrörsdiameter 88,9 mm).
Transmission coefficients for DN100 (steel pipe diameter 88.9 mm)



Figur 22. Transmissionskoefficienter för DN100 (stålrörsdiameter 114,3 mm).
Transmission coefficients for DN100 (steel pipe diameter 114.3 mm)

5. Värmebalans

En betraktelse av värmeflödet från två markförlagda rör beskrivs i Figur 23. Nettoförlusterna från framledningen, rör 1, innefattar dels värmeförlusten riktad till markytan och dels till intilliggande returledning. På motsvarande sätt erhåller returledningen ett bidrag från framledningen. I princip skulle detta kunna medföra att framledningen förlorar värme till returledningen med betydelse för temperaturnivån på framledningsvattnet. Storleken av värmeflödet mellan rör 1 och 2 beror på konduktiviteten mellan rören.



Figur 23. Värmebalans mellan framledning, returledning och mark.
Heat balance between flow and return pipe in the ground.

$$q_1^{\text{netto}} = q_1 + q_{1-2}$$

$$q_1^{\text{netto}} = K_1 \cdot (T_1 - T_0) + K_{1-2} \cdot (T_1 - T_2)$$

På motsvarande sätt fås nettoförlusterna från returledningen.

$$q_2^{\text{netto}} = q_2 - q_{1-2}$$

$$q_2^{\text{netto}} = K_2 \cdot (T_2 - T_0) + K_{1-2} \cdot (T_2 - T_1)$$

Beteckningar:

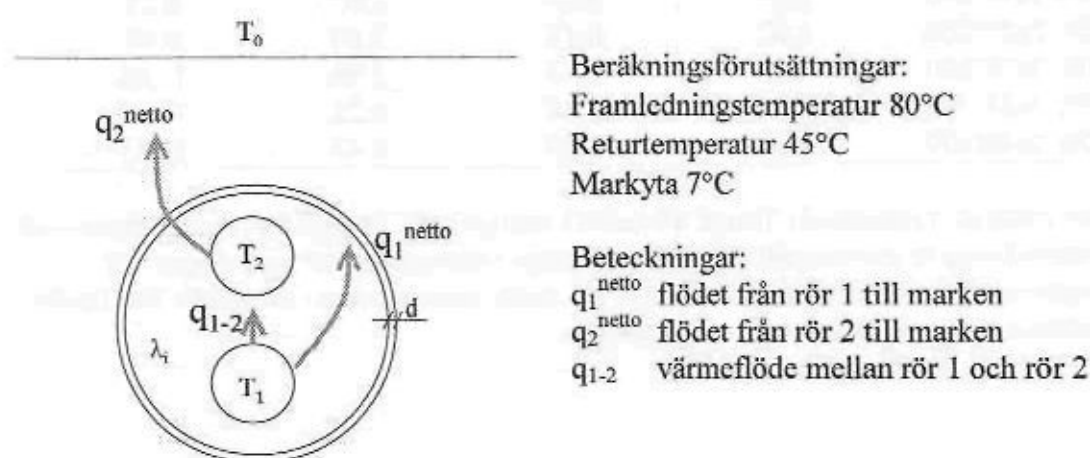
q_1^{netto}	nettovärmeförlust från framledning	(W·m ⁻¹)
q_2^{netto}	nettovärmeförlust från returledning	(W·m ⁻¹)
q_1	total värmeavgivning från framledning	(W·m ⁻¹)
q_2	total värmeavgivning från returledning	(W·m ⁻¹)
q_{1-2}	värmeöverföring mellan fram- och returledning	(W·m ⁻¹)
T_0	lufttemperatur	(°C)
T_1	framledningstemperatur	(°C)
T_2	returledningstemperatur	(°C)
K_1	konduktans rör 1	(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
K_2	konduktans rör 2	(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
K_{1-2}	konduktans mellan rör 1 och 2	(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)

5.1 Två rör i mark (enkelrörsförläggning)

I kap. 4 redovisas konduktanser för enkelrörskonstruktionen. Konduktansen för värmetransport mellan de båda rören är mycket liten i jämförelse med de konduktanser som beskriver värmetransporten till markytan. Det interna värmeflödet mellan fram- och returledning för två rör förlagda i mark med ett fritt avstånd av 0,2 m mellan rören är mindre än 2 % av det totala värmeflödet till markytan. Detta medför att denna värmetransport kan försummas vid beräkningar av distributionsförlusterna.

5.2 Dubbelrör i mark

Vid användning av dubbelrör kommer det interna värmeutbytet mellan fram- och returledning att ha en större inverkan än vid traditionell förläggning av två enkelrör i samma rörgrav. Den totala värmeavgivningen, distributionsförlusterna, till omgivningen, dvs. konstruktionens isoleringsstatus påverkas inte av den interna värmeöverföringen från fram- till returledning. Däremot kommer framledningens nettoförlust att innehålla både värmeläcketaget till markytan och till returledningen och ger ett högre värde än vad en första betraktelse ger. Denna information är av betydelse om temperatursänkningen per löpmeter kulvert skall kunna beräknas och tas hänsyn till.



Figur 24. Beteckningar för värmefflödet från ett dubbelrör.
Terms used in describing the heat flow from twin pipes

Tabell 12. Resultat av beräkning av värmebalansen hos ett dubbelrör.
 Isoleringstjocklek: normal.
Calculation results of heat balance of a twin pipe. Insulation thickness: Normal.

	q_1^{netto}	Q_2^{netto}	q_{1-2}	q_{total}
DN 2x15/90	14,24	3,38	2,50	17,61
DN 2x20/110	14,24	2,94	2,79	17,18
DN 2x25/140	13,80	2,69	2,81	16,49
DN 2x32/160	15,10	2,69	3,24	17,79
DN 2x40/160	17,92	3,70	3,51	21,62
DN 2x50/200	17,22	3,05	3,71	20,27
DN 2x65/225	20,36	3,80	4,25	24,16
DN 2x80/280	22,39	5,21	3,99	27,60
DN 2x100/315	22,24	4,36	4,51	26,60

Tabell 13. Resultat av beräkning av värmebalansen hos ett dubbelrör.
 Isoleringstjocklek: mantelrörsdiameter 200 mm.
Calculation results of heat balance of a twin pipe. Insulation thickness: Casing pipe diameter is 200 mm.

	q_1^{netto}	Q_2^{netto}	q_{1-2}	q_{total}
DN 2x15/200	8,19	0,09	2,67	8,28
DN 2x20/200	9,32	0,15	3,00	9,47
DN 2x25/200	10,34	0,72	2,96	11,06
DN 2x32/200	12,19	1,26	3,22	13,45
DN 2x40/200	13,72	1,69	3,45	15,41

Av resultaten redovisad i Tabell 14 och 15 framgår att "läckflödet" mellan fram- och returledning är procentuellt stort. Desto större värmemotstånd man skapar för rörkonstruktionen för värmeläckage ut till markvolymen desto större blir läckflödet relativa värmeförlusterna till omgivningen.

6. Värmeproduktion

Svensk Fjärrvärme redovisar för verksamhetsåret 2000 att energi motsvarande 51,1 TWh utnyttjades för värme och elproduktion [10]. Denna energi inkluderar 3,7 TWh för produktion av kombinerad värme och kraft. Den relativa andelen av bränslen som används vid produktion av fjärrvärme framgår av Tabell 14. För värmepumpar utnyttjades 2,2 TWh elektricitet för att producera 7,1 TWh värme. Värmepumparna utnyttjade framför att spillvatten samt vatten från sjöar. Under rubriken övriga bränslen har inga emissioner förts, vilket kan föranleda diskussioner. För att hantera denna fråga mer ingående krävs en mer detaljerad studie, och detta kan leda till att viss del av miljöbelastningen bör föras till fjärrvärmens i stället för att som i Tabell 14 helt vara allokerad till någon annan verksamhet.

Tabell 14. Bränslen använda för produktion av fjärrvärme i Sverige 2000 [10]. Emissioner till luft beräknade från livscykelanalyser av bränslen som används vid produktion av fjärrvärme [11].
Fuels used for production of district heating in Sweden 2000. [10]
Emissions to air are based on life cycle assessment of fuels for production of district heating [11].

	Användning av bränslen %	Emissioner till luft g/kWh			
		CO ₂	NO _x	SO _x	CO
Fossila bränslen					
Kol	4.3	382	0.28	0.28	0.17
Olja	5.1	313	0.47	0.76	0.07
petroleumgas (vätska)	0.4	270	0.33	0.06	0.05
naturgas	5.5	209	0.23	0.00	0.04
Torv	4.9	353	0.30	0.52	0.34
Bio bränslen					
biomassa från skog	27.4	10	0.33	0.14	1.08
Tallbeck-olja	3.2	86	1.62	1.44	0.08
Biogas	0.6	11	0.17	0.01	0.05
fils från skogsavfall	2.9	7	0.33	0.17	1.04
avfall/sopor hushåll	11.4	83	0.20	0.20	0.10
Elektricitet					
Kokare	3.8	45	0.07	0.05	0.01
värmepumpar	14.9	14	0.02	0.01	0.00
Övriga bränslen					
industriell spillvärme	7.4	0	0	0	0
högtemperaturvatten	6.5	0	0	0	0
övrigt	1.7	0	0	0	0
Emissioner (medel)		81	0.27	0.21	0.42

Den totala distributionsförlusten under 50 års drifttid har beräknats för 1,0 m av en fjärrvärmerörskonstruktion. Vid beräkningen har antagits en årlig medeltemperatur av 7°C, vilket motsvarar Göteborgsregionen och temperaturen på fram- respektive returledning har antagits vara 80°C och 45°C. Produktion av värme till fjärrvärmenätet är baserat på den energi-mix som redovisas för Sverige år 2000. Utifrån denna har sedan emissionerna till luft beräknats under 50 års drift för 2 dimensioner DN32 och DN100.

Tabell 15. Transmissionskoefficient (U) för fjärrvärmerör (DN32 och DN100) med olika isoleringstjocklek och motsvarande värmeförluster under 50 års drift för 1,0 m av rörkonstruktionen omräknat till emissioner till luft. *Transmission coefficients (U-value) for district heating pipes (dimension DN32 and DN100) with different thickness of insulation and corresponding emissions to air. Pipe length of 1.0 m during 50 years of operation.*

	Transmissions- koefficient $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	Emission till luft under 50 år för 1 m rörkonstruktion			
		kg CO ₂	kg NO _x	kg SO _x	kg CO
DN32, typ 1	0.45	890	3.0	2.3	4.6
DN32, typ 2	0.40	780	2.6	2.0	4.0
DN32, typ 3	0.36	700	2.3	1.8	3.6
DN32, typ 4	0.32	630	2.1	1.6	3.2
DN32, dubbel	0.30	590	2.0	1.5	3.0
DN32, dubbel extra	0.26	510	1.7	1.3	2.6
DN100, typ 1	0.72	1410	4.7	3.6	7.2
DN100, typ 2	0.56	1100	3.7	2.8	5.7
DN100, typ 3	0.50	990	3.3	2.6	5.1
DN100, typ 4	0.43	850	2.8	2.2	4.4
DN100, dubbel	0.44	880	2.9	2.3	4.5
DN100, dubbel extra	0.28	550	1.8	1.4	2.8

Av Tabell 15 framgår att emissionerna till luft är mindre för dubbelrörskonstruktion än för enkelrörskonstruktion för dimensioner upp till DN100. Generellt kan man konstatera att detta gäller för de kommersiellt tillgängliga isoleringstjocklekarna. Om enkelrören isoleras med ännu tjockare isolering, typ 4, erhålles jämförbara resultat.

8. REFERENCES

1. Olsson M., Long-Term Thermal Performance of Polyurethane-Insulated District Heating Pipes (2001), Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Sweden.
2. Isberg J., The Thermal Conductivity of Polyurethane Foam (1988), Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Sweden.
3. Svanström M., Ramnäs O., Olsson M. and Jarfelt U., *J. Thermal Ins. and Build. Env.*, **21** (1997) 171.
4. Jarfelt U., Field Measurements of Gas Diffusion from District Heating Pipes, Chalmers University of Technology, Sweden, 1998.
5. Olsson M., Jarfelt U. and Ramnäs O., Diffusion of Carbon Dioxide and Cyclopentane in Polyurethane-Insulated District Heating Pipes, Proceedings of the 7th International Symposium on District Heating and Cooling, 18-20 May, Lund, Sweden (1999).
6. Touloukian Y.S., Saxena S.C. and Hestermans P., Thermophysical Properties of Matter, The TPRC Data Series, Vol. 3, IFI/Plenum Publishing Corp., New York, 1970.
7. Brodt K., Thermal insulations: cfc-alternatives and vacuum insulation (1995), Doctoral thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
8. Fröling M., Jarfelt U. and Ramnäs O., Insulation of district heating pipes – Environmental aspects of the blowing agent of polyurethane foam, Proceedings of the 7th International Symposium on District Heating and Cooling, 18-20 May, Lund, Sweden (1999).
9. Wallentén P., Steady-state heat loss from insulated pipes (1991), Licentiate thesis, Lund Institute of Technology, Sweden.
10. Statistics from Swedish District Heating Association, SE-101 53 Stockholm, Sweden.
11. Uppenberg S. *et al*, Environmental facts about fuels (written in Swedish: Miljöfaktabok för bränslen), IVL-report B1334, 1999.
12. Fröling M., Environmental and Thermal Performance of District Heating Pipes (2002), Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Sweden.
13. Myrehed, M., Muliepole method to compute the conductive heat flows to and between pipes in a composite region: pipes in a circle in a half-plane (1989), Lund Institute of Technology, Sweden.

Bilaga 1. Distributionsförluster

Med hjälp av transmissionskoefficienten, U_i -värdet, för fjärrvärmerörskonstruktionen kan distributionsförlusterna beräknas under givna temperaturförhållanden.

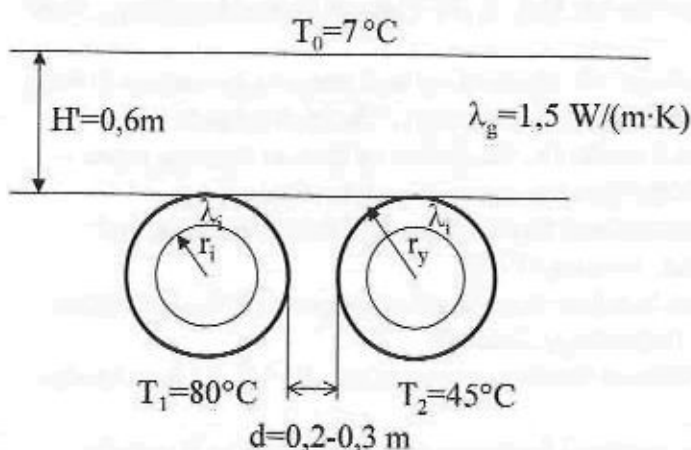
$$Q = (K_1 + K_2) \cdot \Delta T \cdot L \quad (\text{W})$$

där

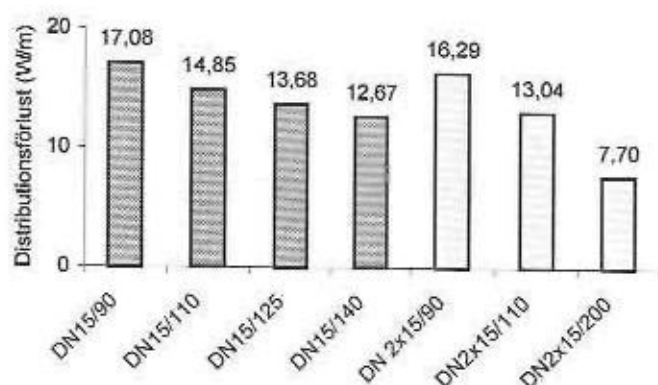
$$\Delta T = \frac{(T_1 + T_2)}{2} - T_0$$

Nedan följer exempel på distributionsförlusternas storlek för respektive medierörsdimension.

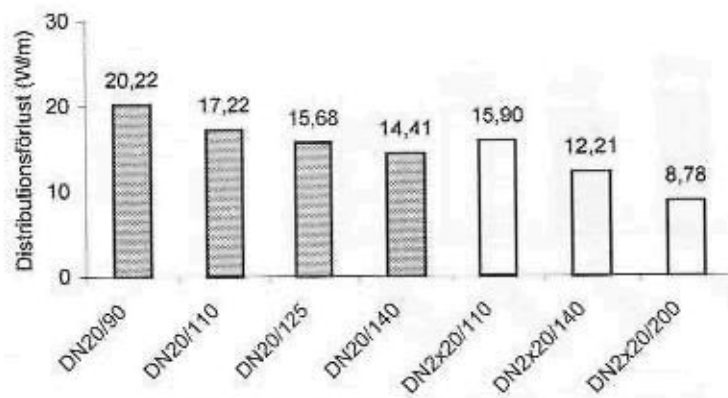
Beräkningsantaganden:



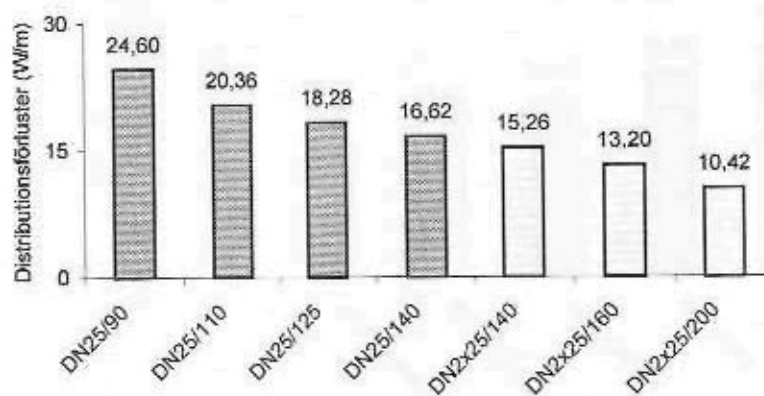
Figur 25. Beräkningsantaganden för bestämning av distributionsförluster. Dimensioner för rör återfinns i bilaga 2.
Calculation parameters.



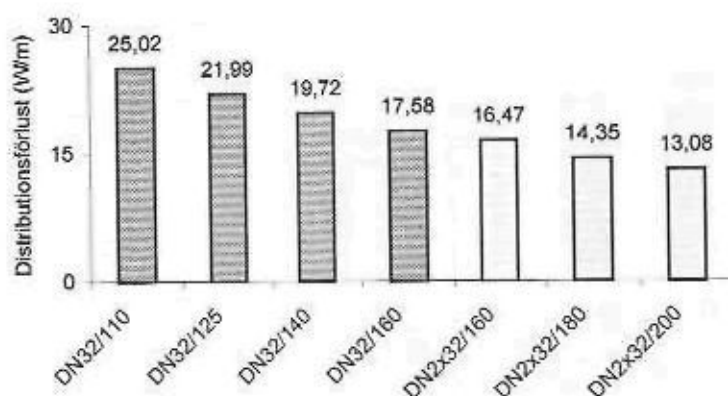
Figur 26. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN15.
Calculation of heat losses. Dimension DN15.



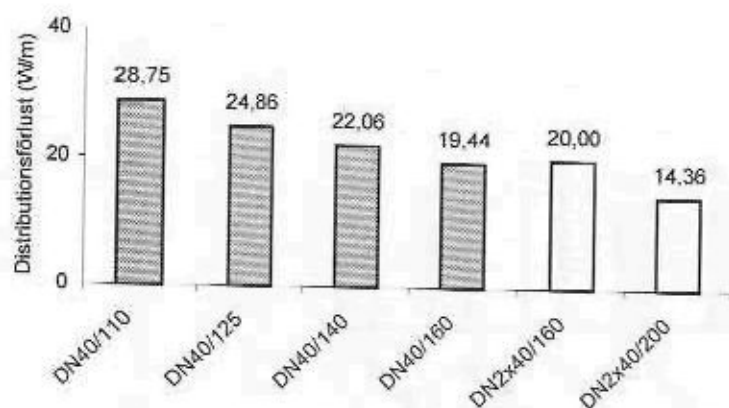
Figur 27. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN20.
Calculation of heat losses. Dimension DN20.



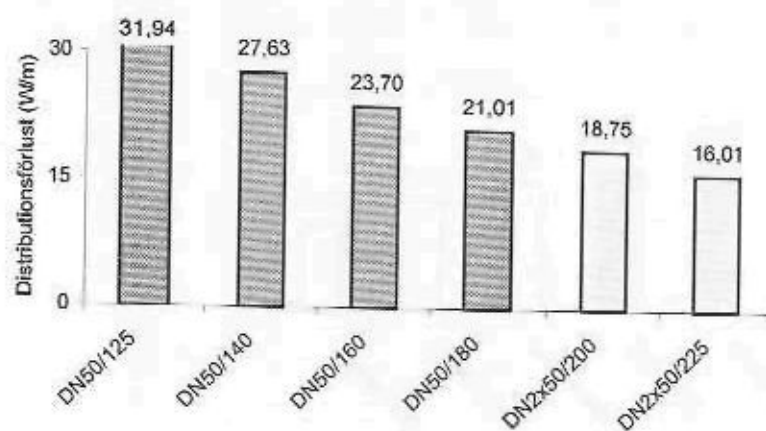
Figur 28. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN25.
Calculation of heat losses. Dimension DN25.



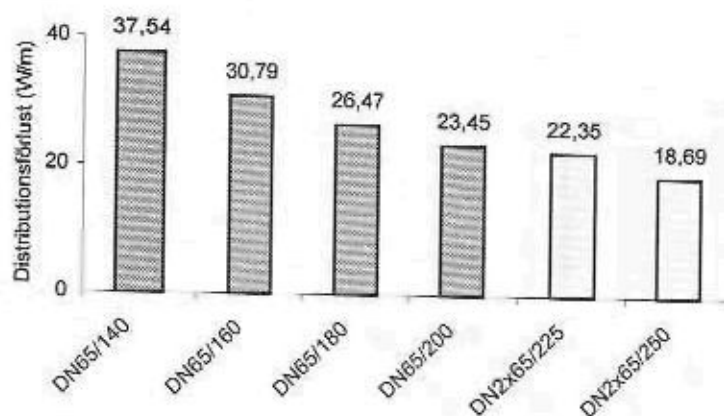
Figur 29. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN32.
Calculation of heat losses. Dimension DN32.



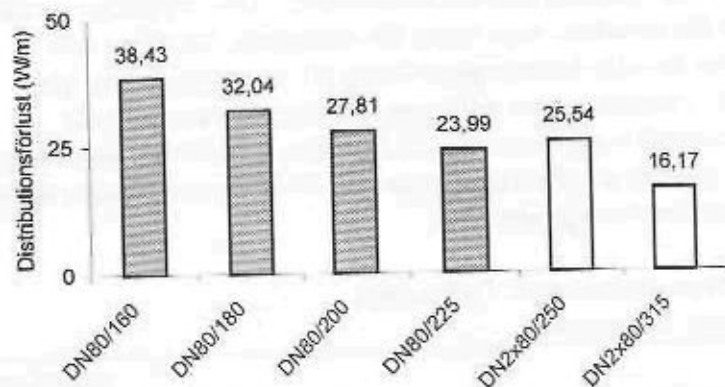
Figur 30. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN40.
Calculation of heat losses. Dimension DN40.



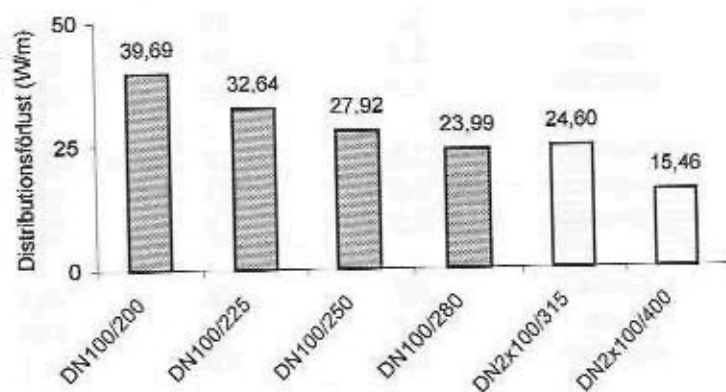
Figur 31. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN50.
Calculation of heat losses. Dimension DN50.



Figur 32. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN65.
Calculation of heat losses. Dimension DN65.



Figur 33. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN80.
Calculation of heat losses. Dimension DN80.



Figur 34. Resultat av beräkningar för distributionsförluster för DN100.
Calculation of heat losses. Dimension DN100.

Bilaga 2

I nedanstående tabell redovisas fjärrvärmerörens dimensioner. De i rapporten använda isoleringsgraderna, typ 1-4 för enklerör, resp. extra för dubbelrör, återfinns inte os rörproducenterna. Där kallas de olika isoleringsgraderna för ex.vis plus, plus-plus, serie 1 serie 2 och liknande. I denna rapport gäller att samtliga förekommande dimensioner har sin motsvarighet i standarden EN253, vilken beskriver diametrar på medie- och mantelrör. Det medför att de rördiametrar som förekommer i denna rapport mycket väl lämpar sig för seriemässig produktion.

Tabell 16. Fjärrvärmerörens dimensioner. Dubbelrör.
Pipe dimensions. Twin pipe.

Medierör	Mantelrör		Mantelrörets tjocklek (mm)	Avstånd mellan medierör (mm)	Isolerings-tjocklek (mm)
	diameter (mm)	isoleringsgrad (typ)			Minimum vid hjässa och botten
DN 2x15 (21,3 mm)	90	normal	2,2	15	14,0
	110	extra	2,5	15	23,5
	200	extra-200	3,2	15	68,0
DN 2x20 (26,9 mm)	110	normal	2,5	15	18,1
	140	extra	3,0	15	32,6
	200	extra-200	3,2	15	62,4
DN 2x25 (33,7 mm)	140	normal	3,0	19	24,3
	160	extra	3,0	19	33,8
	200	extra-200	3,2	19	54,1
DN 2x32 (42,4 mm)	160	normal	3,0	19	25,6
	180	extra		19	35,1
	200	extra-200	3,2	19	45,4
DN 2x40 (48,2 mm)	160	normal	3,0	19	19,8
	200	extra	3,2	19	39,6
				19	
DN 2x50 (60,3 mm)	200	normal	3,2	20	26,5
	225	extra	3,5		38,7
DN 2x65 (76,1 mm)	225	normal	3,5	20	22,9
	250	extra	3,9		35,0
DN 2x80 (88,9 mm)	250	normal	3,9	25	19,7
	315	extra	4,9		51,2
DN 2x100 (114,8 mm)	315	normal	4,9	25	25,3
	400	extra	6,3		66,4

Tabell 17. Fjärrvärmerörens dimensioner. Enkelrör.
Pipe dimensions. Single pipe.

Medierör	Mantelrör		Mantelrörens		Isoleringstjocklek (mm)
	diameter (mm)	isolerings- grad (typ)	tjocklek (mm)		
DN15 (21,3 mm)	90	1	2,2		32,1
	110	2	2,5		41,8
	125	3	2,5		49,3
	140	4	3,0		56,3
DN20 (26,9 mm)	90	1	2,2		29,3
	110	2	2,5		39,0
	125	3	2,5		46,5
	140	4	3,0		53,5
DN25 (33,7 mm)	90	1	2,2		25,9
	110	2	2,5		35,6
	125	3	2,5		43,1
	140	4	3,0		50,1
DN32 (42,4 mm)	110	1	2,5		31,3
	125	2	2,5		38,8
	140	3	3,0		45,8
	160	4	3,0		55,8
DN40 (48,2 mm)	110	1	2,5		28,4
	125	2	2,5		35,9
	140	3	3,0		42,9
	160	4	3,0		52,9
DN50 (60,3 mm)	125	1	2,5		29,8
	140	2	3,0		36,8
	160	3	3,0		46,8
	180	4	3,0		56,8
DN65 (76,1 mm)	140	1	3,0		28,9
	160	2	3,0		38,9
	180	3	3,0		48,9
	200	4	3,2		58,7
DN80 (88,9 mm)	160	1	3,0		32,5
	180	2	3,0		42,5
	200	3	3,2		52,3
	225	4	3,5		64,5
DN100 (114,8 mm)	200	1	3,2		39,7
	225	2	3,5		51,9
	250	3	3,9		64,0
	280	4	4,4		78,5

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Fjärrvärmeföreningens Förlagsservice.
Telefon: 026 - 24 90 24, Telefax: 026 - 24 90 10, www.fjarrvarme.org

Nr	Titel	Författare	Publicerad
FORSKNING OCH UTVECKLING - RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxierlining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abbonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walltun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledning	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walltun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem - en litteraturstudie	Peter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulvertrör "Hisings-Backa"	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpen	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jérker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-99
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeartervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskalörsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylennät - Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport "Neuartige Wärmeverteilung"	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närrvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Lars-Åke Cronholm Gunnar Bergström Stefan Nilsson	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Sven-Erik Sällberg Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från lagging av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik - fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor - Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med "flygfoton" – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrsystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enklerör	Ulf Jarfelt	dec-02

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wärdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme
hetvattenteknik och fjärrkyla.

SVENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 026 - 24 90 24, Telefax 026 - 24 90 10