



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R185:1984

Ekonomisk isoleringstjocklek för direktskummande fjärr- värmeledningar

Sture Andersson mfl

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Sev

K
Adt

Byggeforskningsrådet

R185:1984

EKONOMISK ISOLERINGSTJOCKLEK FÖR
DIREKTSKUMMADE FJÄRRVÄRMELEDNINGAR

Sture Andersson
Dan Olofsson
Håkan Carlsson
Sven Werner

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791209-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till Svenska Värmeverksföreningen, Malmö

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat

R185:1984

ISBN 91-540-4279-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING.....	5
1. INLEDNING.....	7
2. BERÄKNINGSUTTRYCK FÖR VÄRMEFÖRLUSTER.	11
2.1 Beräkningsuttryck.....	11
2.2 Referensfall.....	13
3. PARAMETERSTUDIE.....	17
3.1 Temperatur.....	17
3.2 Värmeledningstal-isolering.....	20
3.3 Värmeledningstal-mark.....	24
3.4 Fyllningshöjd.....	29
3.5 Avstånd mellan rör.....	30
3.6 Olika isoleringstjocklek för fram- och returledning.....	32
3.7 Fyra rör.....	33
4. KOSTNAD FÖR VÄRMEFÖRLUSTER.....	37
4.1 Prissättning av distributionsför- luster-nuläge.....	37
4.2 Medelkostnad för total värme- produktion.....	39
4.3 Medelkostnad för distributions- förluster.....	41
5. MARGINALKOSTNADER FÖR KULVERTMATERIAL OCH MARKARBETEN.....	43
5.1 Kulvertmaterial.....	43
5.2 Markarbeten.....	44
6. VAL AV ISOLERINGSTJOCKLEK.....	47
6.1 Diagram.....	47
6.2 Rekommenderade isoleringstjocklekar..	53
6.3 Jämförelse med nuvarande isolerings- standard.....	56
7. ÖVRIGT.....	57
7.1 Isolering av kammare.....	57
7.2 Dräneringsledningarnas betydelse för värmeförlusterna.....	58
REFERENSER.....	61
BILAGA 1-6	

BILAGOR

- Bilaga 2.1 Värmeförlust för fjärrvärmeledning med lika tjock isolering på fram- och returledning.
- Bilaga 2.2 Värmeförlust för fjärrvärmeledning med olika tjock isolering på fram- och returledning.
- Bilaga 2.3 Värmeförlust från fjärrvärmeledning med fyra rör (två rörpar).
- Bilaga 3.1 Årsmedeltemperaturen i Sverige. Medelvärde av jordtemperaturen den 15:de varje månad för perioden 1961-70.
- Bilaga 3.2 Exempel på fram- och returledningstemperaturer.
- Bilaga 3.3 Principiellt samband mellan fukthalt, densitet och värmeledningstal för fin- och grovkornigt material.
- Bilaga 4.1 Utdrag ur ref Leckner 1980.
- Bilaga 4.2 Exempel på beräkning av medelkostnad per MWh för distributionförlusten (enligt alt A)
- Bilaga 5.1 Typsektioner samt erforderliga mängder för olika isoleringstjocklekar.
- Bilaga 5.2 Marginalkostnader (á-priser) för markarbeten vid ökad isolering.
- Bilaga 6.1 Isoleringsstandardens fördelning på olika kulvertdimensioner för kulvertleveranser till värmeverk under de senaste åren.

SAMMANFATTNING

Syftet med denna rapport är att den ska utgöra ett hjälpmedel vid val av isoleringstjocklek för direkt-skummade fjärrvärmeledningar.

Ekonomisk (eller optimal) isoleringstjocklek väljs genom att minimera totalkostnaden för värmeförlusten. Denna totalkostnad utgörs för markförlagda kulvertar av dels kostnad för värmeförluster, dels kostnad för isolering med avseende på kulvertmaterial och markarbeten.

I rapporten ges uttryck och bakgrundsinformation för val av lämpliga parametervärden för beräkning av värmeförlusten samt förslag till metod för prissättning av denna.

Kostnader för kulvertmaterial och markarbeten har penetrerats närmare med kulvertleverantörer och byggnadsentreprenörer och redovisas i form av "genomsnittliga" marginalkostnader vid ökad eller minskad isoleringstjocklek.

En beskrivning av hur rapporten praktiskt kan användas i en dimensioneringssituation ges i kap 1. Det enskilda värmeverket kan härvid välja isoleringstjocklek med hjälp av givna diagram och formeluttryck utifrån sina egna förutsättningar om temperaturnivåer i nätet, geografiskt läge, aktuell prisnivå m m.

Ekonomisk isoleringstjocklek kan rekommenderas för olika kulvertdimensioner utifrån i rapporten antagna beräkningsförutsättningar. Jämförs denna isoleringsstandard med den nuvarande (baserad på senaste årens försäljningsstatistik) kan det konstateras att många värmeverk väljer för tunn isolering.

1. INLEDNING

Totalkostnaden för värmeförlusterna från en fjärrvärmeledning är sammansatt av två delar:

1. Kostnad för värmeförlust
2. Kostnad för isolering (kulvertmaterial och markarbeten)

Kostnaden för värmeförlusten minskar vid ökande isoleringstjocklek medan isoleringskostnaden ökar, se Figur 1.1. En hög värmeförlustkostnad dominerar helt vid en tunn isolering och en hög isoleringskostnad dominerar vid en tjock isoleringstjocklek. I ett mellanläge kan man finna en isoleringstjocklek som ger den lägsta totalkostnaden. Denna benämns den ekonomiska (eller optimala) isoleringstjockleken.

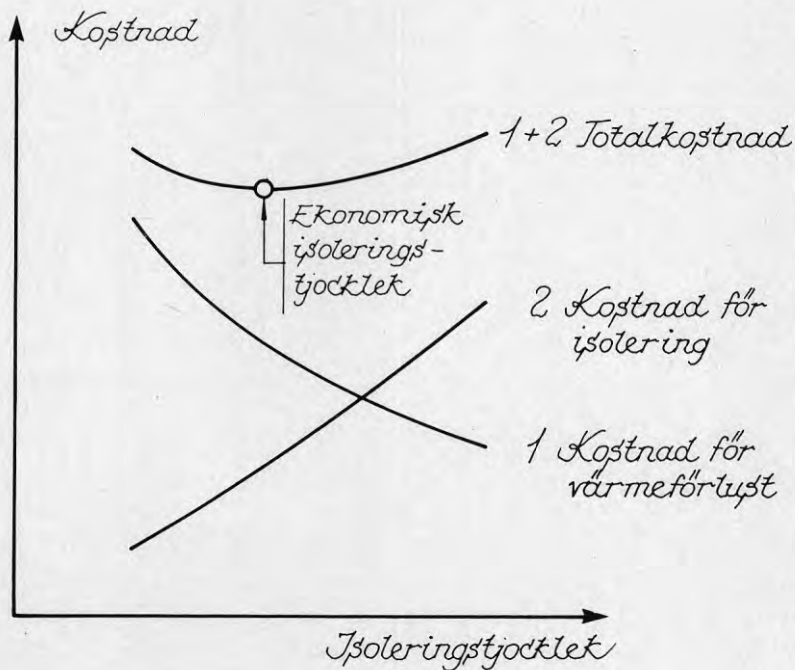


Fig 1.1 Principiell beskrivning av värmeförlustkostnad, isoleringskostnad och totalkostnad som funktion av isoleringstjocklek.

Den ekonomiska isoleringstjockleken beror av ett flertal faktorer: temperaturskillnad mellan rör och omgivning, kalkylränta, avskrivningstid, isoleringens och markens värmeledningstal samt kostnad för värme och isolering.

Den förste som gav ett analytiskt uttryck för den ekonomiska tjockleken för rörisolering var MCMILLAN 1926. Detta uttryck brukar dock inte användas praktiskt, då isoleringskostnaden bygger på ett antagande som förenklar problemställningen något. Som kuriosum kan nämnas att McMillans beräkningar låg till grund för optimeringar av isoleringstjockleken för ångledning i amerikanska fjärrvärmesystem, MCMILLAN 1927.

Storleken på de bestämmande faktorerna varierar med tiden och från land till land. Energiprishöjningarna på 70-talet kan tas som ett exempel på variation med tiden. Därför genomförs undersökningar med jämna mellanrum för att uppdatera givna rekommendationer. I Sverige har VVF tidigare genomfört en utredning, SVENSKA VÄRMEVERKSFÖRENINGEN 1966. Följande arbeten kan nämnas som exempel på utländska undersökningar: BRYDOV 1982 samt LAMBERTSEN och ESKEKUND 1978 (Danmark), HUOVILAINEN 1982 (Finland), GERKE-REINEKE 1983 (BRD), STERNBERG 1972 (DDR) och VALASEK 1976 (Tjeckoslovakien).

Detta arbete syftar till att presentera en enkel metodik för bestämning av den ekonomiska isoleringstjockleken för direktskummade fjärrvärmeledningar. En sådan metodik består av två delar, då totalkostnaden är sammansatt av två delkostnader.

Den första delen består i att bestämma marginalkostnaden för värmeförlusten vid ändring av isoleringstjockleken. Härvid gäller att såväl den årliga värmeförlusten som nuvärdet av den årliga kostnaden för värmeförlusten kan uttryckas i matematiska samband (kapitel 2 och 4). Det man här kan diskutera är främst val av parametervärden. I rapporten redovisas vilka parametervariationer som är normalt förekommande samt dessas inverkan på värmeförlusterna (kapitel 3). Denna del av problemet vid val av isoleringstjocklek kan således ett värmeverk hantera utifrån sina egna förutsättningar.

Den andra delen utgörs av marginalkostnaden för kulvertmaterial och markarbeten vid ändring av isoleringstjockleken (kapitel 5). För denna del kan inga matematiska samband ställas upp som säger hur stor kostnaden ska vara. Konkurrenssituation m m kommer här in i bilden. I och med att det är frågan om marginalkostnader kan prisvariationerna vara förhållandevis stora. I denna rapport redovisas vad vi betraktar som genomsnittliga kostnader för 1983 för kulvertmaterial och markarbeten. Detta underlag möjliggör en rekommendation beträffande val av isoleringstjocklek. Det intressanta i ett enskilt projekt är emellertid inte de kostnader som här finns redovisade utan de belopp som entreprenören eller leverantören de facto begär för att leverera och installera en kulvert med tjockare isolering. Överstiger denna merkostnad den beräknade besparingen p g a minskad värmeförlust (nuvärde) så är en ökad isolering ej intressant.

Diagram för bestämning av ekonomisk isoleringstjocklek redovisas slutligen i kapitel 6. Där ges också en rekommendation, som bygger på beräknade värmeförluster enligt det valda referensfallet och redovisade marginalkostnader för isolering enligt kapitel 5.

Den information som ges i denna rapport kan användas på tre olika sätt. Dessa är (efter avtagande noggrannhet):

- A. Beräkna skillnad i värmeförluster enligt ekv (2.2) mellan olika isoleringsalternativ med de förutsättningar som gäller för det aktuella värmeverket. Bestäm kostnaden för värmeförlusten t ex enligt bilaga 4.2. Nuvärdesberäkna skillnaden i värmeförlustkostnad. Jämför med aktuella prisuppgifter för isoleringens marginalkostnad.
- B. Använd diagram i avsnitt 6.1, inför eventuella korrigeringar av värmeförlusten med hjälp av diagram i kapitel 3. Fullfölj beräkningen i diagram 6.1. Jämför den marginella värmeförlustkostnaden med den marginella isoleringskostnaden (antingen aktuella prisuppgifter eller här redovisade kostnader enligt figur 6.1)
- C. Följ de rekommendationer som ges i figur 6.2. Man antar då att referensfallets värmeförlust och marginalkostnaderna för isolering, som presenterats i denna rapport, är representativa.

Vilket sätt man väljer beror på vilken noggrannhet man önskar och hur stora avvikelserna är från här valt referensfall.

Arbetet med denna utredning har genomförts av en projektgrupp bestående av Sture Andersson vid Malmö Energiverk, Dan Olofsson och Håkan Carlsson vid VBB i Malmö samt Sven Werner vid Chalmers Tekniska Högskola.

I referensgruppen har ingått Bo Thunström vid Bollnäs Energiverk och Ove Persson vid Göteborgs Energiverk.

2. BERÄKNINGSUTTRYCK - VÄRMEFÖRLUSTER

2.1 Beräkningsuttryck

En fjärrvärmekulvert utgörs i normalfallet av två ledningar, en fram- och en returledning. Den sammanlagda värmeeffektförlusten från dessa båda ledningar kan beräknas med följande uttryck.

$$Q = 2 \frac{\Delta T}{\Sigma R} = \frac{2 \cdot \Delta T}{(R_{isol} + R_{mark} + R_{2-rör})} \quad (2.1)$$

där Q = effektförlust per meter från två ledningar, W/m.

ΔT = ledningarnas övertemperatur i förhållande till omgivningen °C, d v s temperaturdifferensen mellan medelvärdet av ledningarnas temperatur och temperaturen i, ur temperatursynpunkt, ostörd mark på rörens nivå. För årsberäkningar sättes omgivningens temperatur till utomhustemperaturens årsmedelvärde.

ΣR = värmemotståndet för en ledning, mK/W. Motståndet består av tre komponenter; isolering, omgivande mark och det bidrag som erhålls genom att 2 rör ger sammanfallande temperaturfält och därmed mindre värmeförlust.

Geometrin och parametrar framgår av Figur 2.1

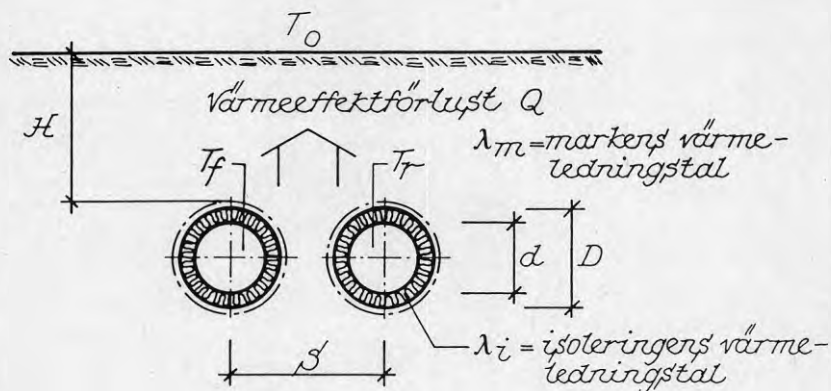


Fig 2.1 Parametrar för bestämning av värmeförlust för fjärrvärmeledningar.

Av följande ekv 2.2 framgår rekommenderade uttryck för bestämning av temperaturdifferens och värmemotstånd

$$Q = \frac{\Delta T \cdot 2 \left(\frac{T_f + T_r}{2} - T_o \right)}{\underbrace{\frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2\pi\lambda_i}}_{= R_{iso}} + \underbrace{\frac{\ln\left(\frac{2(H+D/2)}{D} + \sqrt{\left(\frac{2(H+D/2)}{D}\right)^2 - 1}\right)}{2\pi\lambda_m}}_{= R_{mark}} + \underbrace{\frac{\ln\sqrt{\left(\frac{2(H+D/2)}{S}\right)^2 + 1}}{2\pi\lambda_m}}_{= R_{2-rör}}}$$

(2.2)

där

- Q = effektförlust per meter från två ledningar, W/m
 T_f, T_r = fram- resp returledningstemperatur, °C.
 Vid bestämning av årsvärmeförlust nyttjas årsmedeltemperaturer för T_f och T_r
 T_o = omgivningstemperatur, °C. Vid bestämning av årsvärmeförlust nyttjas årsmedeltemperaturen för orten, se bilaga 3.1.
 D = isoleringens ytterdiameter, m
 d = isoleringens innerdiameter, m
 λ_i = värmeledningstal för isoleringen, W/mK
 λ_m = värmeledningstal för omgivande mark, W/mK
 H = fyllningshöjd, m
 S = avstånd mellan rören, m

Uttrycken för värmemotstånden är approximativa men ger tillräcklig noggrannhet för här aktuella tillämpningar. De förenklingar som gjorts i formeln ges i Bilaga 2.1.

Omräkning av värmeeffektförlust till energiförlust sker genom att multiplicera med tiden. Önskar man exempelvis uttrycka energiförlusten i kWh/år, m sker omräkningen genom

$$W = Q \times 8.76 \quad (2.3)$$

W = energiförlusten i kWh/år, m
 Q = värmeeffektförlusten i W/m

Nedan behandlas beräkningsuttryck för två specialfall.

Olika isoleringstjocklek

Temperaturnivån är olika för fram- och returledning och det kan därför vara aktuellt för t ex längre överföringsledningar att överväga olika isoleringstjocklek för fram- och returledning.

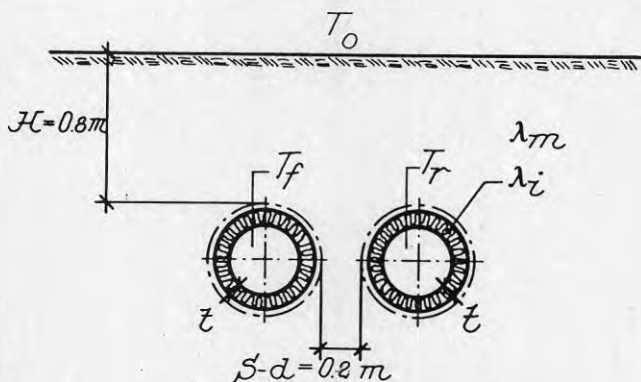
I Bilaga 2.2 ges uttryck för värmeeffektförlusten med olika isoleringstjocklek.

Fyra rör

Vid fyra rör ökas värmemotståndet p g a sammanfallande temperaturfält. Uttryck härför ges i Bilaga 2.3

2.2 Referensfall

Följande referensfall har valts som utgångspunkt för värmeförlustberäkningarna i parameterstudien i kap 3, och för rekommendation av isoleringstjocklekar i kap 6.



Läggningsförhållande

Fyllningshöjd	0,8 m
Fritt avstånd mellan rör	0,2 m

Mark

Värmeledningstal	$\lambda_m = 1,5 \text{ W/mK}$
------------------	--------------------------------

Isolering av PUR-skum

Tjocklek, motsvarande Serie II	
Värmeledningstal	$\lambda_i = 0,03 \text{ W/mK}$

Temperaturer, årsmedelvärde

Framledningstemperatur	$T_f = 85^\circ\text{C}$
Returledningstemperatur	$T_R = 55^\circ\text{C}$
Omgivningstemperatur	$T_0 = 5^\circ\text{C}$
	$\Rightarrow \Delta T = 65^\circ\text{C}$

Värmeledningstalet k (W/mK), d v s värmeeffektför-
lusten vid $\Delta T = 1^\circ\text{C}$, kan såsom framgår av ekv 2.1
beräknas genom

$$k = \frac{2}{(R_{\text{isol}} + R_{\text{mark}} + R_{2\text{-rör}})} \quad (2.4)$$

I nedanstående Figur 2.2 visas såväl värmeledningstalet
som värmeeffektförlusten vid $\Delta T = 65^\circ\text{C}$ för
valt referensfall vid olika dimensioner och isolerings-
tjocklekar.

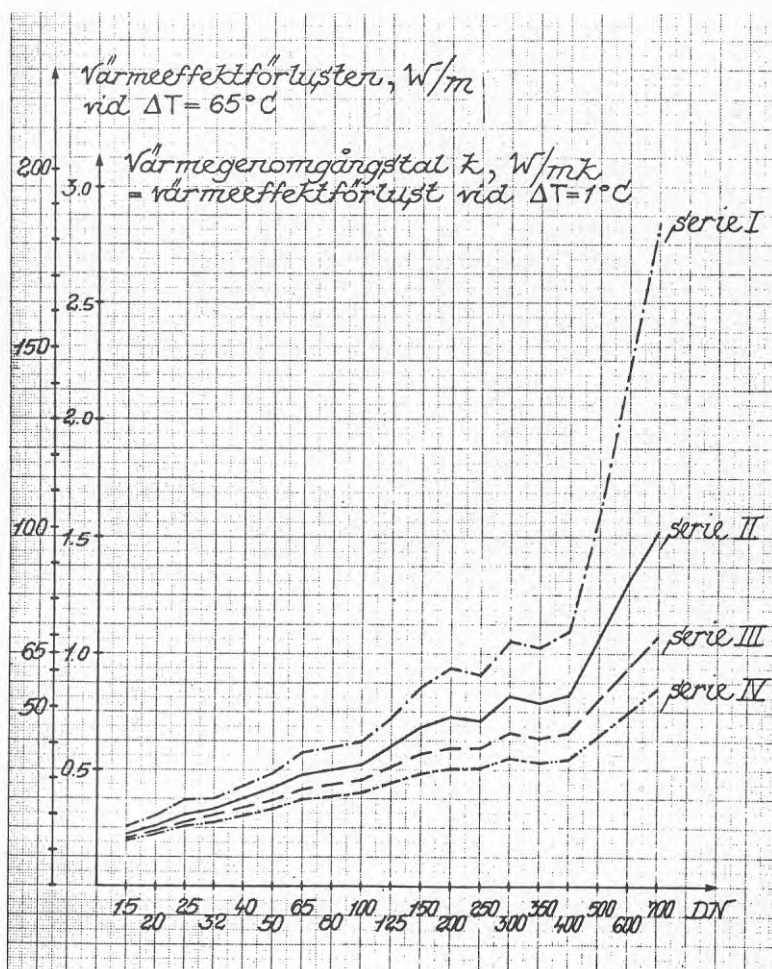


Fig 2.2 Årligt medelvärde på värmeledningstalet k
och värmeeffektförlusten vid $\Delta T = 65^\circ\text{C}$
för valt referensfall.

I Tabell 2-1 ges värmegenomgångstalet (W/mk), värmeeffektförlustens årsmedelvärde (W/m) och den därtill hörande årliga energiförlusten (kWh/m,år) för olika kulvertdimensioner. Av tabellen framgår också vilken isoleringstjocklek som hänförs till serie I, II, III och IV i denna rapport.

Tabell 2-1

Stålrör, dimension mm	Plaströrs- ¹⁾ dimension serie I-IV Dy ^{PEH} mm	Isolerings- tjocklek mm	Värmegenom- ²⁾ gångstal	Värmeeffekt- förlust $\Delta T=65^{\circ}\text{C}$	Årlig energi- förlust $\Delta T=65^{\circ}\text{C}$
			Σ 2 rör W/mK	Σ 2 rör W/m	Σ 2 rör kWh/m,år
DN 15 Dy=21.3	90	31.4	0.254	16.5	145
	110	41.4	0.223	14.5	127
	125	48.8	0.207	13.5	118
	140	55.9	0.195	12.7	111
DN 20 Dy=26.9	90	28.6	0.302	19.6	172
	110	38.6	0.259	16.8	147
	125	46.0	0.237	15.4	135
	140	53.1	0.222	14.4	126
DN 25 Dy=33.7	90	25.2	0.368	23.9	210
	110	35.2	0.306	19.9	174
	125	42.6	0.277	18.0	158
	140	49.7	0.256	16.6	146
DN 32 Dy=42.4	110	30.8	0.376	24.4	214
	125	38.2	0.333	21.6	190
	140	45.3	0.304	19.8	173
	160	54.8	0.275	17.9	157
DN 40 Dy=48.3	110	27.9	0.432	28.1	246
	125	35.2	0.377	24.5	215
	140	42.4	0.339	22.0	193
	160	51.9	0.303	19.7	173
DN 50 Dy=60.3	125	29.2	0.484	31.5	276
	140	36.4	0.423	27.5	241
	160	45.9	0.369	24.0	210
	180	55.9	0.330	21.4	188
DN 65 Dy=76.1	140	28.4	0.575	37.9	327
	160	38.0	0.479	31.1	273
	180	48.0	0.415	27.0	236
	200	58.0	0.371	24.1	211
DN 80 Dy=88.9	160	31.6	0.596	38.7	339
	180	41.6	0.501	32.6	285
	200	51.6	0.438	28.5	249
	225	63.7	0.386	25.1	220
DN 100 Dy=114.3	200	38.8	0.621	40.4	354
	225	51.0	0.521	33.9	297
	250	63.0	0.456	29.6	260
	280	77.4	0.402	26.1	229

- 1) Tjocklek på PEH-manteln enligt VVF's leveransbestämmelser för PUR-kulvertar, daterad juni 1983.
- 2) Värmegenomgångstalet = värmeeffektförlust vid $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$ för 1 m kulvert.

Tabell 2-1 forts. (DN 125 - 700)

Stålrör	Dy ^{PEH} (mm)	Iso (mm)	W/mK	W/m	kWh/m, år	
DN 125	225	38.2	0.721	46.9	411	
	250	50.2	0.603	39.2	343	
	Dy=139.7	280	64.6	0.512	33.3	292
		315	81.4	0.443	28.8	252
DN 150	250	36.0	0.857	55.7	488	
	280	50.4	0.685	44.5	390	
	Dy=168.3	315	67.2	0.567	36.7	323
		355	86.4	0.483	31.4	275
DN 200	315	41.8	0.940	61.1	535	
	355	61.0	0.729	47.4	415	
	Dy=219.1	400	82.6	0.595	38.7	339
		450	106.6	0.504	32.8	287
DN 250	400	55.7	0.911	59.2	519	
	450	79.7	0.713	46.4	406	
	Dy=273.0	500	103.7	0.597	38.8	340
		560	132.5	0.508	33.0	289
DN 300	450	54.2	1.054	68.5	600	
	500	78.2	0.819	53.2	466	
	Dy=323.9	560	107.0	0.660	42.9	376
		630	140.7	0.550	35.8	313
DN 350	500	62.4	1.027	66.8	585	
	560	91.2	0.789	51.3	449	
	Dy=355.6	630	124.8	0.636	41.3	362
		710	163.2	0.532	34.6	303
DN 400	560	65.8	1.096	71.2	624	
	630	99.4	0.821	53.4	467	
	Dy=406.4	710	137.8	0.655	42.6	373
		800	181.1	0.544	35.4	310
DN 500	630	48.6	1.599	103.9	910	
	710	87.0	1.069	69.5	609	
	Dy=508.0	800	130.3	0.803	52.2	457
		900	178.4	0.645	41.9	367
DN 600	710	36.2	2.215	144.0	1261	
	800	79.5	1.313	85.4	748	
	Dy=609.6	900	127.6	0.937	60.9	534
		1000	175.6	0.746	48.5	425
DN 700	800	28.7	2.837	184.4	1615	
	900	76.8	1.519	98.7	865	
	Dy=711.2	1000	124.8	1.073	69.8	611
		1100	172.7	0.848	55.1	483

3. PARAMETERSTUDIE

I det följande kommenteras bakgrunden till valda parametervärden för referensfallet. Om man önskar nyttja andra parametervärden redovisas i detta kapitel erforderliga korrektionsfaktorer för värmeförlusten.

3.1 Temperatur

Omgivningstemperatur, T_0

Vid bestämning av årsvärmeförlusten är det ortens medeltemperatur under året som är av intresse. Denna redovisas i Bilaga 3.1 för olika platser i Sverige. Härav framgår att medeltemperaturen i övre Norrland är $\pm 0^\circ\text{C}$ och $+ 8^\circ\text{C}$ i södra Sverige.

Vid beräkning av månadsvärmeförlusten avviker omgivningstemperaturen (temperatur i ostörd mark på rörens nivå) från utomhustemperaturen speciellt under kalla vintermånader och varma sommarmånader. Avvikelsen kan ses som en dämpning av utomhustemperaturen. Exempel härpå ges i bilaga 3.1. Dygns- och veckovariationer ger så pass korta cykler att dessa ej påverkar värmeförlusterna på normala förläggningsdjup.

Fjärrvärmevattnets temperatur, T_f och T_r

Det principiella utseendet på temperaturerna framgår Figur 3.1

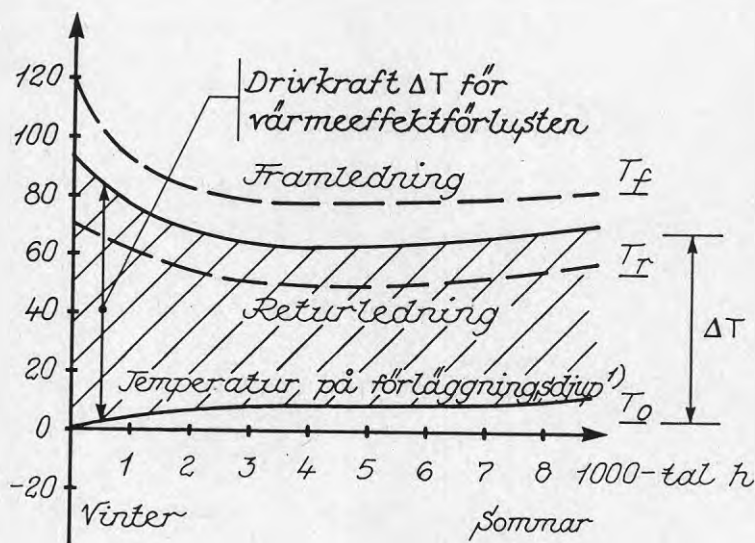


Fig 3.1 Principiellt utseende för T_f , T_r och T_0 för fjärrvärmesystem med 120°C i dimensionerande framledningstemperatur.

Vid beräkning av årsvärmeförlust nyttjas lämpligen medelvärdena på fram- och returledningstemperaturerna samt utomhustemperaturens årsmedelvärde d v s T_f , T_r och T_o enligt figur 3.1.

I Bilaga 3.2 redovisas exempel på fram- och returledningstemperaturer från några olika värmeverk. Temperaturerna är uppmätta vid produktionsanläggningar.

F n finns en trend mot lägre temperaturer. Motiv här för är bl a att förbättra möjligheterna för utnyttjande av värmepumpar samt att minska värmeförlusterna. Bättre reglerteknik i abonnentcentralerna möjliggör också lägre systemtemperaturer.

Medeltemperaturerna för exemplen i bilaga 3.2 är

	Nuvarande medeltemperatur	Planerad medeltemperatur
	T_f/T_r C°	T_f/T_r C°
Umeå	93/55	84/50
Stockholm	82/48	70/37
Kalmar	96/68	90/60
Medelvärde	90/57	81/49

Medeltemperaturerna i Stockholm är förhållandevis låga, vilket speciellt gäller för returledningstemperaturen.

Beroende på cirkulerande vattenmängd och på värmeförlusterna kommer temperaturen i rören att variera med avståndet från produktionsanläggningen. Temperaturfallet blir störst under låglast med låga flöden och minst under höglast. I WERNER 1982 anges storleken av temperaturfallet mellan produktionsanläggning och abonnentcentral i framledningen för ett typiskt svenskt fjärrvärmesystem till ca 1°C under höglast och ca 4°C under låglast räknat som ett medelvärde för alla abonnenterna. I perifert belägna ledningar blir temperaturfallet störst och kan då i t ex villaområden nå högre värden.

Räknat från en produktionsanläggning kommer framledningstemperaturen att falla medan returtemperaturen ökar beroende på omvänd strömningsriktning. Temperaturändringen i framledningen är större än i returledningen beroende på att T_f är högre än T_r .

Av det sagda kan slutsatsen dras att medelvärdet av T_f och T_r endast marginellt (vanligen < 1°C) varierar i ett fjärrvärmenät, varför temperaturer uppmätta vid produktionsanläggningar ger acceptabel noggrannhet.

För beräkning av värmeförlusterna i referensfallet har vi valt följande medeltemperaturer:

$$\text{Framledningstemperatur} \quad T_f = 85^\circ\text{C}$$

$$\text{Returledningstemperatur} \quad T_r = 55^\circ\text{C}$$

$$\text{Omgivningstemperatur} \quad T_o = 5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{85 + 55}{2} - 5 = 65^\circ\text{C}$$

För att korrigera beräknad värmeförlust till att gälla för andra temperaturer (ΔT_{akt}) ska värmeförlusten multipliceras med korrektionsfaktorn C_T .

Korrektionsfaktorn kan hämtas ur Figur 3.2

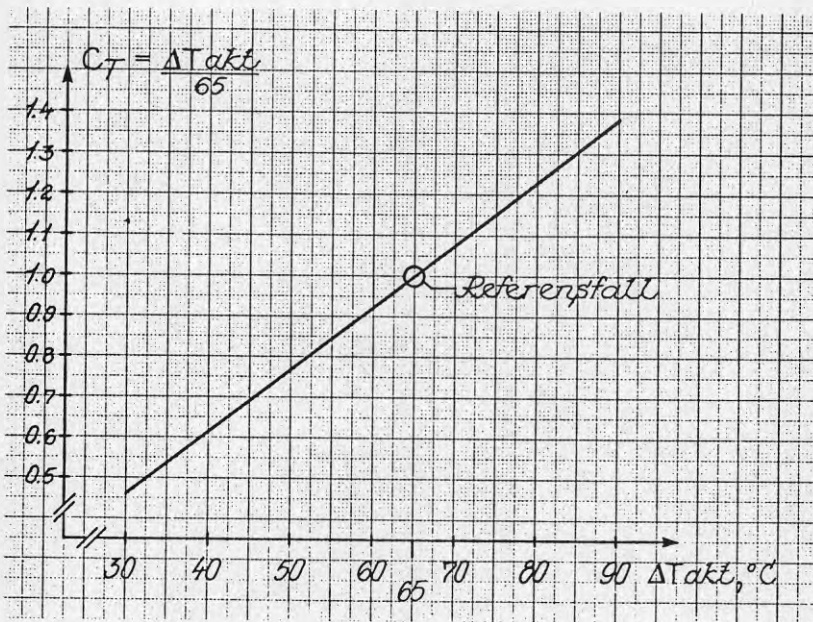


Fig 3.2 Korrektionsfaktor för temperatur.

Härav framgår det välkända förhållandet att värmeförlusten är direkt proportionell mot ΔT , d v s 10 % sänkning av systemtemperaturerna sänker också värmeförlusterna med 10 %.

Förutsättningen för linjen i figur 3.2 är att övriga parametrar ej ändras. Som framgår av avsnitt 3.2 nedan edför en ökad temperatur även ökat värmeledningstal för PUR-skummet, vilket ytterligare ökar värmeförlusten något.

3.2 Värmeledningstal - isolering

Polyuretanskum (PUR-skum) är idag det mest använda isolermaterialet i förtillverkade fjärrvärmekulvertar. Materialet består av en blandning av polyol och isocyanat som bringas att reagera kemiskt under inverkan av vissa tillsatsmedel. Resultatet blir ett styvt skum med 85-90 % hålrum i form av små slutna celler fyllda med freongas.

PUR-skum har mycket goda isoleringsegenskaper dels för att de tunna cellväggarna har en dålig värmeledningsförmåga, dels för att freon leder värme sämre än luft.

I VVF's tekniska leveransbestämmelser för fjärrvärmekulvertar 1982 ställs kravet att värmeledningstalet λ_i skall vara $\leq 0,027$ W/mK (50°C) vid prov av nytillverkade kulvertelement. I litteraturen redovisad dokumentation angående skummets långtidsegenskaper är mycket sparsam. Polyuretanskum är heller inget enhetligt begrepp utan dess sammansättning och egenskaper varierar med fabrikatet.

I det följande ges exempel och kommentarer till λ -värdets variation för olika parametrar.

Densitet

Värmeledningstalet ökar med densiteten. Exempel ges i Figur 3.3

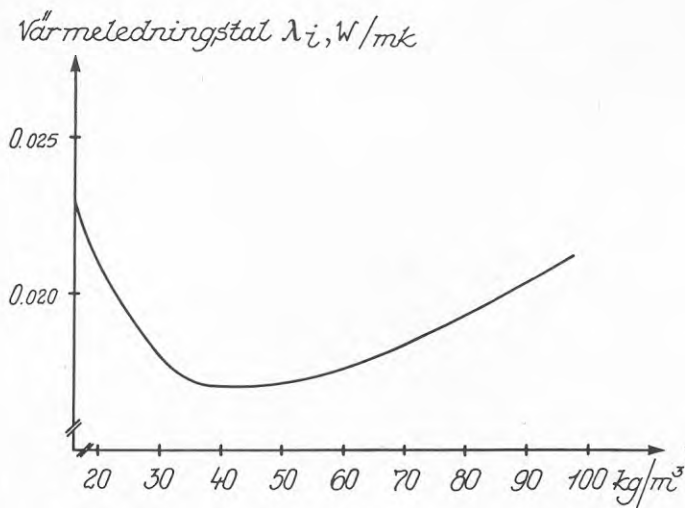


Fig 3.3 Exempel på densitetens inverkan på värmeledningstalet. Enligt STRANDBERG 1983. Korttidsvärden, temperatur 20°C.

I de undersökningar angående skummets egenskaper som hittills redovisats i litteraturen är det i regel skum med densiteten 30-40 kg/m³ som testats. I fjärrvärmekulvertar ställs högre krav på skummets hållfasthet och densiteten ligger därför kring 80 kg/m³.

Temperatur

Den viktigaste faktorn som avgör prestandan hos det styva polyuretanskummet som rörisolering och kraftöverförande element är dess förmåga att motstå förhöjda temperaturer under längre perioder. Undersökta system från olika skum- och rörleverantörer, se NOLTE 1982, synes vid fullgod blandning ha en livslängd på ca 30 år svarande mot tillåten temperatur på mellan 115 och 140°C.

I nedanstående Figur 3.4 visas resultat från mätningar av värmeledningstalet i PUR-kulvert som funktion av temperaturen. Härav framgår en i huvudsak linjär variation.

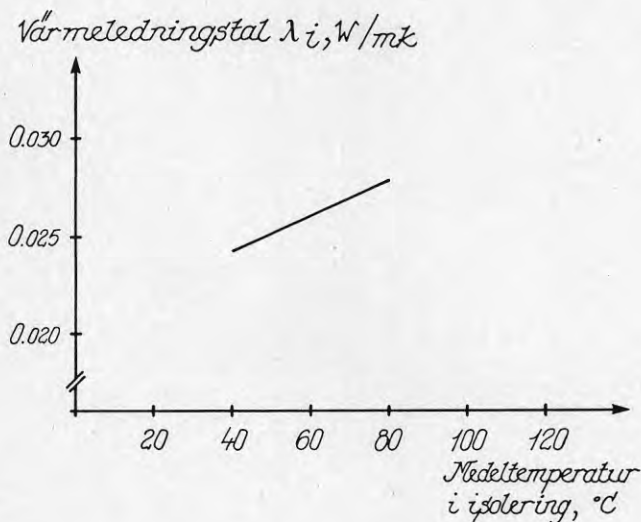


Fig 3.4 Värmeledningstalets variation med temperaturen. Enligt JARFELT 1983.

Med isoleringstjocklek motsvarande serie II erhålles för referensfallet en medeltemperatur i isoleringen kring de båda mediarören på ca 40°C (50°C kring framledningen och 30°C kring returledningen).

Isoleringens värmemotstånd utgör ca 80-90 % av totala motståndet beroende på kulvertdimension och isoleringstjocklek. Temperaturfallet mellan isoleringens in- och utsida blir därmed 80-90 % av den totala temperaturdifferensen, ΔT . En ökning av systemtemperaturen med 10°C ökar värmeförlusten i referensfallet med 15 % ($75/65 = 1.15$) p g a ökat ΔT och därtill ytterligare ca 2 % p g a högre värmeledningstal i isoleringen. Dessa 2 % är ej inkluderade i Figur 3.2.

Diffusionstäthet i omslutande material

I Figur 3.7 visas värmeledningstalets förändring med tiden hos ett knivskuret prov av polyuretanskum. Med en diffusionsöppen yta bytes freongasen eftehand ut mot atmosfärisk luft vilket försämrar värmeisoleringsförmågan.

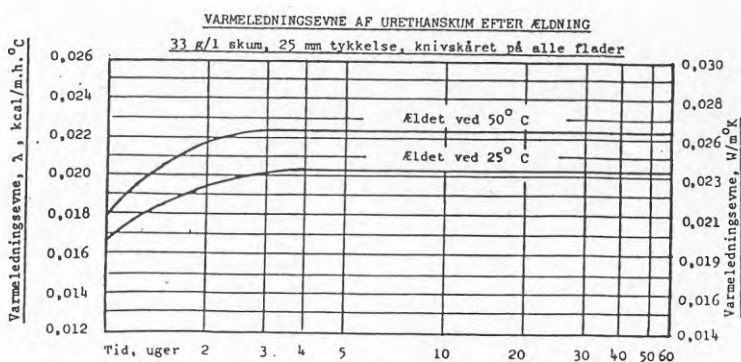


Fig 3.7 Värmeledningstal för polyuretanskum efter åldring. Enligt LAWAETZ.

Den i praktiken diffusions- och vattentäta PEH-manteln som omsluter isoleringen medför att diffusion i huvudsak är försumbar. Viss diffusion kan under lagring ske i rörändarna, men denna effekt torde vara marginell.

Fuktighet

Värmeledningstalet ökar med fukttinnehållet. Fjärrvärmerören är varma och diffusionstätt inneslutna och således bör inte fuktigheten öka efter läggningen. Om läckage uppstår exempelvis vid skarvar kan skummet brytas ned av inläckande vatten i kombination med en hög temperatur¹⁾.

- 1) Av vanligt förekommande skador på plaströrskulvertar kan ca 40 % hänföras till otäta skarvar på skyddshölje och ca 10 % till otäta svetsar på mediarör.

Skarvar

Vid skarvar finns risk för att ett dåligt utförande eventuellt i kombination med fuktig väderlek ökar värmeförlusten relativt ledningen i övrigt. Det är således viktigt att kontrollera skarvningsarbetet i fält. T ex kan inbyggda fuktiga skumändar medföra förutom ökat värmeledningstal även risk för håligheter och skador på ytterhöljet vid skarven. En skarv med väl utförd skumning anses ej ge större värmeförlust än den övriga ledningen.

Mekanisk belastning

Isoleringen skall i markförlagda fjärrvärmeledningar överföra friktionskrafter från PEH-manteln till mediaröret. Härav följer att värmeledningstalet kan försämras något genom viss nedbrytning av cellstrukturerna p g a mekanisk belastning. Höga temperaturer ökar risken för nedbrytning av cellstrukturen.

Referensfall

Till beräkningarna av värmeförlusterna för referensfallet har vi valt ett genomsnittligt värmeledningstal, gällande för kulvertens hela livslängd, som är något högre än standardkravet

$$\lambda_i = 0.030 \text{ W/mK}$$

Korrektionsfaktor för λ -isolering $C \lambda_i$ kan hämtas ur Figur 3.8 a-b

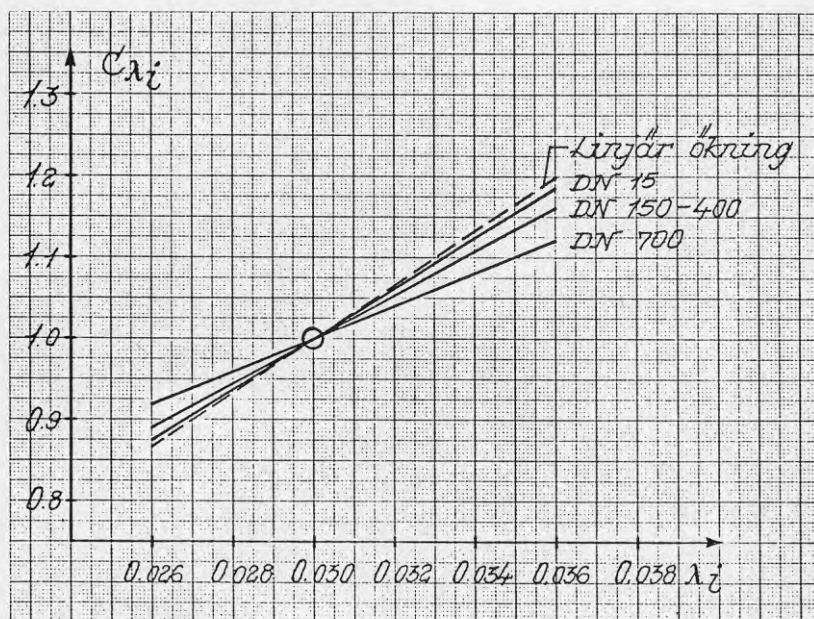


Fig 3.8 a Korrektionsfaktor, $C \lambda_i$ för λ -isolering.
(Serie I)

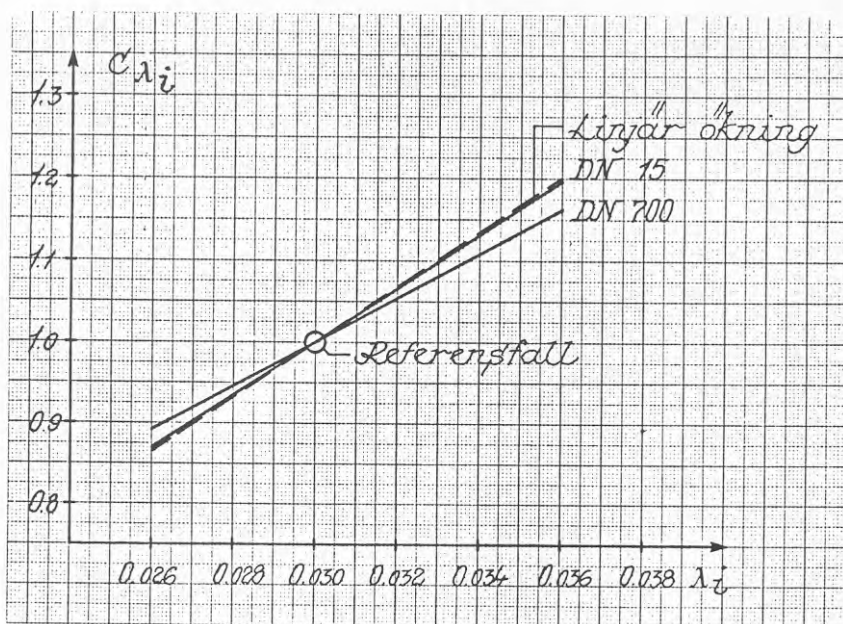


Fig 3.8 b Korrektionsfaktor, $C\lambda_i$ för λ -isolering (Serie II-IV)

3.3 Värmeledningstal - mark

Markens värmeledningsförmåga bestäms av fukthalt, densitet och kornstorleksfördelning.

Det principiella sambandet mellan fukthalt och densitet för ofruset finkornigt och grovkornigt material behandlas i JANSON 1967 och diagram härför redovisas i Bilaga 3.3.¹⁾ Härav framgår att ökad fukthalt och ökad densitet¹⁾ medför högre värmeledningstal.

I Figur 3.9 visas värmeledningstalet för olika jordarter som funktion av markfukthalten. Figur 3.9 har framtagits med hjälp av diagrammen i bilaga 3.3.

1) För ett och samma material innebär ökad packningsgrad ökad densitet.

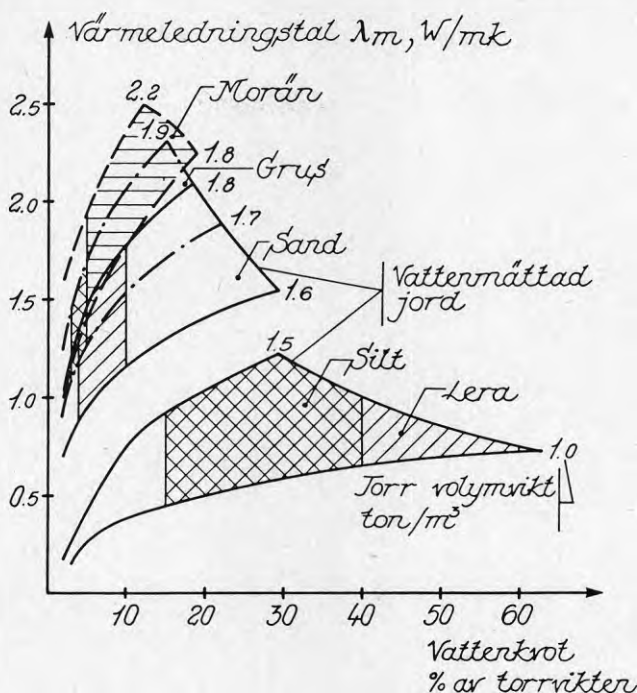


Fig 3.9 Värmeledningstal för olika jordarter vid varierande vattenkvot.

I figuren har markerats områden för jordarternas normala fukthalter. Kringfyllning för en fjärrvärmeledning utgörs av sand eller grus. Ofta består också återfyllningen av sand eller grus. Av figur 3.9 följer att en normal variation för kring- och återfyllningsmaterial är 0.9–1.8 W/mK.

Betydelsen av jordens egenskaper minskar med avståndet från rören.

Om exempelvis kring- och återfyllningen (sand eller grus) omges av morän erhålls därmed en viss ökning av det genomsnittliga λ -värdet.

Vi anser det rimligt att välja

$$\lambda_{\text{mark}} = 1.5 \text{ W/mK}$$

som ett representativt värde för markens värmeledningsförmåga för referensfallet.

Vid val av andra λ -värden kan korrektionsfaktorn för markens värmeledningstal, $C \lambda_m$ hämtas ur Figur 3.10 (a-d)

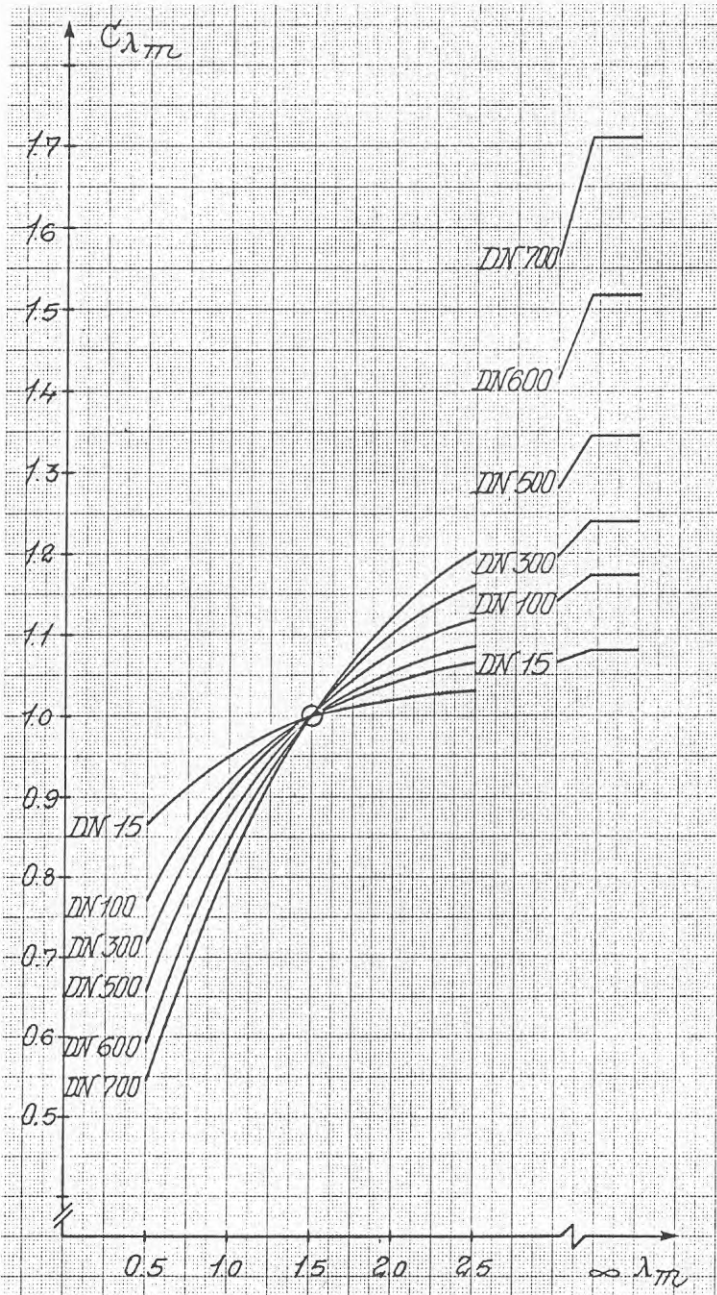


Fig 3.10 a Korrektionsfaktor för markens värmeledningstal.
(Serie I)

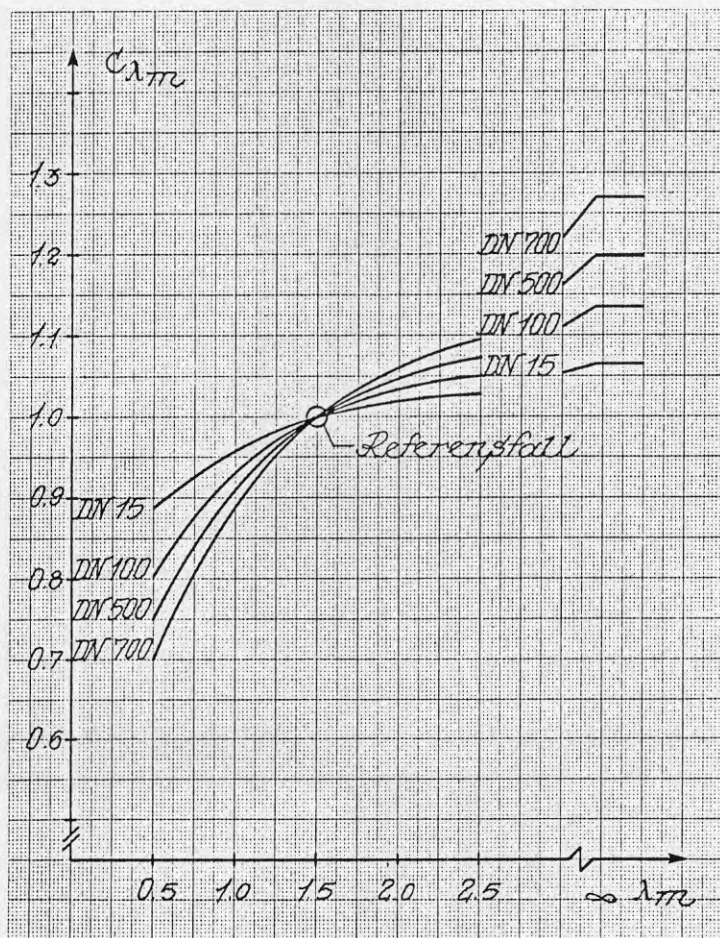


Fig 3.10 b Korrektionsfaktor för markens värmeledningstal.
(Serie II, referensfallet)

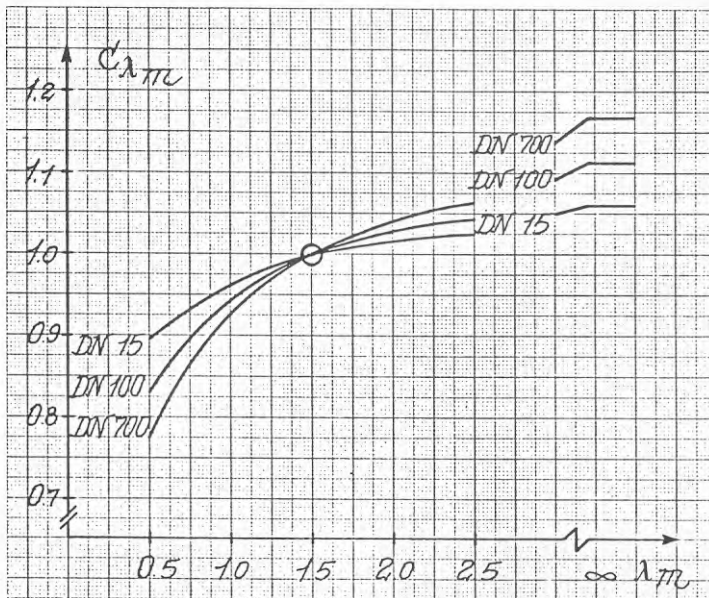


Fig 3.10 c Korrektionsfaktor för markens värmeledningstal.
(Serie III)

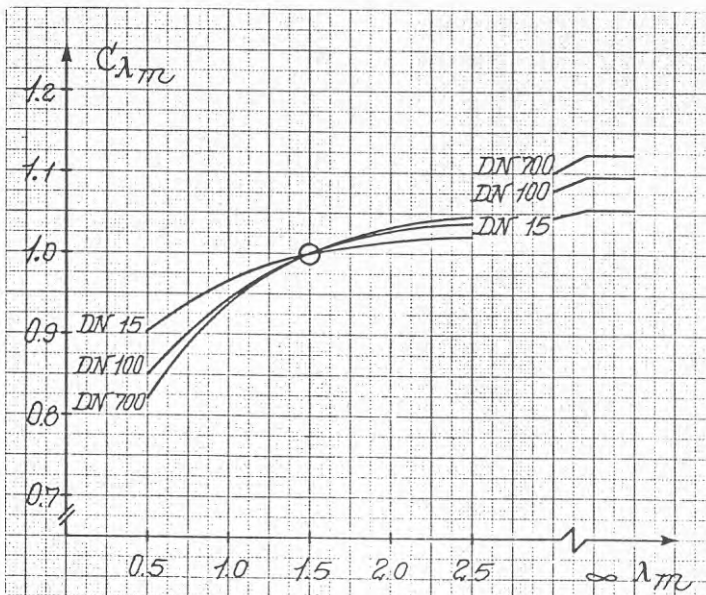


Fig 3.10 d Korrektionsfaktor för markens värmeledningstal.
(Serie IV)

Som framgår av Figur 3.10 ger mycket höga värden på λ -mark ($\lambda_m = 2.5$) en ökning av värmeförlusten mellan 2 och 20 % räknat utifrån referensfallet $\lambda_m = 1.5$ W/mK. Låga värden har däremot större betydelse. Om vi jämför en ändring av λ_m från 0.5 till 2.5 W/mK så medför detta en ökning av värmeförlusten med en faktor 1.15-1.20 för små dimensioner och 1.30-2.20 för stora dimensioner. Höga värden på λ -mark erhålls när en ledning ligger under grundvattenytan. Om kulverten inte förses med dräneringsledning föreligger också risk för vatten kring fjärrvärmeledningen och därmed ett högt λ_m -värde (se kap 7.2).

Av Figur 3.10 framgår också att markens betydelse ökar vid liten isoleringstjocklek vilket beror på att R_{mark} och R_{isol} är två seriekopplade värmemotstånd.

3.4 Fyllningshöjd

Normal fyllningshöjd är mellan 0,6-1,0 m. I referensfallet nyttjas fyllningshöjden 0,8 m för samtliga kulvertdimensioner. Möjligen skulle man kunna tänka sig att ansätta 0,6 m för små dimensioner som ofta är servisledningar. Detta har dock ej gjorts för referensfallet.

I Figur 3.11 ges korrektionsfaktorn C_{fh} för andra fyllningshöjder än 0,8 m.

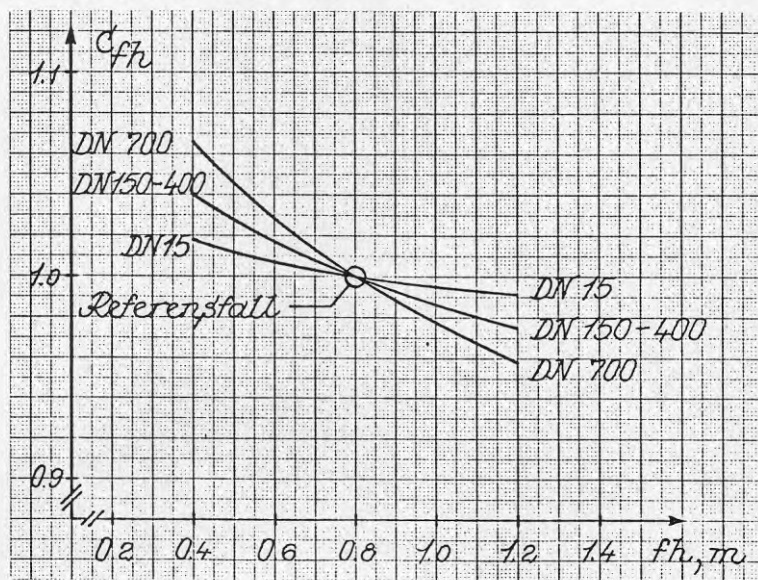


Fig 3.11 Korrektionsfaktor för fyllningshöjd C_{fh} .

Av diagrammet framgår att ändringar i fyllningshöjd endast marginellt påverkar värmeförlusterna.

Kurvorna visar förändringarna för referensfallet med serie II-isolering. Exempelvis erhålls 6.4 % ökning ($C_{fh} = 1.064$) av värmeförlusten för en DN 700-ledning om fyllningshöjden minskas till 0.4 m. Om man istället hade använt isolering med serie I och serie IV hade korrektionsfaktorn för DN 700, $H = 0.4$ blivit 1.133 respektive 1.032, d v s tunnare isolering medför att ändrad fyllningshöjd har större betydelse.

3.5 Avstånd mellan rör

Praxis idag är att välja 0.15-0.4 m som avstånd mellan rör. Härvid nyttjas 0.15 m för små dimensioner och 0.4 m för stora dimensioner. (I Mark-AMA 83 anges 0,35 m för samtliga dimensioner, vilket vi bedömer vara ett onödigt stort avstånd för små dimensioner).

I referensfallet räknas med fritt avstånd 0,2 m för samtliga kulvertdimensioner. För andra avstånd mellan rören kan en korrektionsfaktor C_{fa} bestämmas enligt Figur 3.12.

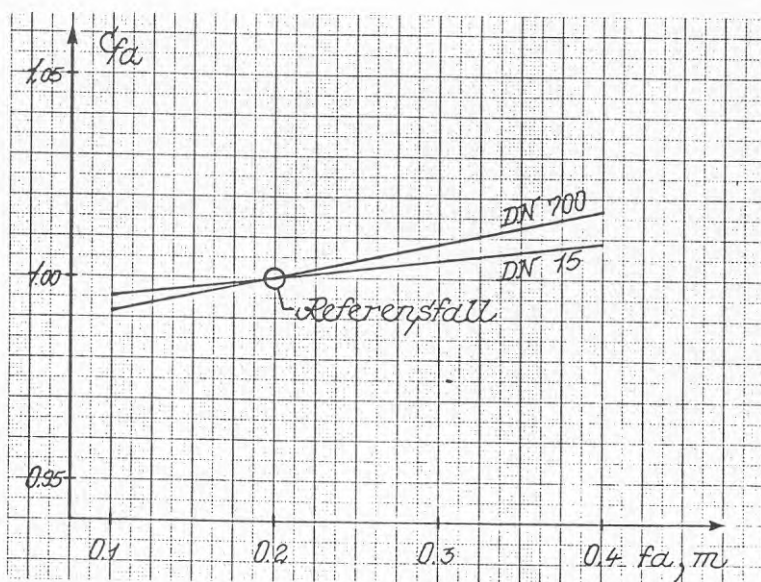


Fig 3.12 Korrektionsfaktor för fria avståndet mellan rör C_{fa} .

Av Fig 3.12 framgår att en fördubbling av avståndet medför ca 1 % högre sammanlagd värmeförlust för större dimensioner medan ökningen är ännu mindre för mindre dimensioner.

Det kan synas omständigt att räkna med värmemotstånd p_g a sammanfallande temperaturfält i värmeförlustberäkningarna. I Figur 3.13 visas ökningen i värmeförlust om man bortser från detta motstånd vilket även kan sägas motsvaras av att rören ligger på ett stort avstånd ifrån varandra (större än 1-1.5 m).

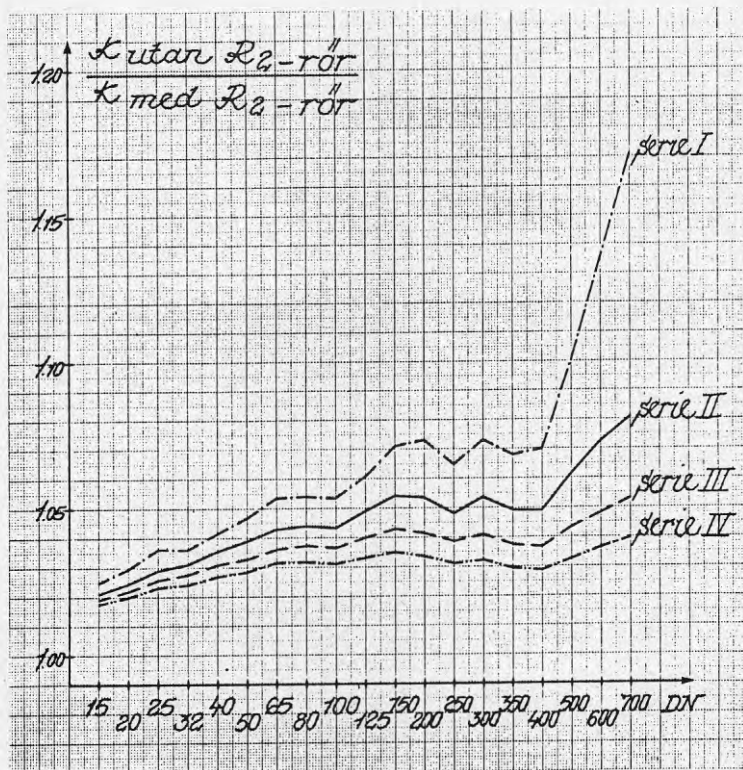


Fig 3.13 Ökning i värmeförlust om inverkan av sammanfallande temperaturfält för två rör försummas.

Av figuren framgår att för kulvertar med isolering serie II-IV överskattas den sammanlagda värmeförlusten med ca 5 % om R_2 -rör försummas. För större dimensioner med serie I blir felet större.

3.6 Olika isoleringstjocklek på fram- och returledning

Betraktas de två kulvertarna var för sig ger isolering av framledningen bäst ekonomi eftersom den har högre temperatur.

I Figur 3.14 visas den relativa förändringen av den totala värmeförlusten vid val av andra isolertjocklekar än serie II på fram- och returledning. Övriga förutsättningar är enligt referensfallet.

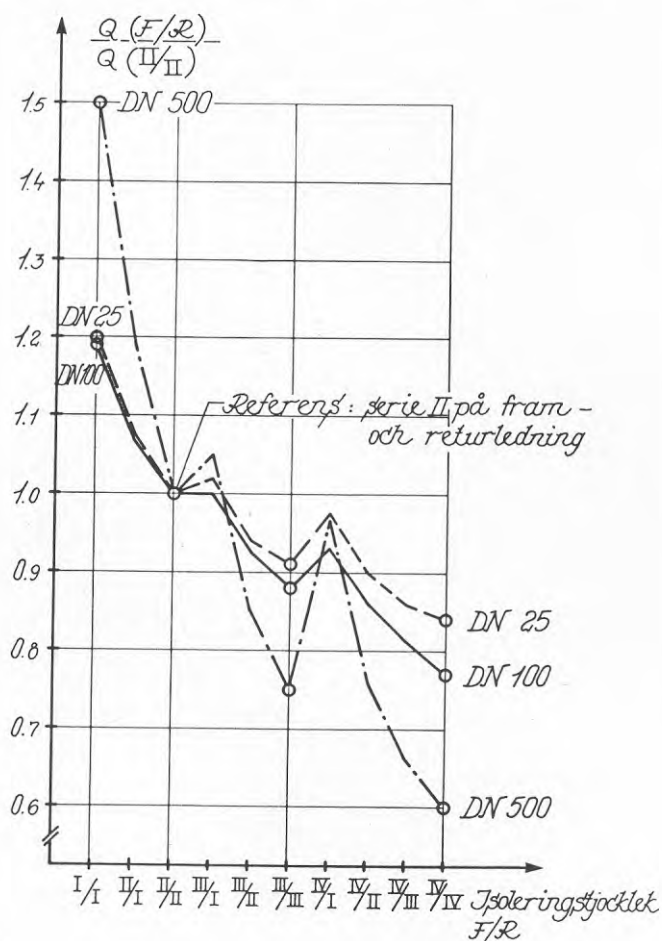


Fig 3.14 Relativ förändring av totala värmeeffektför-lusten vid val av andra isoleringstjocklekar än serie II.

I kap 6.2 bestäms optimala isoleringstjocklekar genom att jämföra summa nuvärde av värmeförluster med marginalkostnader för kulvertmaterial och markarbeten vid lika isolering på fram- och returledning.

Beroende på kulvertdimension kan andra kombinationer än de med lika isoleringstjocklek ge lägsta summakostnaden. Om man bortser från de praktiska komplikationerna med att ha olika isoleringstjocklek, så bör isoleringstjockleken för fram- och returledningen stå i proportion till T_f och T_r .

Beräkningar av skillnaden i nuvärde har gjorts med temperaturer enligt referensfallet, marginalkostnader enligt kap 5 och ett stegs skillnad i isoleringstjocklek mellan fram- och returledning. Resultatet härav är att olika isoleringstjocklek ger en besparing på mindre än 10 kr/m (nuvärde) jämfört med om lika isoleringstjocklek används. Vår bedömning är att besparingen i normalfallet är alltför liten för att det ska vara värt de extra komplikationer som uppstår i praktiken men som ej är inkluderade i de schablonmässiga marginalkostnaderna.

För långa transiteringsledningar kan det dock vara aktuellt att i samband med upphandlingen kontrollera vilken besparing som uppnås med olika isoleringstjocklekar.

Generellt gäller att ökad differens mellan fram- och returledningstemperatur ökar motivet för att välja olika isoleringstjocklek.

3.7 Fyra rör

I bilaga 2.3 ges beräkningsuttryck för fyra rör symmetriskt placerade, med fram- och returledning av samma kulvertdimension.

Övergången från två till fyra rör kan jämföras med att gå från ett till två rör. För DN 500 (serie II) erhålles enligt figur 3.13 en reduktion av totala värmeförlusten från två rör med 5.8 % p g a sammanfallande temperaturfält. I ett hypotetiskt fall med fyra rör, erhålles på motsvarande sätt en total värmeförlust som är 11.9 % lägre än den sammanlagda förlusten från fyra oberoende rör.

För fyra-rörssystem med sekundärledningar för värme samt varmvatten- och varmvattencirkulationsledning är läggningen av rören i regel ej symmetriskt arrangerad p g a varierande isoleringstjocklekar och dimensioner.

Beräkningsuttrycken i bilaga 2.3 kan dock överslagsmässigt användas även i detta fall. Värmeförlusten från de två rörparen beräknas var för sig enligt formel i bilaga 2.3. I uttrycken för värmemotstånden ersättes härvid d med d_f respektive d_r . "Spegelbilden" placeras i läget för de motsatta rörparet. De beräknade värmeförlusterna från höger och vänster rörpar summeras därefter.

1) Förenklat räknat med 0,2 m mellan samtliga rör.

Om ett av rörparen stängs av periodvis är det m h t periodernas längd en bedömningssak om rörparens temperaturfält skall antas påverka varandra och därmed ge en lägre total värmeförlust under året.

3.8 Summaeffekt av parametervariation

Den sammanlagda effekten av parametervariationer ges av uttrycket

$$Q = C_T \cdot C_{\lambda_i} \cdot C_{\lambda_m} \cdot C_{fh} \cdot C_{fa} \cdot Q_{ref} \quad (3.1)$$

där Q = korrigerad värmeförlust

C_T till C_{fa} är korrektionsfaktorer för temperaturnivå, värmeledningstal för isolering och mark, fyllningshöjd och röravstånd

Q_{ref} = värmeförlusten med parametervärden valda enligt referensfallet

Vid större ändringar av två eller flera parametrar samtidigt ger ekv 3.1 ett approximativt värde på värmeförlusten. Större noggrannhet erhålles genom att direkt använda ekv 2.2.

Som framgått av avsnitt 3.1-3.5 har temperaturen, C_T en uppenbar inverkan på värmeförlusterna. Avståndet mellan rör, C_{fa} och fyllningshöjd, C_{fh} är dock endast av marginell betydelse.

Värmeledningstalen för isolering och mark är av relativt stor betydelse. Den sammanlagda effekten av dessa båda parametrar $d v s C_{\lambda_i} \cdot C_{\lambda_m}$, visas i nedanstående Figur 3.15 och 3.16.

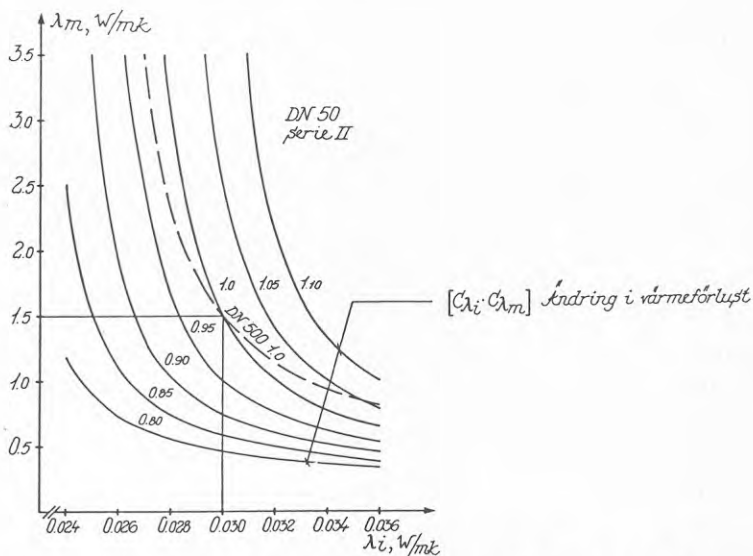


Fig 3.15 Sammanlagda effekten av C_{λ_m} och C_{λ_i} (DN 50, serie II)

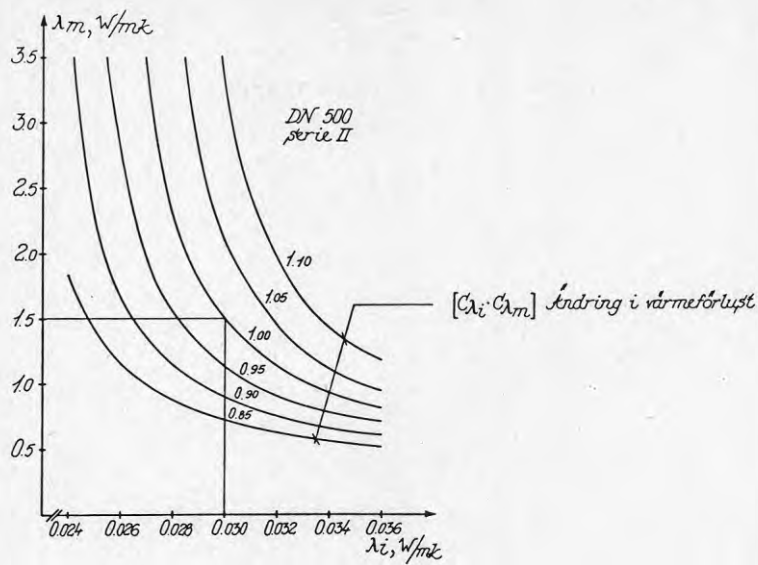


Fig 3.16 Sammanlagda effekten av $C\lambda_m$ och $C\lambda_i$
(DN 500, serie II)

SÖ/V75/106/009
HC/INN

4. KOSTNAD FÖR VÄRMEFÖRLUSTER

4.1 Prissättning av distributionsförluster - nuläge och framtid

Vid val av isoleringstjocklek ska merkostnader i nuläget för en tjockare isolering vägas mot värdet av framtida energibesparingar. För att detta ska kunna göras på ett korrekt sätt erfordras att framtida kostnader för att producera värme för distributionsförluster är kända i reala prisnivåer.

Vad som händer i framtiden är dock som bekant svårt att förutse. Metodiken får därför vara att först bestämma kostnaden per MWh för distributionsförluster med nuvarande eller planerade produktionsanläggningar. Därefter kan en prognos eller gissning göras om denna kostnad kommer att öka eller minska i förhållande till inflationen under fjärrvärmeledningens livslängd.

Producerad värme åtgår dels till att tillgodose abonnenternas värmebehov, dels till distributionsförluster. En av skillnaderna mellan dessa båda värmelaster ligger i att distributionsförlusten har längre utnyttjningstid. För svenska fjärrvärmenät uppgår den till 5 600 - 6 900 timmar.

Man kan tillämpa flera olika synsätt (här behandlas A-C) för prissättning av distributionsförlusterna. Det alternativ (A) vi vill förorda är:

A: Långsiktig medelkostnad för produktion av 1 MWh med distributionsförlustens belastningskaraktäristik. I produktionskostnaderna inkluderas såväl fasta som rörliga kostnader för värmeproduktion med dagens eller planerad produktionsmix. I de fasta kostnaderna ingår endast fasta kostnader för investering, drift och underhåll av värmeproduktionsenheter, d v s inte övriga fasta kostnader (distribution m m) i fjärrvärmeöverledelsen eftersom dessa inte påverkas av om 1 MWh sparas genom bättre isolering.

Denna kostnad kan ses som den långsiktiga självkostnaden för värmeproduktion för distributionsförluster.

Motivet för att välja detta alternativ är att distributionsförlusterna utsträcks under lång tid, 30 år eller mer. Kortsiktigt kan man tänka sig att det finns eller p g a tilläggsisolering uppstår en överkapacitet i produktionskostymen. Genom anslutning av nya abonnenter eller genom ny- eller reinvesteringar av produktionsanläggningarna sker långsiktigt en anpassning av produktionskapaciteten, varför det enligt vår mening i normalfallet är rätt att även räkna in fasta kostnader för värmeproduktion vid prissättning av distributionsförlusterna.

- B: Vid fullt utbyggda eller nästan utbyggda fjärrvärmenät kan det finnas överkapacitet i produktionssystemet under lång tid framöver. Detta kan bli ett fall vid ett antal äldre svenska verk. I sådana fall bör, vid ekonomiska jämförelser mellan olika isoleringsalternativ, de fasta kostnaderna för värmeproduktionen reduceras eller helt utgå.
- C: Ett annat synsätt är att se på alternativintäkter. Sparas 1 MWh kan denna säljas till abonnenterna. Detta är dock ett kortsiktigt resonemang eftersom det i det långa perspektivet inte finns någon direkt koppling mellan att spara och sälja. De är att betrakta som två oberoende storheter eftersom produktionsanläggningen långsiktigt anpassas efter spar- respektive säljåtgärder. Energifibesparingar och anslutning av nya abonnenter är två olika investeringar. Ur ekonomisk synvinkel gäller för respektive investering att om den ska genomföras ska avkastningen på investerat kapital vara tillräckligt hög. I annat fall görs ingen investering.

Här föreslages långsiktig medelkostnad (A) ska ses som en "rättvis" kostnad för distributionsförluster utifrån dagens produktionsförutsättningar. Om vi ska se på långsiktiga trender så kan man ha olika åsikter om bränslepriserna kommer att öka eller minska i förhållande till inflationen i övrigt. En trend som dock är mer säkerställd är att vi får alltmer energisnåla byggnader. För utbyggda fjärrvärmenät kommer således värmeunderlaget att minska, d v s den relativa distributionsförlusten ökar. Tänkbart är också att effektbehovet minskar mindre än energibehovet (d v s utnyttningstiden minskar) vilket i sig långsiktigt ökar effektandelen för topplastproduktion. Härav följer att medelkostnaden för att producera värme ökar. Om utnyttningstiden för distributionsförlusten förblir oförändrad, vilket är troligt, så ändras ej medelkostnaden för att producera värme för distributionsförlusten förutsatt att effektandelarna mellan topp- och basbränslen långsiktigt justeras med hänsyn till det minskade värmebehovet i övrigt. Detta då under förutsättning att kostnadskarakteristika för topp- och baslast ej ändras.

En annan reflektion som kan göras är att distributionsförlusterna är att betrakta som en fast kostnad för abonnenterna då de ej kan påverka distributionsförlustens storlek. Man kan välja mellan att ha en årlig kapitalkostnad för isoleringen eller årliga i princip fasta kostnader för förlusterna. Det intressanta ur abonnentens och därmed verkets synvinkel är att nedbringa den sammanlagda kostnaden till ett minimum, d v s att välja optimal isoleringstjocklek.

4.2 Medelkostnad för total värmeproduktion

I nedanstående Figur 4.1 visas varaktighetskurvan för producerad värmeeffekt i Malmö. En antagen optimal fördelning mellan olja, kol och värmepump har lagts in i diagrammet.

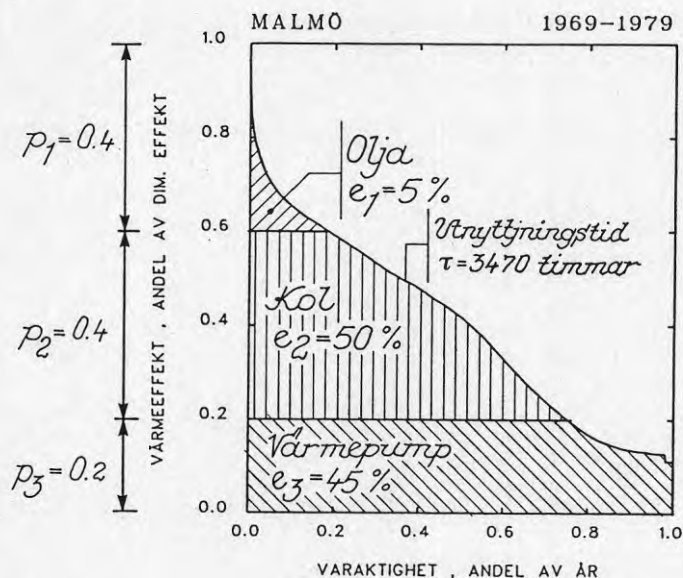


Fig 4.1 Varaktighetskurva för total producerad värmeeffekt i Malmö. Exempel på produktionsmix.

Antagna förutsättningar

Olja:	$f_1 = 50$ kkr/MW och år
	$r_1 = 200$ kr/MWh
Kol:	$f_2 = 200$ kkr/MW och år
	$r_2 = 100$ kr/MWh
VP:	$f_3 = 330$ kkr/MW och år
	$r_3 = 80$ kr/MWh

Kostnaden k för att producera en MWh kan nu uttryckas genom

$$k = \frac{(p_1 \cdot f_1 + p_2 \cdot f_2 + p_3 \cdot f_3)}{\tau} + r_1 \cdot e_1 + r_2 \cdot e_2 + r_3 \cdot e_3 \quad (4.1)$$

Insätts siffrorna i exemplet erhålls

$$k = 48 + 10 + 50 + 37 = 144 \text{ kr/MWh}$$

Denna kostnad avser således prissättning enligt alternativ A i avsnitt 4.1.

Man kan visa, se Bilaga 4.1, att om fördelningen mellan de olika produktionslagen är optimal, så är

- medelkostnaden för värmeproduktionen lika med nominell dimensionerande effekt gånger effektkostnaden för spetslasten plus den kortsiktiga marginalkostnaden.

Den kortsiktiga marginalkostnaden erhålls genom att dela in varaktighetsdiagrammet i vertikala skikt, se Figur 4.2, istället för horisontella.

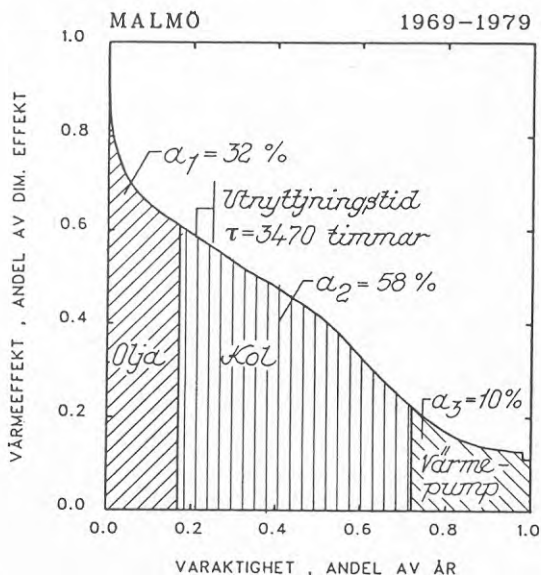


Fig 4.2 Fält i varaktighetsdiagrammet enligt kortsiktig marginalkostnad.

Kostnaden för att producera 1 MWh blir därmed

$$k = \frac{(p_1 + p_2 + p_3) \cdot f_1}{\tau} + r_1 \cdot a_1 + r_2 \cdot a_2 + r_3 \cdot a_3 \quad (4.2)$$

Med aktuella siffror ($\sum p = 1.0$) erhålls

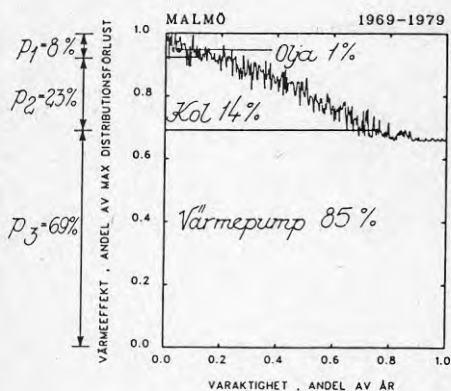
$$k = 15 + 62 + 59 + 8 = 144 \text{ kr/MWh}$$

Fördelen med att räkna med ekv. 4.2 istället 4.1 är att man för fasta kostnader endast behöver känna till f_1 , dvs fasta kostnader för topplast. Då dessa vanligtvis avser oljeeldade anläggningar är deras andel av totalkostnaden liten.

Såväl ekv 4.1 som 4.2 avser prissättning enligt alternativ A i avsnitt 4.1.

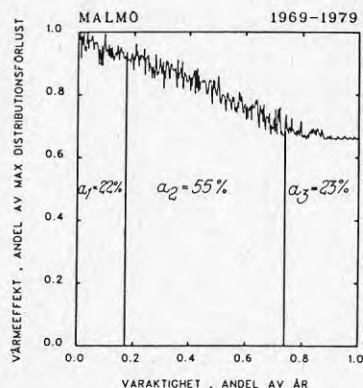
4.3 Medelkostnad för distributionsförlust

Av nedanstående Figur 4.3 framgår bl a ett exempel på varaktighetskurva för distributionsförlustens storlek koordinerad med den totala värmelastens varaktighet.



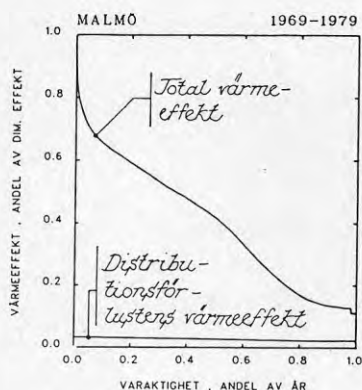
a) (ekv 4.1)

Varaktighetskurva för distributionsförlusten. Övergången mellan olja/kol och kol/VP sker vid samma utnyttjningstid som för total värmeproduktion.



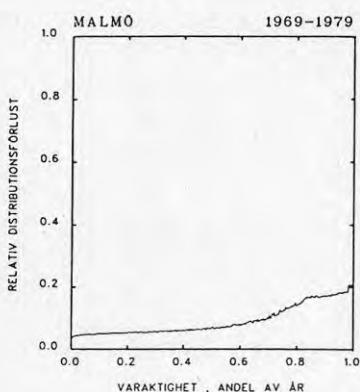
b) (ekv 4.2)

Varaktighetskurva för distributionsförlusten. Fälten i diagrammet är inlagda efter kortsiktig marginalkostnad.



c)

Distributionsförlustens värmeeffekt som funktion av den maximalt producerade effekten.



d)

Distributionsförlustens andel av den producerade värmeeffekten.

Fig 4.3 Distributionsförlustens varaktighet koordinerad med den totala värmelastens varaktighet.

Av diagram a) och b) framgår att utnyttjningstiden för distributionsförlusterna är påtagligt större än för värmelasten i övrigt. Distributionsförlusten är något större i absoluta tal på vintern än på sommaren. Som framgår av diagram d) blir dock distributionsförlustens andel av den producerade effekten relativt liten under vintern medan den är större under sommaren beroende på den då låga värmeförbrukningen hos abonnenterna.

I Malmö är distributionsförlustens andel av totalt producerad värmemängd ca 7 %. Med 3 470 timmars utnyttjningstid för den sammanlagda värmelasten och 6 900 timmar för distributionsförlusten blir effektandelen under dimensionerande vinterdag:

$$\text{Andel effekt för distributionsförlust} = \frac{3\,470}{6\,900} \times 7 = 3.5 \%$$

Som tidigare framgått (alternativ A) kan kostnaden för distributionsförlusterna k_d beräknas som medelkostnad för produktion av 1 MWh med distributionsförlustens belastningskaraktäristik. Denna beräkning kan göras med formel 4.1 (fig 4.3 a) eller approximativt¹⁾ med formel 4.2 (fig 4.3 b). Nyttjas för enkelhetens skull formel 4.2 erhålls:

$$k_d = \frac{50\,000}{6\,900} + 200 \cdot 0.22 + 100 \cdot 0.55 + 80 \cdot 0.23 = 125 \text{ kr/MWh}$$

Medelkostnaden för distributionsförlusten blir således lägre än medelkostnaden för värmeproduktionen som helhet (144 kr/MWh). Detta beror på det välkända förhållandet att medelpriset blir lägre för längre utnyttjningstider.

Sammanfattningsvis kan således sägas att kostnaden för distributionsförlusten kan beräknas enligt formel 4.1 eller approximativt efter 4.2. Beroende på vad man tror om framtiden kan man därefter ställa sig frågan om man anser att man minskar abonnenternas fasta kostnader för distributionsförluster (investering i merisolering eller produktionskostnader för förlusten) genom att öka eller i undantagsfall minska denna beräknade kostnad per MWh.

För fjärrvärmenät med mottrycksproduktion gäller att ökade distributionsförluster något ökar möjligheterna för att producera el. Härav följer att det kan vara motiverat att välja något lägre kostnad per MWh som grund för val av ekonomisk isoleringstjocklek än vad som annars är fallet vid enbart värmeproduktion.

I Bilaga 4.2 visas med ett enkelt räkneexempel hur medelmarginalkostnaden under ett år för värmeförlusten kan beräknas enligt alternativ A ovan. Exemplet visar dels hur hänsyn tas till varaktigheten för temperaturerna, dels inverkan av ändrade bränslepris.

1) Formel 4.1 och 4.2 ger samma resultat om effektandelarna är optimalt valda.

5. MARGINALKOSTNADER FÖR KULVERTMATERIAL OCH MARKARBETEN

Kostnader för kulvertmaterial och markarbeten varierar beroende på konkurrenssituation, geografiskt läge m m. Speciellt stora variationer mellan olika projekt kan uppstå just för marginalkostnaderna.

I det enskilda fallet bör således aktuell marginalkostnad användas för att bestämma optimal isoleringstjocklek.

För att i denna rapport kunna göra en rekommendation om lämplig isoleringstjocklek erfordras emellertid uppgifter om marginalkostnader för kulvertmaterial och markarbeten. Med anledning härav redovisas nedan vad vi uppfattar som "genomsnittliga marginalkostnader".

5.1 Kulvertmaterial

Från ett antal kulvertleverantörer och större värmeverk har prisuppgifter för kulvertrör och skarvisolering erhållits. Utifrån detta material har genomsnittsvärden tagits fram för olika dimensioner. Resultatet härav i form av tilläggskostnader för serie III och IV samt avdragskostnader för serie I redovisas i Figur 5.1. Att beakta här är att spridningen kan vara förhållandevis stor.

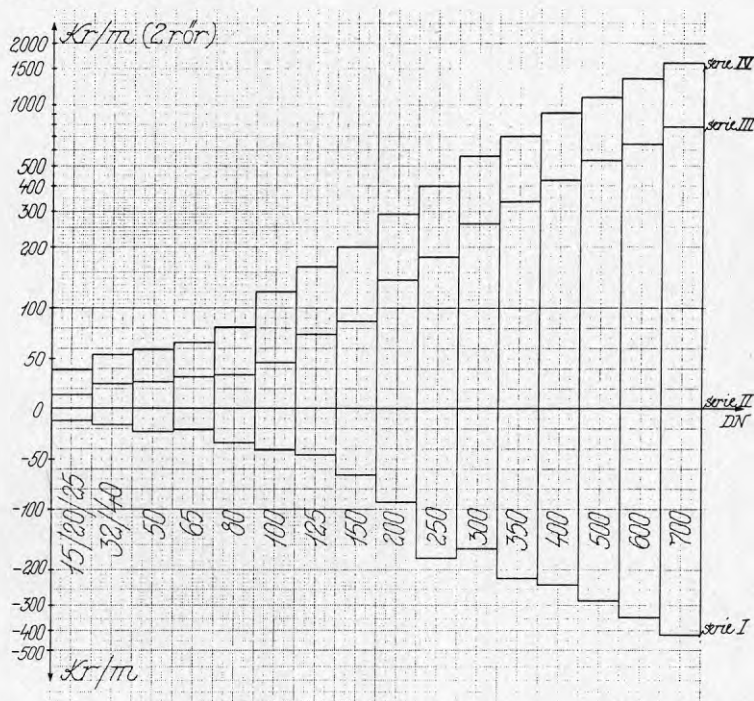


Fig 5.1 Tillägs- resp avdragskostnader för kulvert-rör vid olika isoleringstjocklekar. Prisnivå halvårsskiftet 1983.

5.2 Markarbeten

Ökad isoleringstjocklek ökar kostnaderna för

- schakt
- kringfyllning
- återfyllning
- markåterställning

I Bilaga 5.1 redovisas här använda mått på typsektioner samt erforderliga mängder (m^3 , m^2) för olika isoleringstjocklekar.

Som underlag för bestämning av á-priser har använts den analys av anläggningskostnader för fjärrvärmekulvertar som redovisas i ref FJÄRRVÄRMEBYRÅN 1983. Denna är utförd i kostnadsnivå maj 1983 och avser förhållandena i mellersta Sverige. Detta underlag har penetrerats närmare tillsammans med SCG och JCC i syfte att ge en rättvis bild just av marginalkostnaderna vid ökad isolering. Resultat härav redovisas i Bilaga 5.2.

Kombineras mängder och á-pris erhålls följande marginalkostnader

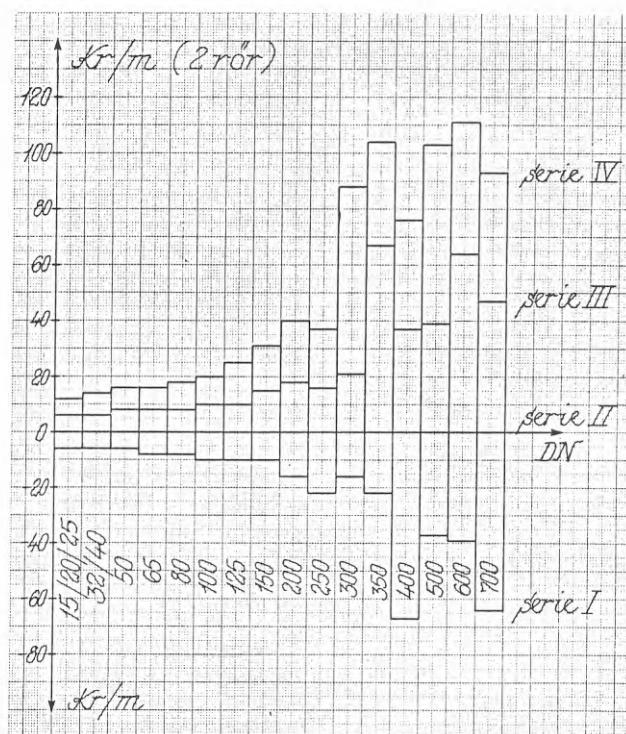


Fig 5.2 Marginalkostnad för markarbeten vid ändrad isoleringstjocklek. Prisnivå halvårsskiftet 1983.

Orsaken till att kostnadsförändringarna vid någon dimension är oregelbunden beror på att vid övergång av PEH-mantelns ytterdiameter från 560 till 630 mm samt från 800 till 900 mm ändras även typsektionen, se bilaga 5.1. Därmed erhålls ytterligare marginalkostnader än vad som annars skulle vara fallet.

Fördelningen mellan marginalkostnaderna för schakt, kringfyllning, återfyllning och markåterställning för de tre typsektionerna framgår av Figur 5.3.

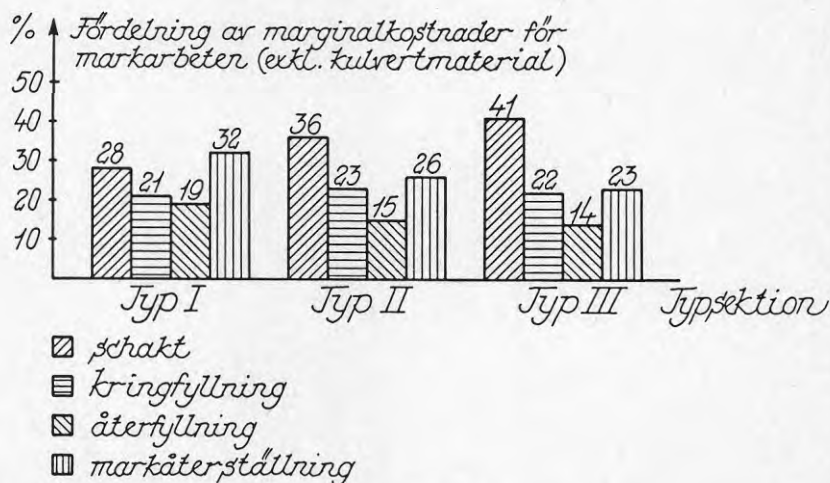


Fig 5.3 Fördelning av marginalkostnader

Beläggningen har antagits bestå av asfalt.

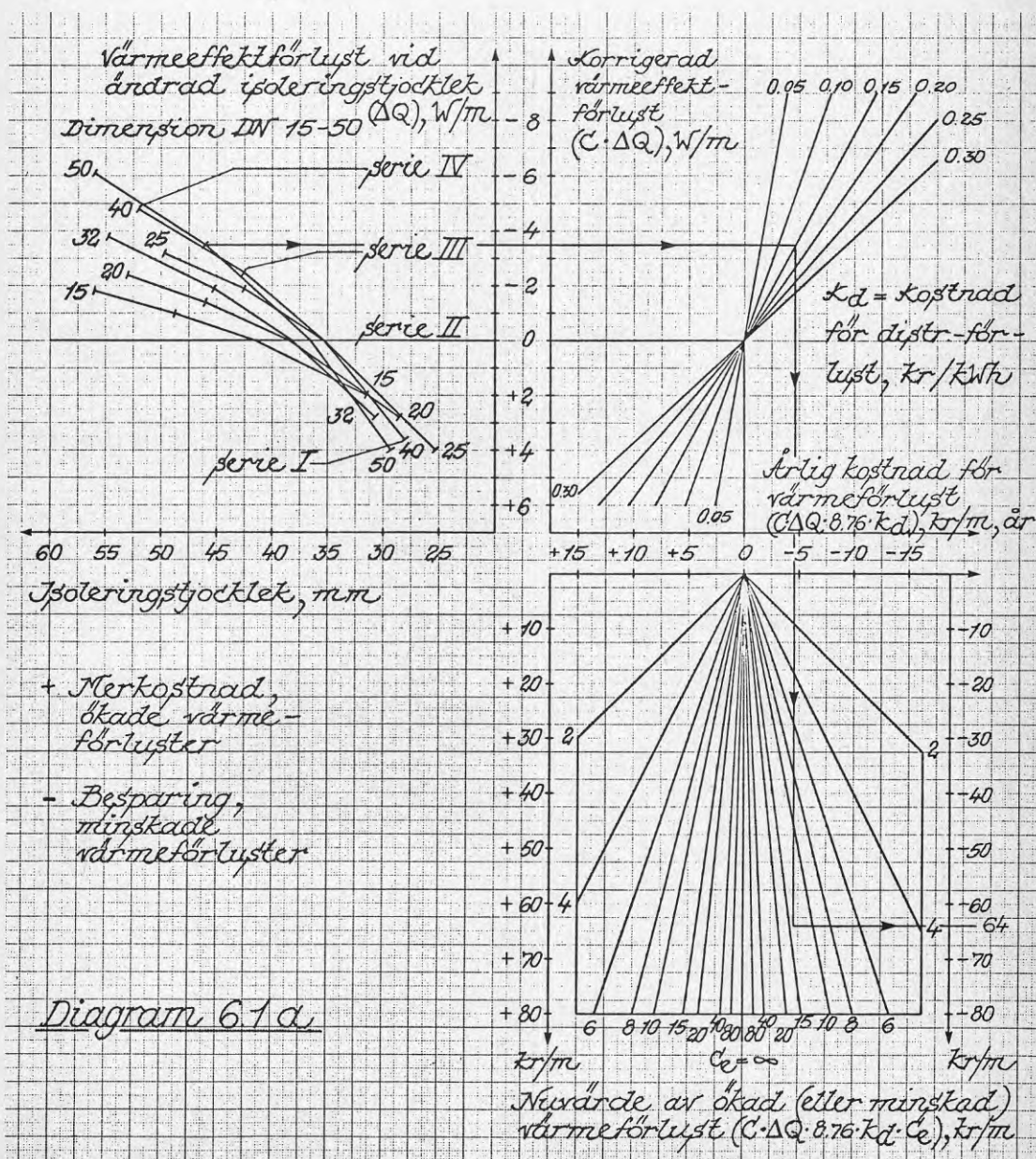
6. VAL AV ISOLERINGSTJOCKLEK

6.1 Diagram

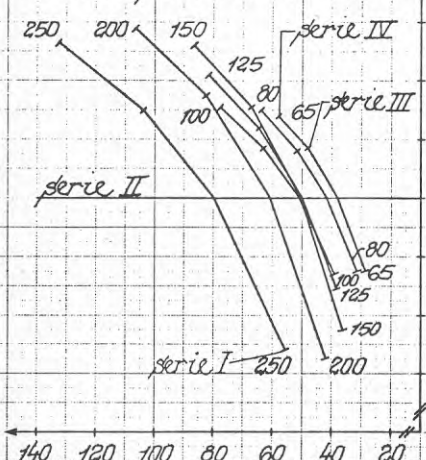
I referensfallet nyttjas Serie II. Nuvärdet av energibesparingen vid ändrad isoleringstjocklek erhålls ur Diagram 6.1 (a-c).

Diskonteringsfaktorn C_e ges i Tabell 6-1.

I diagram 6.1 a visas hur nuvärdet av minskad värmeförlust (-64 kr/m) erhålles vid ökning av isoleringstjockleken från Serie II till Serie III för dimension DN 50 ($C_e = 13.76$).



Värmeeffektförlust vid ändrad
isoleringsstycklek (ΔQ), W/m
Dimension DN 65-250



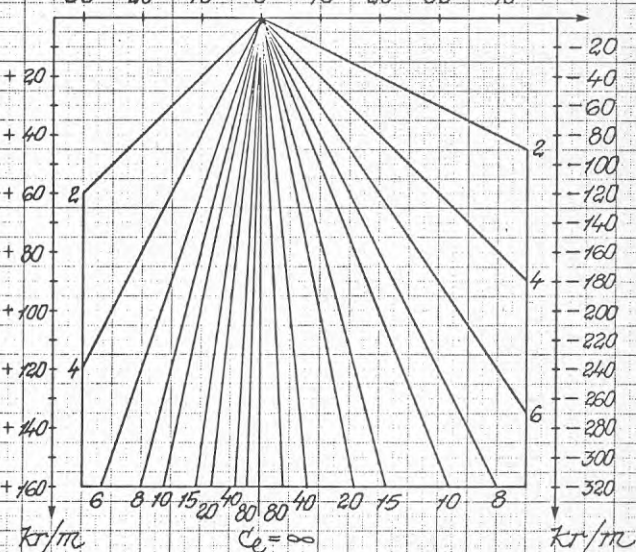
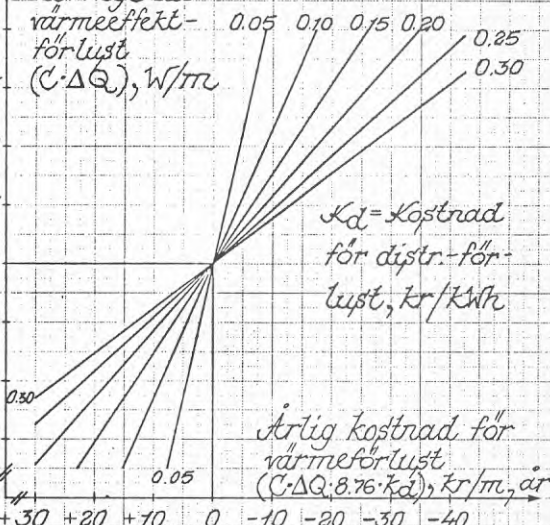
Isoleringsstycklek, mm

+ Merkostnad,
ökade värme-
förluster

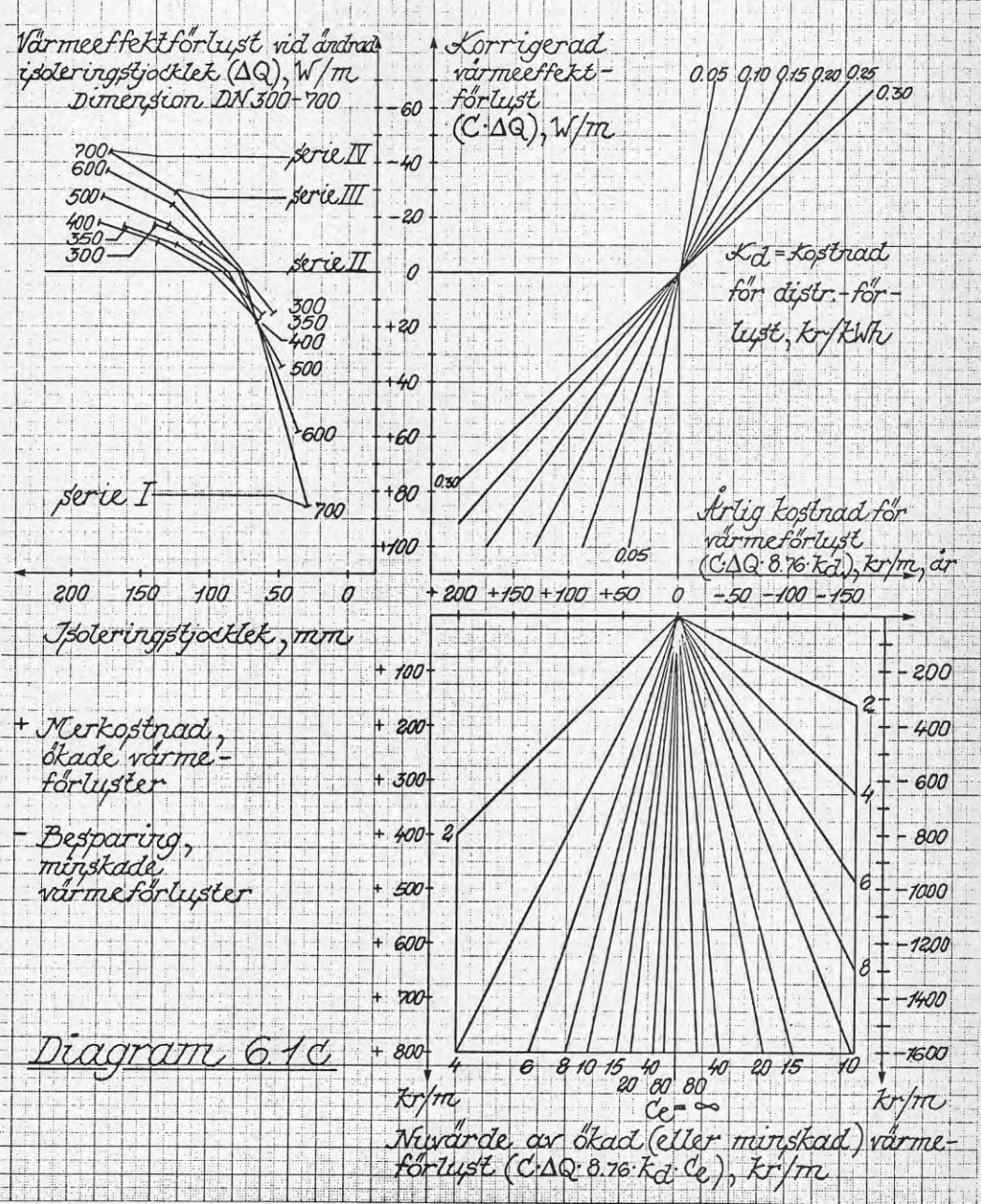
- Besparing,
minskade
värmeförluster

Diagram 6.1b

Korrigerad
värmeeffekt-
förlust
($C \cdot \Delta Q$), W/m



Nuvärde av ökad (eller minskad) värme-
förlust ($C \cdot \Delta Q \cdot 8.76 \cdot K_d \cdot C_e$), kr/m



Tabell 6-1. Diskonteringsfaktor, C_e för bestämning av nuvärde.

a_n	p %	Kalkylränta, r							
		3 %	4 %	5 %	6 %	8 %	10 %	15 %	20 %
5 år	-2	4.32	4.20	4.08	3.98	3.77	3.58	3.17	2.84
	0	4.58	4.45	4.33	4.21	3.99	3.79	3.35	2.99
	2	4.86	4.72	4.59	4.46	4.23	4.01	3.54	3.15
	5	5.30	5.15	5.00	4.86	4.60	4.36	3.84	3.41
10 år	-2	7.68	7.32	6.98	6.66	6.09	5.59	4.60	3.87
	0	8.53	8.11	7.72	7.36	6.71	6.14	5.02	4.19
	2	9.48	9.00	8.56	8.14	7.40	6.76	5.48	4.55
	5	11.13	10.54	10.00	9.50	8.59	7.81	6.27	5.16
20 år	-2	12.36	11.36	10.48	9.70	8.40	7.36	5.53	4.38
	0	14.88	13.59	12.46	11.47	9.82	8.51	6.26	4.87
	2	18.08	16.41	14.96	13.69	11.58	9.93	7.13	5.45
	5	24.62	22.15	20.00	18.13	15.08	12.72	8.80	6.52
30 år	-2	15.20	13.59	12.23	11.09	9.27	7.91	5.72	4.44
	0	19.60	17.29	15.37	13.76	11.26	9.43	6.57	4.98
	2	25.88	22.52	19.75	17.46	13.94	11.43	7.63	5.62
	5	40.98	34.92	30.00	25.99	19.97	15.80	9.81	6.87
50 år	-2	17.97	15.50	13.56	12.01	9.72	8.14	5.76	4.45
	0	25.73	21.48	18.26	15.76	12.23	9.91	6.66	5.00
	2	39.38	31.68	26.02	21.77	16.02	12.46	7.83	5.66
	5	84.83	64.43	50.00	39.63	26.44	18.95	10.39	6.99

$$C_e = \frac{1 - \left(\frac{1 + \frac{p}{100}}{1 + \frac{r}{100}} \right)^{a_n}}{\frac{\frac{r}{100} - \frac{p}{100}}{1 + \frac{p}{100}}} \quad (6.1)$$

C_e = diskonteringsfaktor för beräkning av nuvärdet.

r = real kalkylränta i % d v s låneränta minskad med inflation.

p = realprisändring i % d v s energiprisändring minskad med inflation.

a_n = kulvertens avskrivningstid i år.

Kommentar till diagram 6.1 och tabell 6-1.

1. Parametervärden för bestämning av värmeeffektför-lusten ΔQ är $\Delta T = 65^\circ\text{C}$, $\lambda_i = 0.03 \text{ W/mK}$, $\lambda_m = 1.5 \text{ W/mK}$, $H = 0.8 \text{ m}$ och $S = 0.2 \text{ m}$.

Önskar man nyttja andra parametervärden multipli-ceras nuvärdet eller ΔQ -värdet i diagram 6.1 med någon av korrektionsfaktorerna, enligt kapitel 3.

Temperatur $C_T =$ se figur 3.2

λ_i $C \lambda_i =$ se figur 3.8

λ_m $C \lambda_m =$ se figur 3.10

Fyllningshöjd $C_{fh} =$ se figur 3.11

Avstånd m. rör $C_{fa} =$ se figur 3.12

Vid ändring av flera parametrar samtidigt bör ΔQ beräknas med ekv 2.2 såsom skillnaden i värmeeffektför-lust vid de två aktuella isoleringstjock-lekarna

$C \lambda_m$ beror av vilken serie man väljer liksom $C \lambda_i$ (Figur 3.8 a och 3.10 a-d). Väljs andra parametrar än i referensfallet för λ_i och λ_m bör ej ΔQ korrigeras direkt utan man beräknar differensen med korrigerade värden ur tabell 2-1.

2. Energiförlusten är beräknad med temperaturdiffe-rensen ΔT under 8760 timmar. Vid lägre timantal korrigeras den årliga kostnaden för värmeförlusten.
3. Kostnaden k_d per kWh för distributionsförlusten avser nuvarande kostnadsnivå. Önskar man exempel-vis inkludera 2 % årlig prisökning utöver infla-tionen i beräkningarna så sker detta genom att C_e - faktorn beräknas med $p = 2$.
4. Önskar man bestämma den totala värmeförlusten från en direktskummad kulvert (och inte bara ök-ningen eller minskningen i värmeförlust vid ändrad isoleringstjocklek) nyttjas tabell 2-1 eller figur 2.2. Alternativt kan beräkning göras med ekv 2.2.

Nuvärdet av energibesparingen ska jämföras med margi-nalkostnaden för kulvert och markarbeten. Denna kost-nad varierar beroende på konkurrenssituation m m. Härav följer att i första hand bör aktuella prisupp-gifter knutna till en upphandling (årsupphandling eller enstaka projekt för större ledningar) nyttjas.

De genomsnittliga anläggningskostnader som tagits fram i detta projekt redovisas i avsnitt 5.1 och 5.2. Summeras marginalkostnaderna i figur 5.1 för kulvert-rör och figur 5.2 för markarbeten erhålls följande kostnader

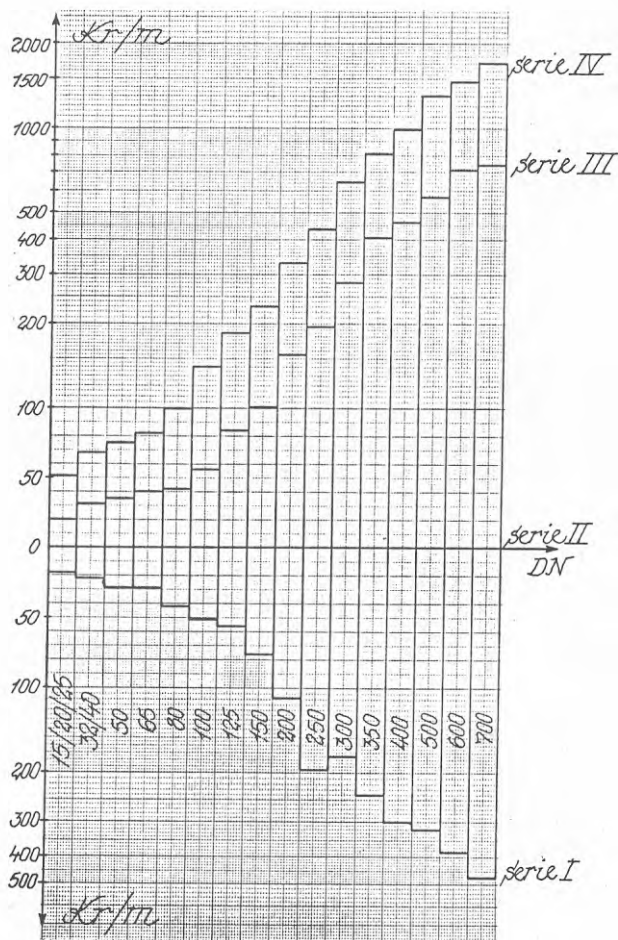


Fig 6.1 Tillägs- och avdragskostnader för summa anläggningskostnad vid olika isoleringstjocklekar. Prisnivå halvårsskiftet 1983.

Exempel 1: Bestäm optimal isoleringstjocklek för en DN 150-ledning med $k_d = 15$ öre/kWh, 13 % låneränta, 7 % inflation (även för energikostnad) och 30 års avskrivningstid. I övrigt parametervärden enligt referensfallet.

Diagram 6.1 och figur 6.1 ger

Serie	Merkostnad för ökad värmeförlust ¹⁾	Tillägg anl.kostnad	Summa
I	> +160	-76	> +84
II	0	0	0
III	-139	+102	-37
IV	-237	+231	-6

Härav följer att optimal isoleringstjocklek är Serie III, eftersom denna ger lägsta summakostnaden.

Exempel 2: I en totalentreprenad har entreprenören erbjudit att för en tilläggskostnad av 160 kr/m öka isoleringstjockleken från Serie II till Serie III för en DN 400-ledning. Bör verket acceptera detta om man tillämpar samma kalkylförutsättningar som i exempel 1 med undantag från att $\Delta T = 75^\circ\text{C}$ ($T_o = 0^\circ\text{C}$)?

Figur 6.1 ger $\Delta Q = 11$ W/m. Korrigering för större ΔT ger $\Delta Q = 12,6$ W/m. Diagram 6.1 b ger nuvärdet -230 kr/m. Härav följer att verket minskar summakostnaden varför man bör acceptera entreprenörens erbjudande.

6.2 Rekommenderade isoleringstjocklekar

Om man utöver de förutsättningar som gäller för referensfallet, se avsnitt 2.2, även väljer att ansätta:

- marginalkostnader för kulvert och markarbeten enligt figur 6.1
- 6 % realränta (13 % låneränta, 7 % inflation)
- energipriserna följer den allmänna inflationen
- 30 års avskrivningstid

kan isoleringstjocklekar rekommenderas enligt Figur 6.2

1) Minustecken erhålls vid minskad värmeförlust.

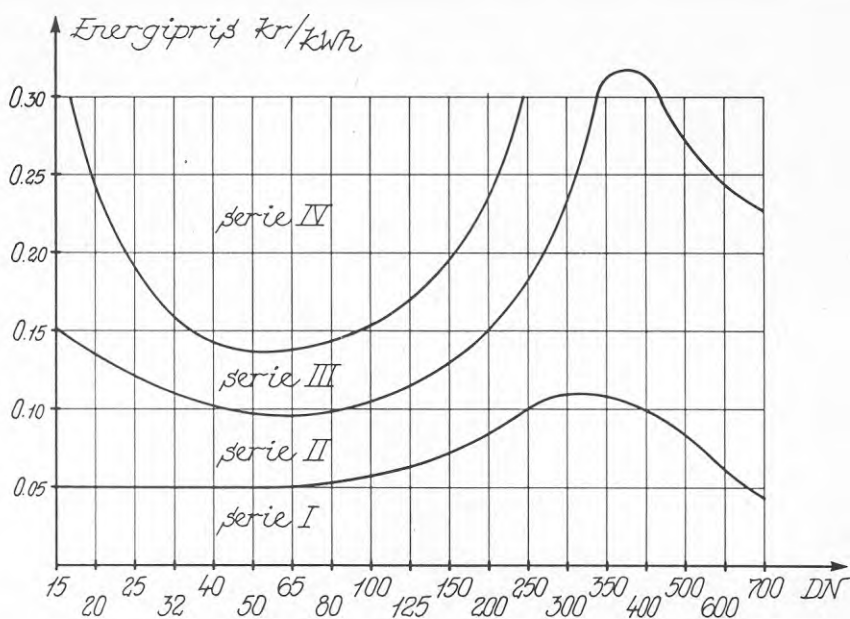


Fig 6.2 Rekommenderade isoleringstjocklekar vid olika kostnad för distributionsförluster.

Om man därtill ansätter 15 öre/kWh som ett genomsnittsvärde för produktionskostnaden för distributionsförlusten i svenska fjärrvärmenät erhålls följande rekommendation

DN 15 - DN 32	Serie III
DN 40 - DN 80	Serie IV
DN 100 - DN 200	Serie III
DN 250 - DN 700	Serie II

Bäst ekonomiskt utbyte har man av isoleringen som ligger närmast mediaröret. För små dimensioner har man därtill en stor relation mellan isoleringens inner- och ytterdiameter. Detta får som följd att när man exempelvis ökar isoleringstjockleken från serie III till serie IV så åtgår det förhållandevis mer material och därmed kostnader än vad man sparar in i minskad värmeförlust. Härav orsaken till att serie III är att föredra för DN 15-32.

Orsaken till att man för större dimensioner får en puckel i kurvorna i figur 6.2 kommenteras i det följande.

Förändringar i värmeeffektörlust bestäms vid ändrad isoleringsserie av hur mycket utrymmet för isoleringen mellan stålrör och PEH-rör förändras. Genom att följa

standarddimensioner på dessa rör definieras isoleringstjockleken för en kulvert av vald kombination av media- och mantelrör.

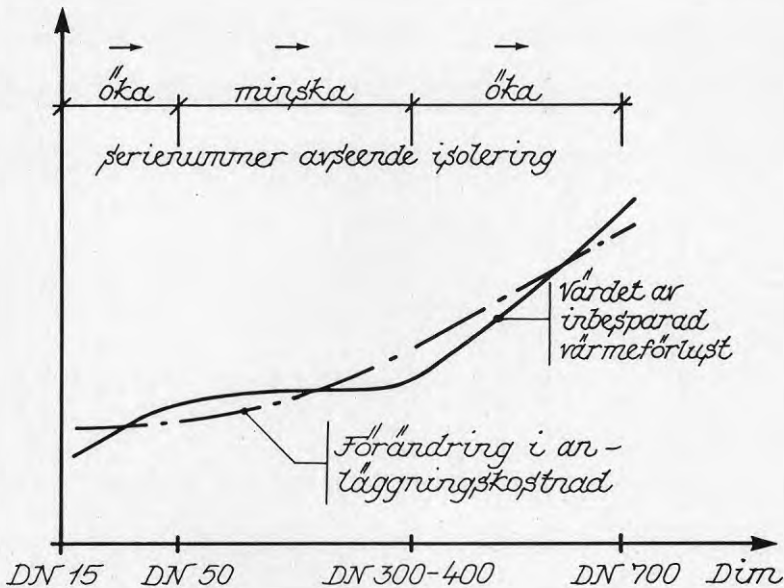


Fig 6.3 Principiellt samband mellan värdet av inbesparad värmeförlust och ökad anläggningskostnad vid övergång från serie II till serie III.

Valda standarddimensioner medför enligt Figur 6.3 att i intervallet DN 15-DN 50 ökar värdet av inbesparad värmeförlust snabbare än ökad anläggningskostnad vid övergång från serie II till III. Härav följer att man får en ökad isoleringstjocklek vid ökad dimension. I intervallet DN 50-DN 400 är förhållandet det omvända vilket medför successivt minskade isoleringstjocklekar i detta intervall. För stora dimensioner ökar värdet av inbesparad värmeförlust snabbare än anläggningskostnaden vilket åter resulterar i att man bör välja en ökad isoleringstjocklek.

Serie IV finns ej idag på den svenska fjärrvärmemarknaden. Här gjorda beräkningar visar emellertid att denna isoleringstjocklek är att föredra för mindre fördelningsledningar (DN 40-80). För dessa skulle också Serie I kunna utgå. Frågan om att införa Serie IV och ta bort Serie I för små dimensioner bör således tas upp i diskussioner mellan företrädare för värmeverken och leverantörerna.¹⁾

6.3 Jämförelse med nuvarande isoleringsstandard

Uppgifter har erhållits från kulvertleverantörer om hur deras leveranser till värmeverken (primärledningar) fördelat sig på olika isoleringstjocklekar under de senaste åren. Resultat härav redovisas i Bilaga 6.1. Fördelningen är gjord som ett försök till uppskattning av genomsnittsvärde för landet varför den kan avvika från det enskilda energiverkets inköp. I regel väljs tunnare isoleringstjocklekar för sekundärledningar än för primärledningar, men detta beaktas ej i detta sammanhang eftersom värmeverken normalt ej är huvudman för dessa ledningar.

Jämförs nuvarande isoleringsstandard enligt bilaga 6.1 med rekommenderade isoleringstjocklekar enligt figur 6.2 motsvarar valda isoleringstjocklekar ett energipris på ca 8 öre/kWh. Det är vår bedömning att den verkliga produktionskostnaden för distributionsförlusten i genomsnitt är högre i de svenska fjärrvärmäten idag, varvid det kan konstateras att många värmeverk väljer något för tunn isolering. Även om isoleringstjocklekarna ökats under senare år på grund av höjda energipriser så är de således ännu knappast tillräckliga utifrån de antaganden som idag synes vara rimliga.

De svenska värmeverken har under senare år byggt ca 300 km PUR-kulvert per år. Om dessa investeringar istället gjorts med här rekommenderade isoleringstjocklekar hade värmeförlusten för ett års tillkommande ledningar minskat från 115 GWh till 95 GWh vilket motsvarar en minskad kostnad för denna med 3 Mkr/år. Samtidigt hade emellertid investeringskostnaderna ökat med 26 Mkr vilket innebär en årlig merkostnad av 2 Mkr/år. Nettoresultatet (6 % realränta, 30 år, 15 öre/kWh) härav är en besparing på ca 1 Mkr/år under ledningarnas livslängd för ett års nytillkommande ledningar. Ur fjärrvärmekundernas synvinkel är det således av betydelse att värmeverken tänker igenom sina kalkylförutsättningar och därefter väljer optimal isoleringstjocklek.

1) En fråga som bör värderas i detta sammanhang är risken för höga skjuvspänningar i PUR-skummet för små dimensioner.

7. ÖVRIGT

7.1 Isolering av kammare

För att erhålla ett ekonomiskt fjärrvärmenät med en låg kostnad för värmeförlusten bör även val av isoleringstjocklek i kammare ske optimalt.

På uppdrag av Malmö Energiverk har VBB i Malmö utfört en enkel pilotstudie angående ekonomiska och byggnadsfysikaliska konsekvenser av omisolering i befintliga kammare, se ref OLOFSSON-CARLSSON 1983. Av denna studie kan slutsatser dras som även gäller för isolering av nya kammare.

Ett resultat av de ekonomiska kalkylerna är att isolering i kammare bör utföras med högsta möjliga isoleringsstandard, dvs det fria avståndet mellan rören (som bestäms av anslutande kulvert) eller maximalt tillgängliga isoleringstjocklekar blir begränsade.

Oisolerade ventiler ger stora värmeeffektörluster vilket innebär att en isolering av dessa bör övervägas. Pay-off-tiderna härför är korta för rätt vald isoleringsmetod. Tex ger isolermadrasser, bestående av 50 mm mineralull insydd i kraftig väv, återbetalningstider på 2-3 år för ventiler av anslutning DN 200. För större dimensioner uppnås kortare pay-off-tider.

För mindre dimensioner bör andra metoder väljas. En metod som är lämplig vid nyproduktion av kammare eller vid omisolering av hela kammare är framdragen rårörisolering, vilket innebär att isoleringen dras fram över ventilhuset där så är möjligt med hänsyn till ventilutformning och tjocklek på isoleringen. Pay-off-tiden blir ca 1 år.

Isoleringsstandarden påverkar klimatet i kammaren. En förhöjd isoleringsstandard ger lägre kammartemperatur vilket leder till en högre relativ luftfuktighet, RF. För slutna kammare (anslutning av PEH-kulvert) där inget luftutbyte kan ske med anslutande kulvertat blir denna inverkan störst. För öppna kammare (anslutning till betongkulvert) påverkas ej klimatet något nämnvärt om isoleringsstandarden förbättras.

Då korrosionshastigheten på stål drastiskt ökar vid förhöjd RF över 60 % bör inte luftfuktigheten ligga över denna nivå under längre perioder.

Fältmätningar gjorda på FV-kammare i Malmö har indikerat att tilläggsisolering av kammare inte är något problem i normalfallet, dvs då fukttillskottet från omgivande mark inte är onormalt stort. För kammare med fuktproblem bör man i första hand tillse att vatten inte läcker in i väggenomföringar eller dylikt samt att ventilationen fungerar. Möjligheten finns också att lokalt minska eller ta bort isolering i syfte att höja temperaturen vilket minskar RF (60 % kan ses som ett riktvärde).

7.2 Dräneringsledningarnas betydelse för värmeförlusten

En dräneringsledning installeras för att

- hålla ledningsgraven fri från vatten under byggskedet
- minska riskerna (korrosionsskador, ökad lokal värmeförlust) för att vatten tränger in vid felaktigt utförda skarvar.
- minska värmeförlusterna genom sänkt värmeledningstal λ_m .

De två första motiven är enligt vår mening i normalfallet tillräckliga för att motivera merkostnaderna för en dräneringsledning.

En intressant frågeställning kan dock vara om dräneringsledningen betalas enbart genom att omgivande mark får ett lägre värmeledningstal. Denna fråga är inte så enkel att svara på eftersom det är svårt att ange hur λ_{mark} påverkas av förekomsten av en dräneringsledning.

Man kan därför vända på problemet och räkna ut hur mycket λ_{mark} i genomsnitt under ett år behöver ändras för att motsvara kostnaden för dräneringsledningen. Resultatet härav redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 7-1

I tabellen anges hur mycket λ_{mark} behöver minska för att den minskade värmeförlusten skall motsvara kostnaden för dräneringsledningen.

Markens antagna värmeledningstal
utan dräneringsledning

2,0 W/mK

1.0 W/mK

				2,0 W/mK	1.0 W/mK
DN 32	Serie	I		-0,8	-0,3
		II		-0,9	-0,3
		III		-1,0	-0,4
		IV		-1,2	-0,4
DN 100	Serie	I		-0,4	-0,1
		II		-0,6	-0,2
		III		-0,7	-0,2
		IV		-0,8	-0,3
DN 500	Serie	I		-0,1	-0,05
		II		-0,2	-0,1
		III		-0,4	-0,1
		IV		-0,6	-0,2

- Förutsättningar: - Kostnad för att installera dräneringsledning är ca 22/kr,m.
- Övriga beräkningsförutsättningar enligt avsnitt 2.2 och 6.2.

I figur 3.9 redovisas markens värmeledningstal även för vattenmättad jord. Huruvida detta blir fallet om man avstår från en dräneringsledning är svårt att uttala sig om i generella termer eftersom det är avhängigt på flera faktorer.¹⁾ Vår bedömning av här redovisade beräkningar är att λ_{mark} i normalfallet påverkas i minst den storleksordning som redovisas i tabell 7-1, d v s kostnaden för dräneringsledningen kompenseras av minskade värmeförluster.

Malmö 1983-01-16
Malmö Energiverk

VBB AB

Sture Andersson

Dan Olofsson

/Håkan Carlsson

1) Vatteninfiltration i markytan, grundvattennivå, samt rörgravens och omgivande marks vattengenomsläpplighet.

REFERENSER

BRYDOV 1982, Optimale isoleringsstykker på fjernvarmeledninger. Danske energiministeriets energiforskningsprogram: Fjernvarme 3, projektrapport. Danske Fjernvarmeværkers Forening, Kolding.

CLAESSON 1983, Document D1:1983, Heat extraction from the ground by horizontal pipes, Swedish Council for Building Research, Stockholm.

FJÄRRVÄRMEBYRÅN 1983, Analys av anläggningskostnader för fjärrvärmekulvertar, Rapport 1983-08-10, Projekt E 36, Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning.

GERKE-REINEKE 1983, Wirtschaftliche Dämmdicke Von Fernwärmeleitungen. Fernwärme International 12 (1983):4, p 224-231.

HUOVILAINEN 1982, Economic Optimization of Pre-Insulated District Heating Lines. Paper IV-2. Fifth International District Heating Conference in Kiev, September 7-10, 1982.

JANSSON 1967, Tjåldjupet i Sverige samt dess betydelse för vatten- och avloppsledningars läggningsdjup, VBB, Stockholm.

JARFELT 1983, Bestämning av värmeförluster från en fjärrvärmekulvert med mediarör av stål, mantelrör av polyeten och direktapplicerad polyuretanisolering, Avd för Husbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

LAMBERTSEN OCH ESKEKELUND 1978, Optimala isoleringstjocklekar för prefabricerade fjärrvärmerör. Fjernvarmen (1978):5.

LAWAETZ 1982, Beregning af fjernvarmeledningers varmetab, Fjernvarme 3.1, Bilagsrapport 3.1, Danske Fjernvarmeværkers Forening, Kolding.

LECKNER 1980, Kompendium i Energisystem för Me4. Inst. för Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

MCMILLAN 1926, Heat Transfer Through Insulation in the Moderate- and High-Temperature Fields:A Statement of Existing Data. Transactions of ASME 48 (1926):2034, p 1269-1317.

MCMILLAN 1927, Selection of Insulation for Steam Distribution Systems. Proceedings of the National District Heating Association 18 (1927), p 131-141.

NOLTE 1982, Beitrag zum Alterungsverhalten von Polyurethan-Hartschaum unter hohen Temperaturen, Dissertation Universität Hannover.

OLOFSSON-CARLSSON 1983, PM angående omisolering av befintliga FV-kammare, VBB-rapport på uppdrag av Malmö Energiverk.

STERNBERG 1972, Die optimalen Isolierdicken bei Fernwärmeleitungen in Abhängigkeit von der Jahresdauerlinie. Stadt- und Gebäudetechnik 26 (1972):9, p 240-242.

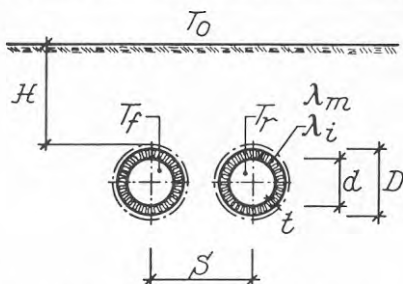
STRANDBERG 1983, Styv uretancellplast -nulägesrapport, Handelshuset Jacobi, Stockholm.

SVENSKA VÄRMEVERKSFÖRENINGEN 1966, Ekonomisk isoleringstjocklek för fjärrvärmekulvertar. Kulvertkommittén, september 1966.

VALASEK 1976, Methoden zur maschinellen Berechnung der optimalen Isolierdicke von Fernwärmeleitungen. Fernwärme International 5 (1976):3, p 74-81.

WERNER 1982, Värmeförluster vid fjärrvärmedistribution, Rapport A82-109, Inst. för Energiteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Värmeförlust för fjärrvärmeledning med LIKA tjock isolering på fram- och returledning



Den totala värmeeffektförslusten för båda rören fås per meter som

$$Q = \frac{2 \left(\frac{T_f + T_r}{2} - T_0 \right)}{\underbrace{\frac{\ln \left(\frac{D}{d} \right)}{2\pi\lambda_i}}_{= R_{iso}} + \underbrace{\frac{\ln \left(\frac{2(H+D/2)}{D} + \sqrt{\left(\frac{2(H+D/2)}{D} \right)^2 - 1} \right)}{2\pi\lambda_m}}_{= R_{mark}} + \underbrace{\frac{\ln \sqrt{\left(\frac{2(H+D/2)}{S} \right)^2 + 1}}{2\pi\lambda_m}}_{= R_{2-rör}}}$$

Beteckningar

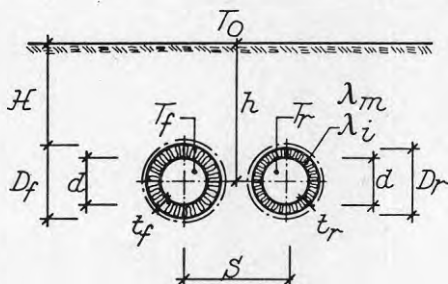
- H = fyllningshöjd
 S = avstånd mellan rör
 d = innerdiameter, isolering
 D = ytterdiameter, isolering
 λ_m = värmeledningstal, mark
 λ_i = värmeledningstal, isolering
 T_0 = omgivningstemperatur
 T_f = framledningstemperatur
 T_r = returledningstemperatur

Förenklingar

- Värmemotstånd på insidan av rören (vattensidan) försummas.
- Värmemotstånden i stålrör och polyetenrör försummas. PEH-rörets värmeledningstal ($\lambda = 0,4 \text{ W/mK}$) är i samma storleksordning som markens varför mantelröret räknas in i jordvolymen.
- Stationära förhållanden förutsättes råda, vilket innebär att markens och isoleringens värmekapacitet försummas. Således räknas ej med ökade förluster i samband med uppstart av systemet.
- Gränsytan mellan isolering och mark antas vara isoterm d v s isoleringens utsida antas ha samma temperatur längs hela omkretsen.

Bilaga 2.2

Värmeförlust från fjärrvärmeledning med OLIKA tjock isolering på fram- och returledning



Värmeeffektörlust från framledning (W/m)

$$Q_f = \frac{(R_{mr} + R_{ir})(T_f - T_0) - R_s(T_r - T_0)}{(R_{mf} + R_{if})(R_{mr} + R_{ir}) - R_s^2}$$

Värmeeffektörlust från returledning (W/m)

$$Q_r = \frac{(R_{mf} + R_{if})(T_r - T_0) - R_s(T_f - T_0)}{(R_{mf} + R_{if})(R_{mr} + R_{ir}) - R_s^2}$$

Totala värmeeffektörlusten för båda rören fås per meter som

$$Q_{f+r} = \frac{(R_{mr} + R_{ir} - R_s)(T_f - T_0) + (R_{mf} + R_{if} - R_s)(T_r - T_0)}{(R_{mf} + R_{if})(R_{mr} + R_{ir}) - R_s^2} \quad (\text{W/m})$$

där värmemotstånden R fås enligt följande

$$R_{if} = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{D_f}{d}$$

$$R_{ir} = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{D_r}{d}$$

$$R_{mf} = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \left(\frac{2h}{D_f} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D_f}\right)^2 - 1} \right)$$

$$R_{mr} = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \left(\frac{2h}{D_r} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D_r}\right)^2 - 1} \right)$$

$$R_{2-rör} = R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{s}\right)^2 + 1}$$

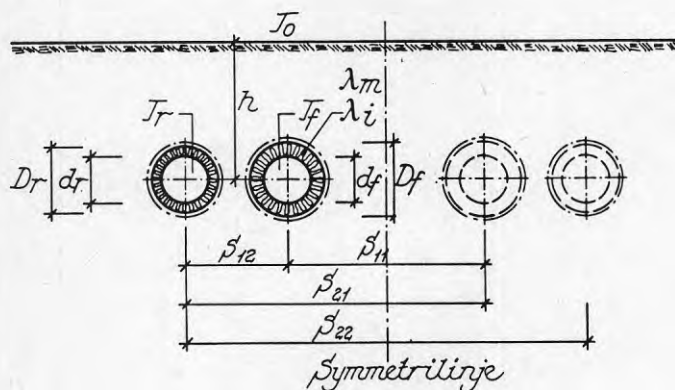
Beteckningar:

- H = fyllningshöjd framledning
 h = förläggingsdjup
 (H + D_f/2)
 S = avstånd mellan rör
 d = innerdiameter, isolering
 D_f = ytterdiameter, isolering framledning
 D_r = ytterdiameter, isolering returledning
 λ_m = värmeledningstal, mark
 λ_i = värmeledningstal, isolering
 T_o = omgivningstemperatur
 T_f = framledningstemperatur
 T_r = returledningstemperatur

Förenklingar:

- Värmemotstånd på insidan av rören (vattensidan) försummas.
- Värmemotstånden i stålrör och polyetenrör försummas.
- Stationära förhållanden förutsättes råda.
- Gränsytan mellan isolering och mark antas vara isoterm.
- Rörcentrum antas ligga på samma djup.

Värmeförlust från fjärrvärmeledning med
FYRA rör (två rörpar). Efter CLAESSEON 1983.



Värmeeffektörlust från framledning i
vänster rörpar

(W/m)

$$Q_f = \frac{(R_2 + R_{22})(T_f - T_0) - (R_{12} + R_{21})(T_r - T_0)}{(R_1 + R_{11})(R_2 + R_{22}) - (R_{12} + R_{21})^2}$$

Värmeeffektörlust från returledning i
vänster rörpar

(W/m)

$$Q_r = \frac{(R_1 + R_{11})(T_r - T_0) - (R_{12} + R_{21})(T_f - T_0)}{(R_1 + R_{11})(R_2 + R_{22}) - (R_{12} + R_{21})^2}$$

Total värmeeffektörlust från vänster rörpar

(W/m)

$$Q_{f+r} = \frac{(R_2 + R_{22} - R_{12} - R_{21})(T_f - T_0) + (R_1 + R_{11} - R_{12} - R_{21})(T_r - T_0)}{(R_1 + R_{11})(R_2 + R_{22}) - (R_{12} + R_{21})^2}$$

Värmeeffektörlusten från höger rörpar beräknas på
motsvarande sätt.

Total värmeeffektförlust från fyra rör

Om sektionen är symmetrisk (höger rörpar utgör spegelbild till vänster rörpar) fås direkt den totala värmeeffektförlusten för samtliga fyra rör som

$$Q_{\text{tot}} = 2 \times Q_{f+r}$$

Värmemotstånden bestäms enligt bilaga 2.2 med

$$R_1 = R_{if} + R_{mf}$$

$$R_2 = R_{ir} + R_{mr}$$

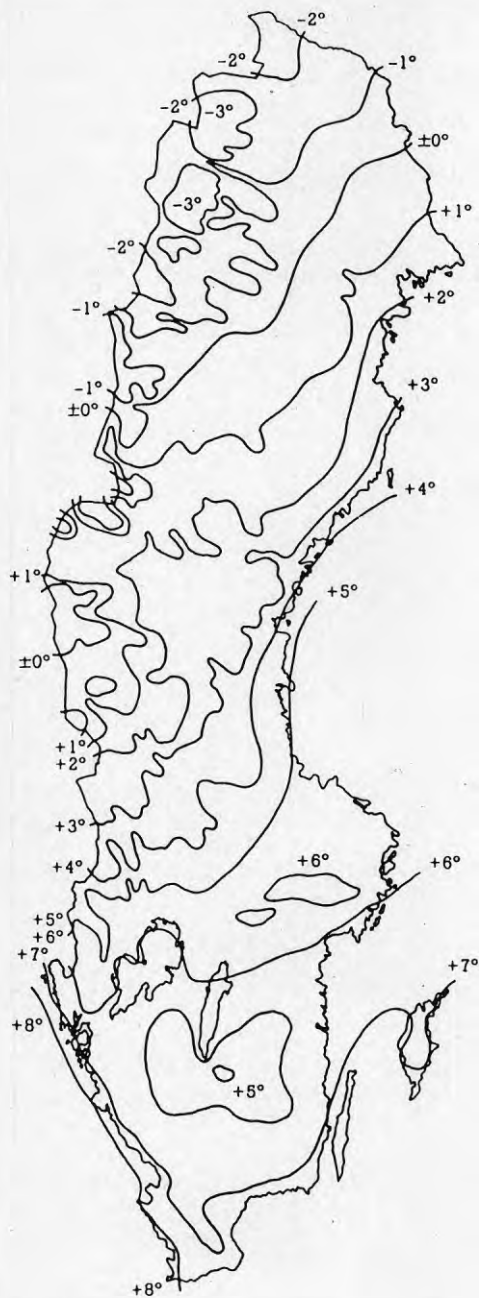
$$R_{11} = R_s (S = S_{11})$$

$$R_{22} = R_s (S = S_{22})$$

$$R_{12} = R_s (S = S_{12})$$

$$R_{21} = R_s (S = S_{21})$$

Övriga beteckningar och förenklingar enligt bilaga 2.2.

Årsmedeltemperaturen för olika orter i Sverige

Årsmedeltemperatur 1931-60. SMHI

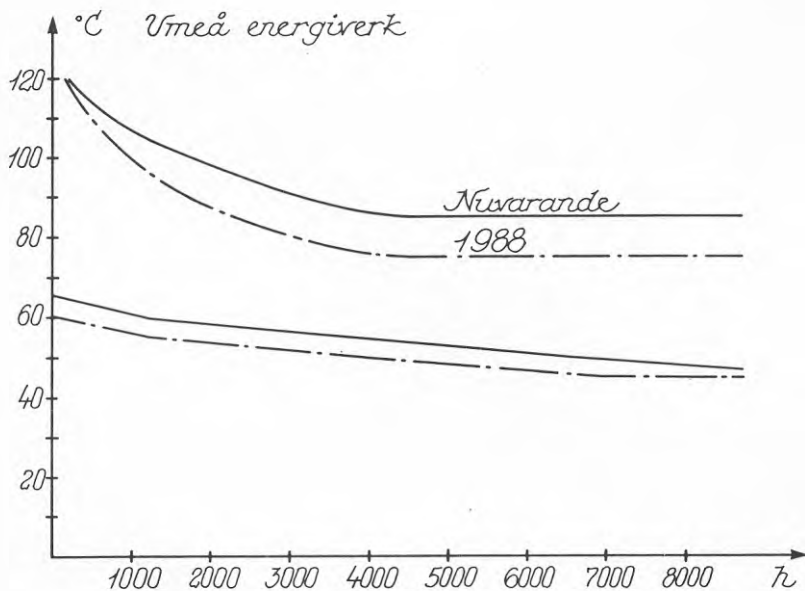
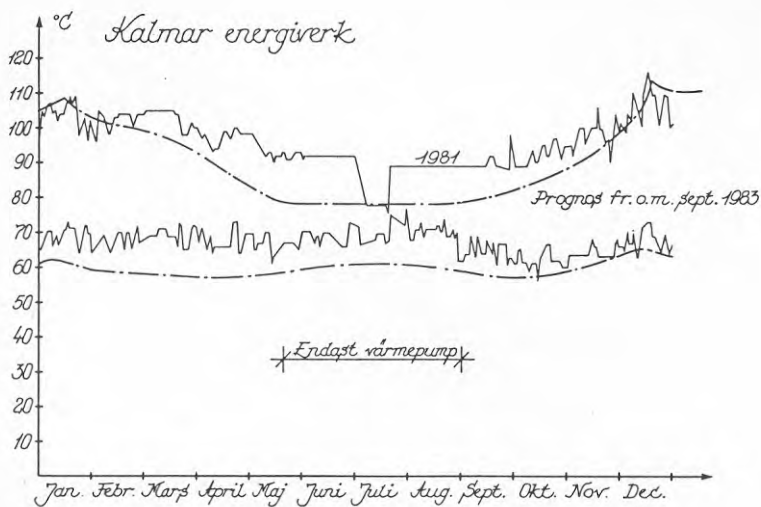
Medelvärde av jordtemperaturen den 15:de varje månad för perioden 1961-70. SMHI

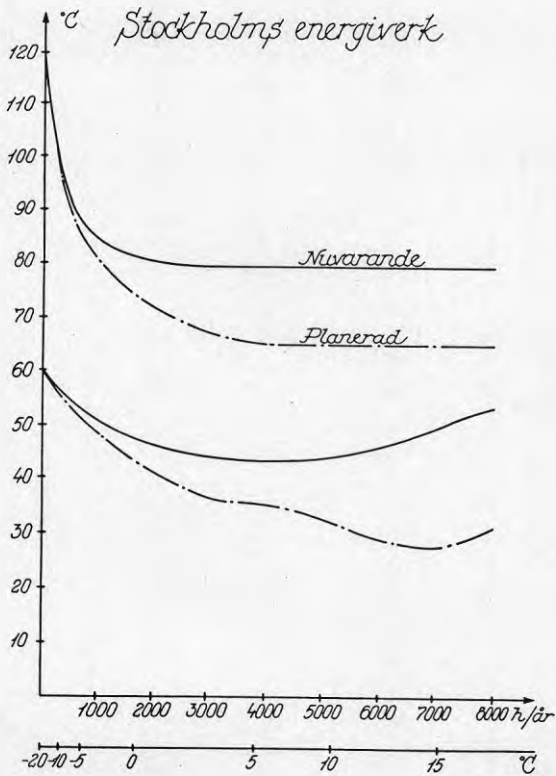
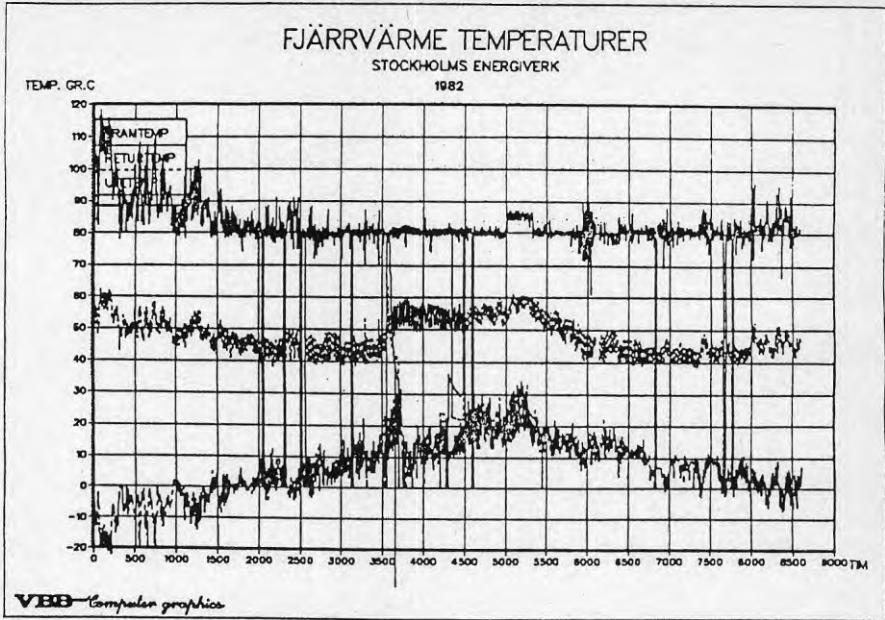
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<u>Riksgränsen</u>	50 cm	+0.2	-0.1	-0.2	+0.1	+0.1	+3.1	+9.1	+9.4	+6.0	+2.3	+0.9	+0.4
Lappland	100 "	+0.6	+0.4	+0.4	+0.2	+0.3	+1.6	+7.6	+8.8	+6.6	+3.2	+1.5	+1.0
Mosand													
<u>Åbisko</u>	5 cm	-6.2	-6.8	-6.1	-3.0	+2.7	+9.2	+11.0	+9.2	+3.6	0.0	-2.6	-4.5
Lappland	20 "	-3.4	-4.0	-3.6	-2.0	+1.1	+6.1	+9.1	+8.9	+5.0	+1.2	-0.9	-2.4
	50 "	-2.6	-3.3	-3.1	-1.9	+0.6	+5.2	+8.7	+8.9	+5.7	+1.9	0.0	-0.9
Pinnmo	100 "	-1.2	-1.9	-1.9	-1.4	-0.1	+2.0	+5.8	+7.4	+5.9	+2.8	+1.0	+0.2
Luleå													
<u>Luleå</u>	5 cm					+2.1	+10.1	+12.6	+11.8	+7.1	+3.4		
Norrbottnen	20 "	-4.2	-4.1	-2.8	-0.2	+1.5	+10.0	+12.5	+12.4	+7.8	+3.8	-4.0	-2.2
	50 "	-1.7	-2.3	-1.6	+0.1	+0.3	+7.7	+11.6	+12.1	+9.0	+5.1	+1.3	0.0
Pinnmo	100 "	+0.6	0.0	-0.2	+0.2	+0.3	+5.4	+9.8	+11.2	+9.5	+6.5	+3.2	+1.6
Nyckelby													
<u>Nyckelby</u>	5 cm				+2.1	+8.4	+13.2	+14.7	+14.7	+11.7	+8.1	+3.2	
Uppland	20 "	-0.5	-1.1	-0.9	-0.8	+8.5	+13.6	+15.0	+15.2	+12.3	+8.5	+3.7	+1.1
	50 "	+0.8	+0.4	+0.3	+0.9	+7.0	+11.6	+13.7	+14.5	+12.6	+9.3	+5.1	+2.3
Lerjord	100 "	+2.2	+1.8	+1.4	+1.4	+4.9	+9.2	+12.0	+13.3	+12.6	+10.3	+7.1	+4.5
Borås													
<u>Borås</u>	50 cm	+0.6	+0.1	-0.1	+1.4	+7.5	+12.3	+12.6	+14.2	+12.6	+9.3	+5.1	+2.1
Grusblandad lera	100 "	+2.2	+1.4	+1.1	+1.8	+6.0	+10.4	+12.4	+13.4	+12.6	+10.1	+6.6	+3.9
Tornaby													
<u>Tornaby</u>	5 cm				+1.6	+8.5	+14.1	+14.1	+13.7	+10.8	+7.3	+3.1	
Östergötland	20 "	-0.5	-1.3	-0.5	+1.8	+8.7	+13.8	+14.2	+14.4	+11.4	+7.9	+3.3	+0.4
	50 "	+0.8	+0.4	+0.4	+1.6	+7.8	+12.1	+13.4	+14.3	+12.2	+9.2	+4.9	+2.3
Lera	100 "	+2.2	+1.5	+1.5	+2.0	+6.7	+11.0	+12.3	+13.4	+12.2	+10.0	+6.4	+3.8
Skara													
<u>Skara</u>	5 cm					+9.2	+14.3	+15.0	+14.4	+10.9	+7.6	+3.4	
Västergötland	20 "	-0.1	-0.7	-0.5	+1.4	+9.4	+14.9	+15.1	+14.9	+11.7	+8.0	+3.6	+0.8
	50 "	+0.9	+0.3	+0.4	+1.4	+8.9	+14.2	+14.8	+15.1	+12.6	+9.1	+4.9	+2.2
Lera	100 "	+2.2	+1.5	+1.2	+1.6	+7.0	+11.6	+13.4	+14.2	+12.8	+9.8	+6.4	+3.7
Lanna													
<u>Lanna</u>	5 cm					+8.1	+14.3	+13.0	+12.4	+9.5	+7.4	+3.4	
Västergötland	20 "	-1.5	-3.2	-1.6	+1.8	+8.6	+13.8	+13.2	+13.2	+10.7	+7.3	+2.9	-0.4
	50 "	+0.1	-0.7	-0.2	+1.2	+7.9	+12.6	+12.8	+13.4	+11.6	+8.6	+4.4	+1.7
Styv lera	100 "	+2.0	+1.4	+1.1	+1.5	+5.8	+9.9	+11.2	+12.3	+11.5	+9.4	+6.4	+3.7
Flahult 1													
<u>Flahult 1</u>	20 cm	+0.6	+0.3	+0.2	+0.9	+5.3	+11.4	+12.1	+12.2	+10.4	+8.1	+3.9	+1.7
Småland	50 "	+3.2	+2.9	+2.6	+2.3	+4.0	+7.8	+9.7	+10.3	+10.2	+8.9	+6.6	+4.6
Vit mossejord	100 "	+4.2	+3.8	+3.2	+2.8	+3.8	+6.8	+8.6	+9.3	+9.6	+8.8	+7.2	+5.4
Flahult 2													
<u>Flahult 2</u>	20 cm	+0.2	+0.2	0.0	+1.7	+6.8	+12.3	+12.6	+12.5	+10.4	+7.8	+3.9	+1.1
Småland	50 "	+1.0	+0.6	+0.9	+1.5	+6.3	+11.3	+12.2	+12.2	+10.6	+8.3	+4.5	+1.9
Sandjord	100 "	+2.0	+1.5	+1.7	+2.0	+5.4	+9.4	+10.7	+11.5	+10.5	+8.4	+5.4	+3.1

Medelvärde av jordtemperaturen den 15:de i varje månad för perioden 1961-70(forts.)

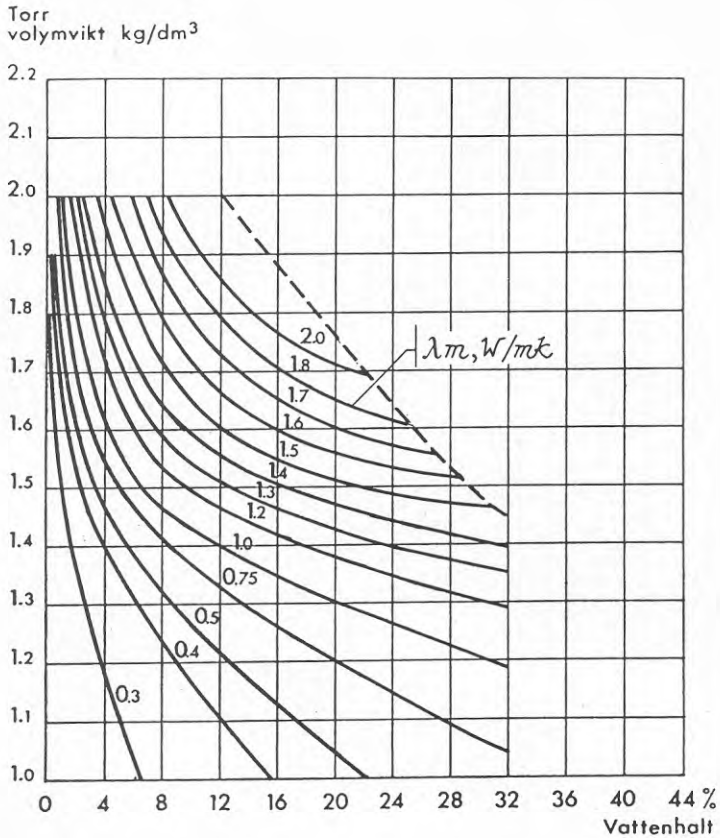
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	Ö	N	D
<u>Mossen</u>	5 cm					+8.9	+13.4	+14.5	+14.3	+11.0	+8.2	+5.0	
<u>Öland</u>	20 "	+1.4	+0.9	+1.2	+3.4	+9.0	+13.1	+14.5	+14.9	+12.1	+9.2	+5.3	+2.5
	50 "	+2.4	+1.8	+1.8	+3.4	+8.2	+11.7	+12.2	+13.3	+12.3	+9.8	+6.3	+3.8
<u>Sandjord</u>	100 "	+3.5	+2.6	+2.5	+3.3	+6.7	+10.1	+11.1	+11.9	+12.0	+10.2	+7.4	+5.0
<u>Svalöv</u>	5 cm	-1.2	-1.3	-0.3	+2.7	+10.2	+15.7	+14.8	+14.5	+11.1	+7.2	+3.0	-0.5
<u>Skåne</u>	20 "	-0.5	-0.5	+0.4	+4.2	+10.8	+16.9	+15.6	+15.1	+12.4	+8.2	+3.9	+0.3
	50 "	+1.2	+0.9	+1.4	+4.8	+11.0	+17.1	+16.4	+16.5	+13.9	+10.2	+5.8	+2.5
<u>Styv lera</u>	100 "	+2.6	+2.0	+2.2	+4.3	+9.2	+14.0	+14.7	+15.8	+14.1	+11.1	+7.2	+4.4
<u>Alnarp</u>	5 cm					+14.3	+19.3	+20.0	+17.7	+15.2	+12.0		
<u>Skåne</u>	20 "	+0.4	+0.4	+1.0	+4.9	+11.2	+16.7	+16.7	+16.2	+14.0	+10.3	+6.0	+1.8
	50 "	+1.6	+1.2	+1.6	+5.0	+10.7	+15.4	+15.9	+15.9	+14.2	+10.9	+7.1	+3.2
<u>Mull, lera</u>	100 "	+2.8	+2.1	+2.3	+4.2	+8.9	+12.9	+14.4	+15.3	+14.0	+11.4	+8.2	+4.7

Exempel på fram- och returledningstemperaturer.

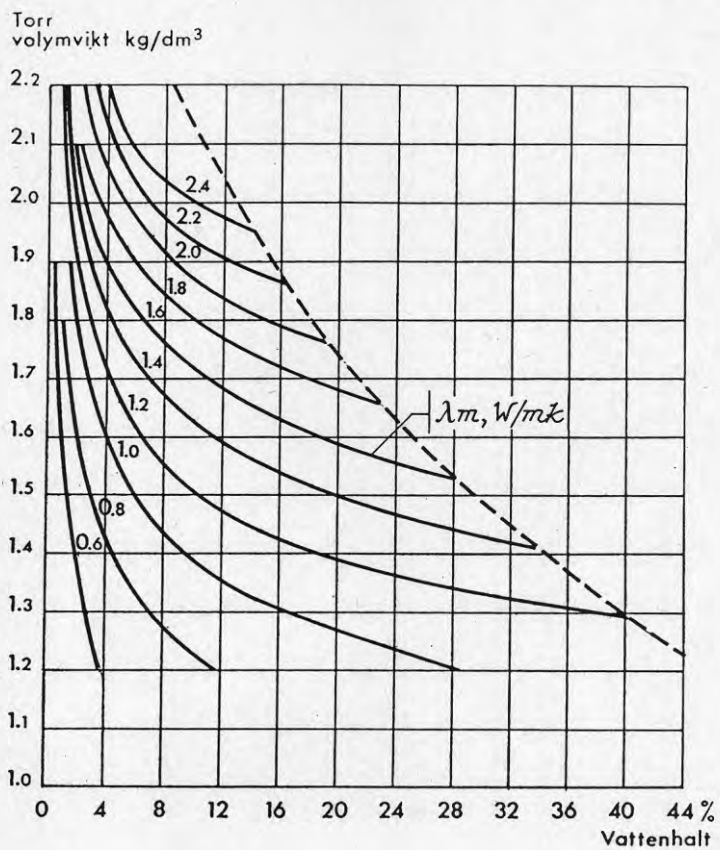




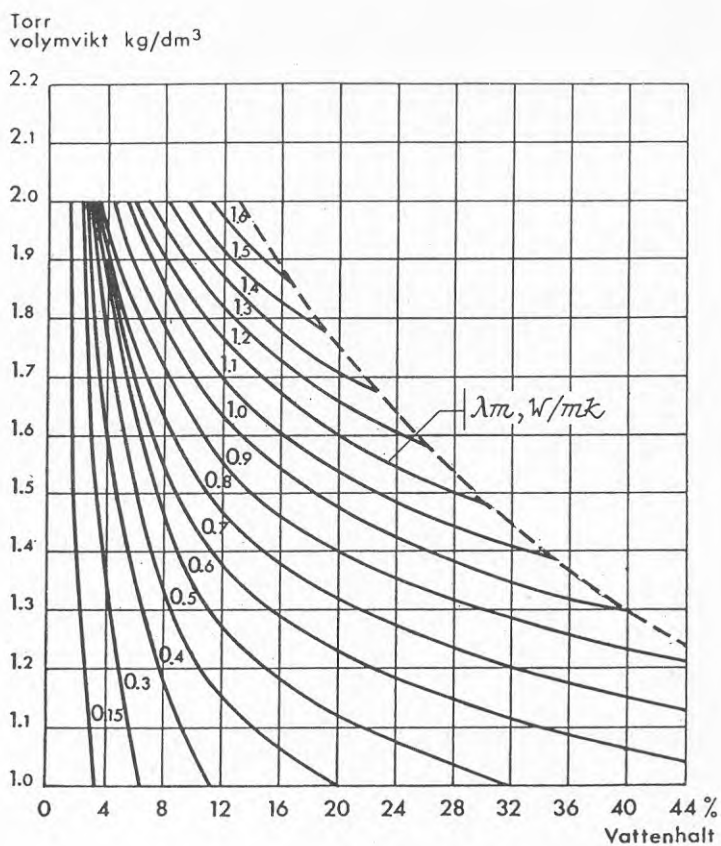
Principiellt samband mellan fukthalt, densitet och värmeledningstal för fin- och grovkornigt material.



Värmeledningstal för moig sand i ofruset tillstånd som funktion av vattenhalt (vikts-% av torrsubstansen) och torr volymvikt.
Källa: JANSON 1967



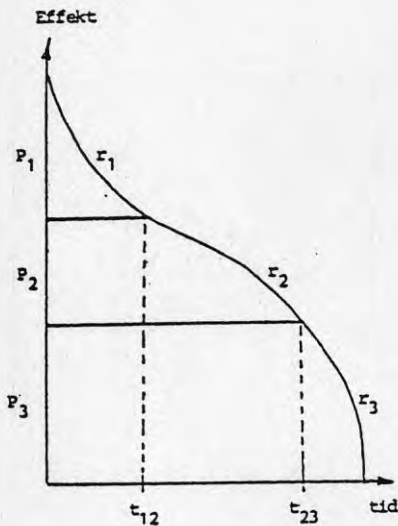
Värmeledningstal för grovkornig jord i ofruset tillstånd enligt Kersten som funktion av vattenhalt (vikts-% av torrsubstansen) och torr volymvikt.
Källa: JANSON 1967



Värmeledningstal för finkornig jord i ofruset tillstånd enligt Kersten som funktion av vattenhalt (vikts-% av torrsubstansen) och torr volymvikt.
Källa: JANSON 1967

Utdrag ur ref LECKNER 1980.

Elkostnader och elpris. Som ett första steg på vägen mot en prissättningsstrategi för elförsäljning skall här uttryck för systemkostnaderna behandlas. Vi utgår för överskådlighetens skull från ett optimalt system med tre anläggningstyper (index 1, 2 och 3), vilka helt täcker efterfrågan.



Ett optimalt system med total effekt $P_1 + P_2 + P_3$. De tre anläggningstyperna producerar energikvantiteterna E_1 , E_2 och E_3 representerade av motsvarande horisontella skikt i diagrammet.

Den totala systemkostnaden per år blir

$$K_s = (P_1 f_1 + r_1 E_1) + (P_2 f_2 + r_2 E_2) + (P_3 f_3 + r_3 E_3)$$

(7)

Enligt optimalitetsvillkoren, ekv (6), gäller

$$f_2 = t_{12}(r_1 - r_2) + f_1$$

$$f_3 = t_{12}(r_1 - r_2) + t_{23}(r_2 - r_3) + f_1$$

Insatt i ekv (7) erhålles

$$\begin{aligned} K_s = & (P_1 + P_2 + P_3)f_1 + r_1(E_1 + P_2t_{12} + P_3t_{12}') + \\ & + r_2(E_2 - P_2t_{12} + P_3(t_{23} - t_{12}')) + \\ & + r_3(E_3 - P_3t_{23}) \end{aligned}$$

(7:a)

SLUTSATS:

Totalkostnaden för det optimala systemet är alltså lika med systemeffekten gånger kostnaden för en kW på toppen, dvs kostnaden för marginaleffekten, plus summan av den totala energiproduktionen vid varje tillfälle (vertikala skikt i diagrammet) gånger kostnaden för den vid varje tillfälle sist insatta anläggningstypen, marginalkostnaden för energi.

Om man dividerar ekv (7:a) med den totala effekten $P_1+P_2+P_3$, får man kostnaden för en tillkommande effekt-het plus kostnaden för motsvarande energiproduktion om denna fördelas proportionellt mot $1/(P_1+P_2+P_3)$ över alla laster. Detta är ett uttryck för en "långsiktig" marginalkostnad för kraftsystemet. Om priset på kraft sättes lika med den långsiktiga marginalkostnaden erhålles, om systemet är optimalt, täckning för systemets totalkostnader för produktion.

En tillämpning av resonemanget på det (hittills!) ständigt växande kraftsystemet blir något approximativt eftersom kraftverk byggs i stora enheter och efterfrågan inte alltid ändrar sig proportionellt mot effekten. Då kan man säga att den långsiktiga marginalkostnaden är kostnaden för den utökning av kraftsystemet som är nödvändig för att täcka den förväntade ökningen av efterfrågan på kraft inom en planeringshorisont på 5-10 år framåt i tiden. Det är ett sådant planerat system som har analyserats ovan.

Ingen ekonomisk metodik är invändningsfri och inte heller denna. Fördelen med prissättning efter långsiktig marginalkostnad är att den ger en jämförelsegrund för andra långsiktiga investeringar, vilket i idealfallet ger (dvs åtminstone, inte motverkar) samhällsekonomiskt optimala lösningar inom verksamheten som har anknytning till elproduktion och användning av el. Energisektorn skiljer sig i tidsperspektivet från många andra sektorer inom samhällsekonomin. Man måste investera i en apparat som skall avskrivas under ett antal år både för att konsumera och för att producera elenergi. Svårigheten i att praktiskt tillämpa det långsiktiga resonemanget är uppenbar. Oförutsedda förändringar i efterfrågan och i kostnadsförhållanden påverkar resultatet och leder till att korrekationer måste införas, för att man skall uppnå det mål som är satt för prissättningen (t.ex kostnadstäckning).

Exempel på beräkning av medelkostnad för
distributionsförlusten (enligt alt A)

Medelpriset per MWh för distributionsförlusten
(jfr Figur 4.3 b) kan beräknas som

$$\bar{p} = \frac{\Sigma K}{\Sigma W} + \frac{f_1}{\tau}$$

där ΣK = den sammanlagda rörliga kostnaden för
distributionsförlusten, kr/m

ΣW = den sammanlagda värmeförlusten, MWh/m

f_1 = fast kostnad för spetslast, kr/MW

τ = utnyttningstid för distributionsförlusten

Året indelas i n delar för vilka K och W beräknas.

$$\Sigma K = \left\{ \sum_1^n \Delta T_i \cdot t_i \cdot p_i \right\} \cdot k \cdot 10^{-6} \text{ (kr/m)}$$

där $\Delta T_i = \frac{T_f + T_r}{2} - T_o$, för perioden i

t_i = tidsperiodens längd, timmar

p_i = medelmarginalkostnaden för perioden, kr/MWh

k = värmegenomgångstal för aktuell kulverttyp, W/mK

$$W = \left\{ \sum_1^n \Delta T_i \cdot t_i \right\} \cdot k \cdot 10^{-6} \text{ (MWh/m)}$$

Med lika långa perioder fås

$$\bar{p} = \frac{\Sigma \Delta T_i \cdot p_i}{\Sigma \Delta T_i} + \frac{f_1}{\tau} \quad \text{(kr/MWh)}$$

Följande exempel kan ges för månadsvis uppdelning
(n = 12)

1. Medelmarginalkostnad, p_i som följd av för tidsperioden aktuellt "marginalbränsle". Här antages värden enligt följande tabell

Månad	Marg.bränsle	Pris, p_i (kr/MWh)
Jan	olja	200
Febr	olja	200
Mars	olja	200
Apr	kol	100
Maj	kol	100
Juni	värmepump	80
Juli	värmepump	80
Aug	värmepump	80
Sept	kol	100
Okt	kol	100
Nov	kol/olja	150
Dec	olja	200

2. Temperaturdifferens mellan medeltemperaturen i fram- och returledning och omgivningstemperatur.

Månad	T_f	T_r	T_o	$\Delta T = \frac{T_f + T_r}{2} - T_o$
Jan	98	62	-0.4	80
Febr	99	63	-0.8	82
Mars	95	61	+1.5	76
Apr	89	58	5.7	68
Maj	84	56	10.9	59
Juni	82	55	15.4	53
Juli	82	55	16.7	52
Aug	82	55	16.4	52
Sept	83	56	13.2	56
Okt	86	57	9.0	62
Nov	91	58	4.9	70
Dec	95	61	1.7	76

3. Värmeledningstalet för mark. Värmegenomgångstalet för FV-kulvertar varierar något under året p g a ändrad vattenkvot i marken. Denna inverkan kan beaktas genom att ΔT_i ökas (eller minskas) månadsvis med en korrektionsfaktor. Denna korrektion utföres dock inte här.

Beräkning av distributionsförlustens medelkostnad, \bar{p} .

	ΔT_i	$\Delta T_i \cdot p_i$
Jan	80	$16.0 \cdot 10^3$
Feb	82	$16.4 \cdot 10^3$
Mars	76	$15.2 \cdot 10^3$
Apr	68	$6.8 \cdot 10^3$
Maj	59	$5.9 \cdot 10^3$
Juni	53	$4.2 \cdot 10^3$
Juli	52	$4.2 \cdot 10^3$
Aug	52	$4.2 \cdot 10^3$
Sept	56	$5.6 \cdot 10^3$
Okt	62	$6.2 \cdot 10^3$
Nov	70	$10.5 \cdot 10^3$
Dec	76	$15.2 \cdot 10^3$
	$\Sigma 786$	$\Sigma 110.4 \cdot 10^3$

$$\bar{p} = \frac{110.4 \cdot 10^3}{786} + \frac{50\,000}{6\,900} = 140.7 = 147 \text{ kr/MWh}$$

I detta exempel antages $f_1 = 50\,000$ kr/MW och $\tau = 6\,900$ timmar.

Med den angivna bränslebilden blir medelvärdet av kostnaden för distributionsförlusten ca 147 kr/MWh ett medelår.

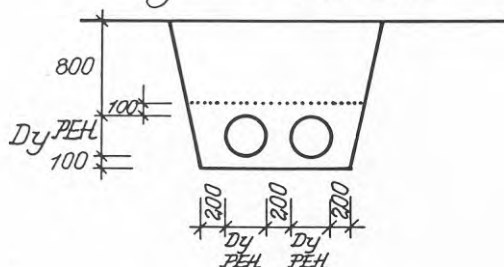
En parameterstudie ger följande reaktion på förändringar i förutsättningarna.

<u>Förändring</u>	<u>"Prisändring"</u>
10 % lägre systemtemperatur	0.2 %
10 % ändring av oljepriset	6.3 %
10 % minskning av olja (ersättes med kol)	3.3 %
10 % ändring av kolpriset	2.7 %
10 % ändring av fasta kostnader, f_1	0.5 %

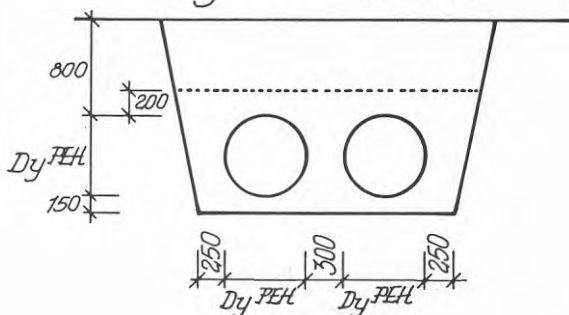
Sammanfattningsvis kan således fastslås att kostnaden för distributionsförlusten framförallt varierar med mängden olja och priset på denna.

Typsektioner samr erforderliga mängder
för olika isoleringstjocklekar.

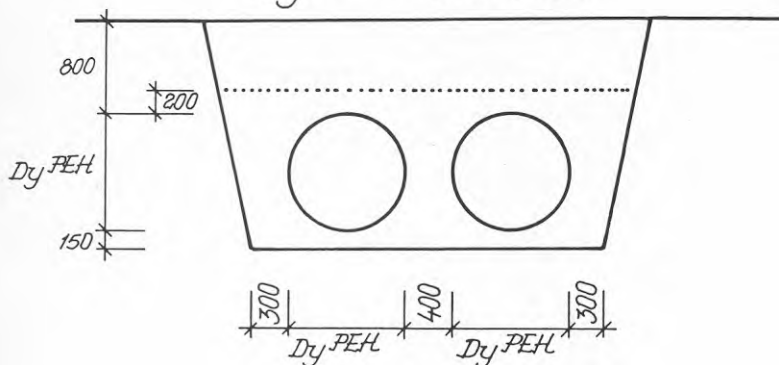
Typsektion I
 $D_{y\text{ PEH}} = 110-560$



Typsektion II
 $D_{y\text{ PEH}} = 630-800$



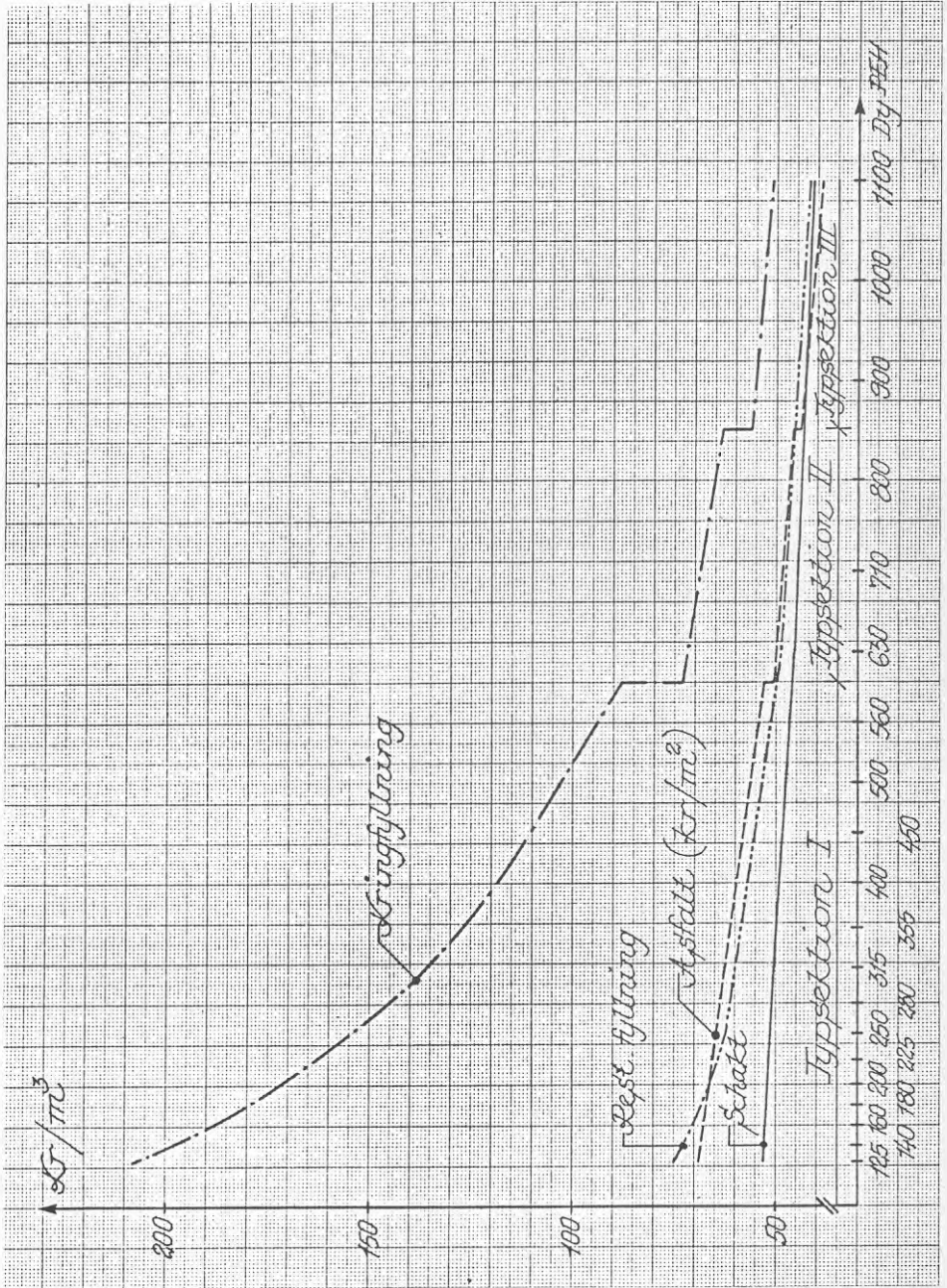
Typsektion III
 $D_{y\text{ PEH}} = 900-1100$



Dy ^{PEH}	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355
Schakt m ² /m	1.081	1.132	1.200	1.270	1.342	1.434	1.530	1.647	1.790	1.959
Kringfylln. m ³ /m	0.273	0.292	0.317	0.343	0.369	0.403	0.437	0.480	0.531	0.591
Rest.fylln. m ³ /m	0.784	0.809	0.843	0.876	0.910	0.952	0.994	1.044	1.103	1.170
Asfalt m ² /m	1.260	1.296	1.344	1.392	1.440	1.500	1.560	1.632	1.716	1.812

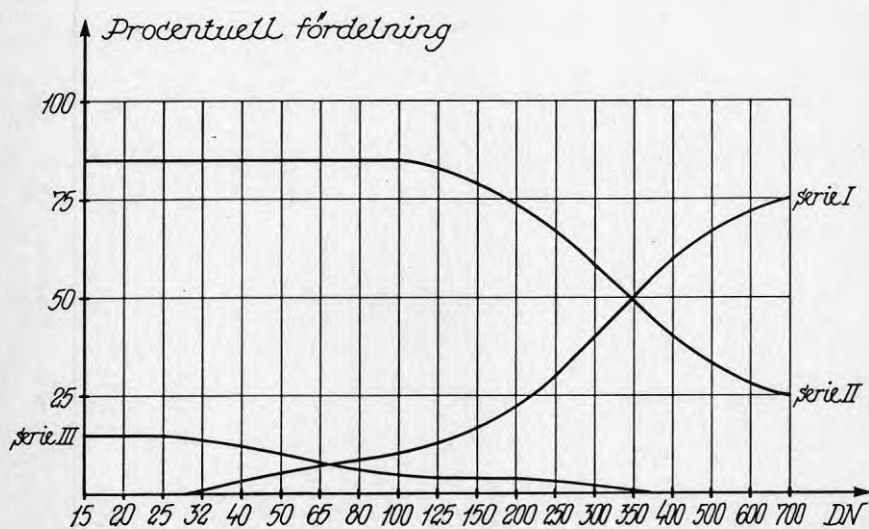
Dy ^{PEH}	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1100
Schakt m ² /m	2.158	2.390	2.632	2.938	3.754	4.236	4.813	5.865	6.611	7.401
Kringfylln. m ³ /m	0.661	0.742	0.826	0.930	1.588	1.786	2.020	2.541	2.845	3.161
Rest.fylln. m ³ /m	1.246	1.330	1.414	1.515	1.543	1.658	1.788	2.052	2.196	2.340
Asfalt m ² /m	1.920	2.040	2.160	2.304	2.692	2.884	3.100	3.540	3.780	4.020

Marginalkostnader (å-priser för markarbeten vid ökad isolering)



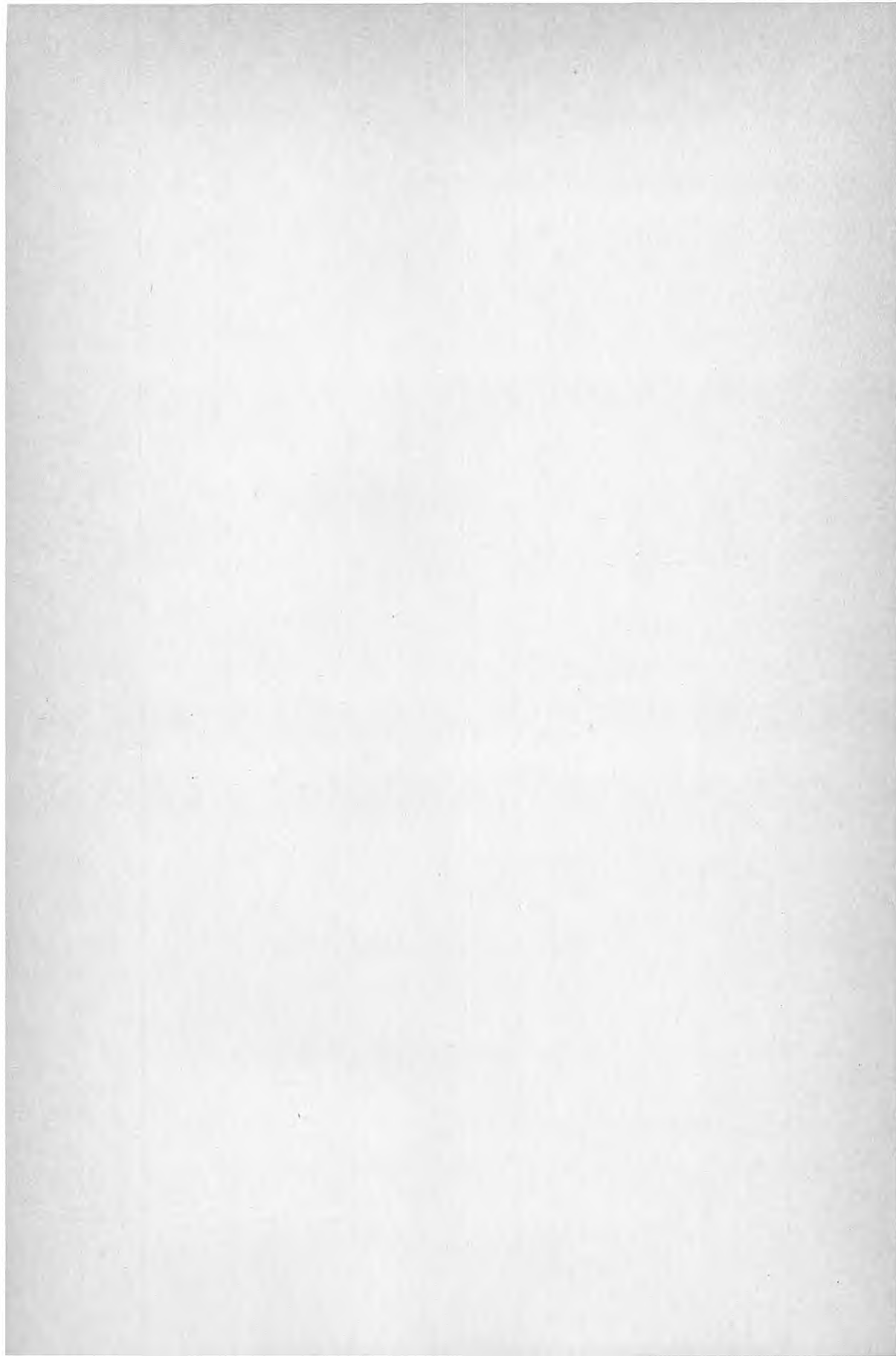
Bilaga 6.1

Isoleringsstandardens fördelning på olika kulvertdimensioner för kulvertleveranser till värmeverken under de senaste åren



Källa: Erhållna uppgifter från kulvertleverantörer.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791209-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Svenska
Värmeverksföreningen, Malmö.**

R185: 1984

ISBN 91-540-4279-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704185

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 55 kr exkl moms