

*Fjernvarmeoptimering*

*eksempel på effektiv energiplanlægning*

af

Bjarne Lillethorup

og

Jacob Mørch Pedersen

Specialearbejde ved

IMFUFA, Roskilde Universitets Center

Vejleder: Bent Sørensen

*August 1984*

## TEKSTER fra

# IMFUFA

**ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER**  
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES  
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde

## FJERNVARMEOPTIMERING

af Bjarne Lillethorup & Jacob Mørch Pedersen

IMFUFA tekst nr. 89/84 RUC.

119 sider.

ISSN 0106-6242

---

### Abstract

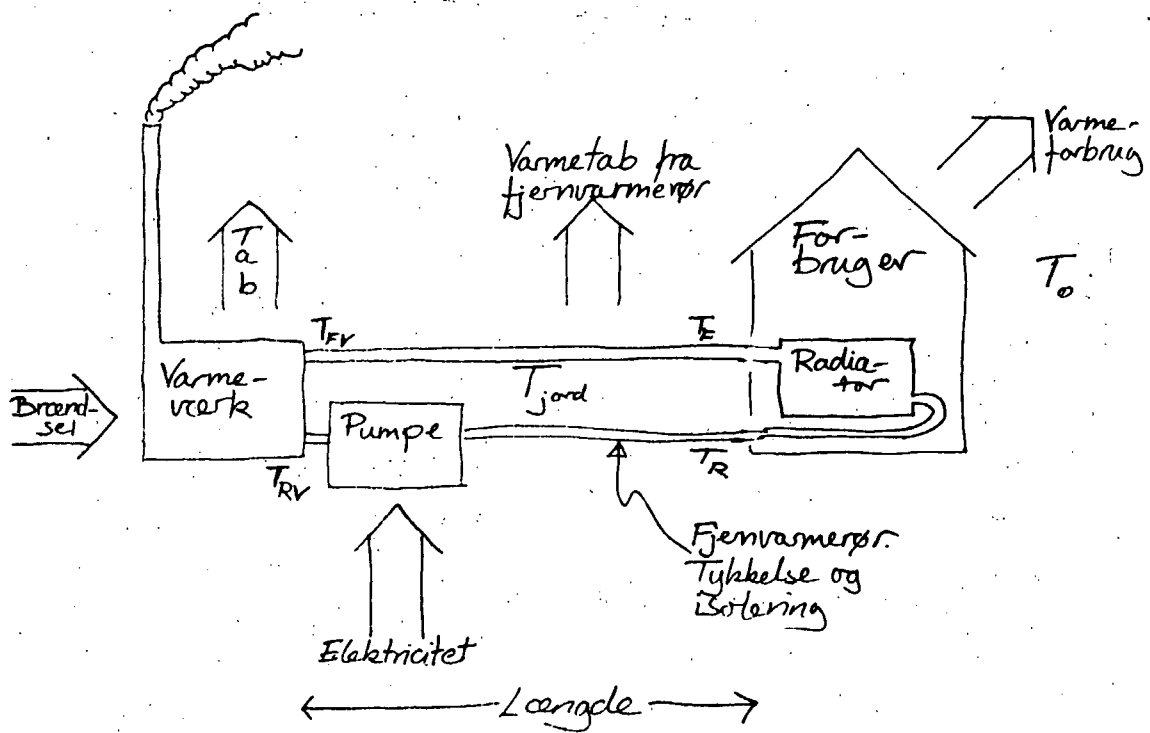
I denne rapport optimeres en forenklet fjernvarmeforsyning i et effektivt energisystem.

I et effektivt energisystem er omkostningerne nærmere knyttet til exergiforbruget end til energiforbruget.

Det vises, hvordan den optimale drift af et fjernvarmesystem kræver, at der opnås en maksimal afkøling af fjernvarmevandet hos forbrugeren.

Der er store forskelle på, hvilke dimensioner fjernvarmerør, der bør vælges, hvis man har et traditionelt kedelfyr som varmekilde i modsætning til et anlæg til kombineret elektricitet og varmeproduktion, et kraftvarmeværk. Der bør vælges størst rørdiameter ved kraftvarmeværket. Den optimale isoleringstykkelse af returledningen er ganske tynd, mens fremløbsledningens isolering kan vælges stort set, som den er på præfabrikerede rør.

Der findes en god parameter for prisen for afskrivning og drift af et fjernvarmenet. Det er varmekonsumet divideret med nettets længde i anden potens.



Det betragtede fjernvarmesystem med de vigtigste indgående parametre.

# Nomenklatur

$A_n$ :	annuitetsfaktor	
$A_R$ :	radiatorareal	$m^2$
$\hat{A}_R$ :	radiatorareal divideret med $Q_{gn}$	$m^2 / W$
$c_v$ :	vands varmekapacitet	$J/kg \cdot K$
$C_v$ :	tillægsproduktionsfaktoren	
$D$ :	fjernvarmerørets indre diameter	$m$
$D_y$ :	fjernvarmerørets ydre diameter	$m$
$f, \tilde{f}, \hat{f}$ :	funktioner	
$E_x$ :	exergiindholdet	$GJ$
$H_{F\tilde{F}}$ :	isoleringstykkelse på fremløbsrør	$m$
$H_{iso}$ :	isoleringstykkelse	$m$
$H_R$ :	isoleringstykkelse på returløbsrør	$m$
$J$ :	vandgennemstrømningshastighed	$m^3 / s$
$J_R$ :	strømningshastighed i radiator	$m^3 / s$
$K$ :	radiatorkorrektionsfaktor	
$l$ :	længde	$m$
$L$ :	længde fra værk til forbruger	$m$
$N$ :	antallet af forbrugere	
$p_{anl}$ :	anlægsudgifterne	$kr$
$p_B$ :	brændselsprisen	$kr/GJ$
$p_{el}$ :	elektricitetsprisen	$kr/GJ$
$p_f$ :	forbrugerprisen	$kr/GJ$
$p_{KV-delt}$ :	varmeprisen ved delt kraftvarmefordel	$kr/GJ$
$\hat{p}_N$ :	nedlægningsomkostninger pr. meter	$kr./m$
$p_P$ :	pumpepris	$kr.$
$\hat{p}_P$ :	pumpeenhedspris	$kr./kW$
$p_{P,el}$ :	pumpeudgifter til elektricitet	$kr.$
$\hat{p}_r$ :	røromkostninger pr. meter	$kr./m$
$p_{rad}$ :	prisen for radiatorer	$kr.$
$\hat{p}_{rad}$ :	enhedsprisen for radiatorer	$kr./m^2$
$p_{sum}$ :	de samlede udgifter i nuværdi	$kr.$
$p_v$ :	varmeprisen	$kr/GJ$
$p_{v,KV-I}$ :	varmeprisen fra værk KV-I	$kr/GJ$
$p_{v,KV-II}$ :	varmeprisen fra værk KV-II	$kr/GJ$
$p_{v,KV-III}$ :	varmeprisen fra værk KV-III	$kr/GJ$
$P$ :	tryk	$N/m^2$
$P_w$ :	pumpeeffekt	$kW$
$q_{tab}$ :	varmetab	$W$
$Q$ :	varmemængde	$GJ$
$Q_f$ :	effektforbrug hos forbrugeren	$W$

## Nomenklatur

$Q_{\text{gn}}$ :	gennemsnitlig effektforbrug	W
$Q_R$ :	radiatorens varmeafgivelse	W
$Q_V$ :	varmemængde	GJ
$Q_{\text{år}}$ :	årsvarmeforbrug	GJ
$r$ :	renten	
$R_{\text{iso}}$ :	isoleringens varmemodstand	$\text{m}^{\circ}\text{K}/\text{W}$
$R_{\text{jord}}$ :	jordens varmemodstand	$\text{m}^{\circ}\text{K}/\text{W}$
$t_1$ :	levetid	år
$T$ :	temperatur	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{bv}}$ :	brugsvandtemperaturen hos forbrugeren	$^{\circ}\text{C}$
$T_F$ :	fremløbstemperaturen hos forbrugeren	$^{\circ}\text{C}$
$T_{F,\text{min}}$ :	minimal fremløbstemperaturen	$^{\circ}\text{C}$
$T_{FV}$ :	fremløbstemperaturen ved værket	$^{\circ}\text{C}$
$T_{FV,\text{middel}}$ :	middelfremløbstemperaturen ved værket	$^{\circ}\text{C}$
$T_{kv}$ :	temperaturen af det kolde vand	$^{\circ}\text{C}$
$T_r$ :	temperatur i fjernvarmerør	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{rum}}$ :	rumtemperaturen hos forbrugeren	$^{\circ}\text{C}$
$T_{R,\text{min}}$ :	minimal returløbstemperaturen	$^{\circ}\text{C}$
$T_{RV}$ :	returløbstemperaturen ved værket	$^{\circ}\text{C}$
$T_{RV,\text{middel}}$ :	middelreturløbstemperaturen ved værket	$^{\circ}\text{C}$
$T_D$ :	omgivelsernes temperatur	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta T$ :	temperaturforskel	$^{\circ}\text{C}$
$W_p$ :	pumpens energiforbrug	GJ
$z$ :	enkeltmodstandstallet	
$\alpha$ :	radiatorkonstant	
$\eta$ :	virkningsgrad	
$\eta_k$ :	virkningsgrad af kedelfyr	
$\eta_p$ :	virkningsgrad af pumpen	
$\eta_{\text{el}}$ :	virkningsgrad af elværk	
$\eta_v$ :	vands dynamiske viskositet	$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$
$\lambda$ :	isoleringens varmeledningskoefficient	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$
$\rho_v$ :	vands massefylde	$\text{kg}/\text{m}^3$

## INDHOLD

Abstract

Nomenklatur

1. Indledning .....	1
2. Modellen .....	3
2.1. Forbrugersiden .....	6
2.1.1. Fjernvarmenettets udformning .....	6
2.1.2. Arsvariationen i varmeforbruget .....	8
2.1.3. Forbrugerinstallationer .....	9
2.2. Fjernvarmenettet .....	12
2.2.1. Varmetabet fra fjernvarmerør .....	15
2.2.2. Fjernvarmerørenes pris .....	17
2.3. Varmeværket .....	19
2.3.1. Kedelfyr .....	19
2.3.2. Kraftvarmeværker .....	19
3. Programmet .....	24
4. Resultater .....	28
4.1. Beskrivelse af optimaet .....	28
4.2. Optimaets udseende .....	33
4.2.1. Bindinger i systemet .....	36
4.3. Følsomhed for levetid og varighedskurve .....	37
4.3.1. Ændringer i levetid .....	37
4.3.2. Ændringer i varighedskurven .....	41
4.4. Temperaturbegrænsninger på systemet .....	42
4.5. Variationer i systemets størrelser .....	44
4.5.1. Variationer i L .....	44
4.5.2. Variationer i N .....	46
4.5.3. Driftssituationer .....	46
4.5.4. En god parameter? $\frac{0}{L^2}$ ! .....	49

5. Konklusion .....	52
5.1. Forslag til forbedringer .....	53

## 1. Indledning

Fjernvarmeforsyning er en udbredt form for levering af varme til rum- og brugsvandopvarmning i det danske energisystem. Cirka 40% af dette opvarmningsbehov dækkes af fjernvarmeforsyning.

En fjernvarmeforsyning er karakteriseret ved en høj anlægsudgift og en lang levetid. Dette gør det særlig vigtigt at være omhyggelig ved dimensioneringen af fjernvarmesystemer.

Vi har i denne rapport undersøgt, hvordan den økonomisk optimale dimensionering af et fjernvarmesystem ændres, når dette er baseret på kraftvarme istedet for et kedelfyr som varmekilde

Kraftvarme er et eksempel på en varmekilde, hvor man har en temperaturafhængig varmepris i modsætning til varme fra et kedelfyr.

Et kraftvarmeværk er et eksempel på det man kalder et effektivt energianlæg. Her er brændselsforbruget og dermed omkostningerne bestemt af den leverede energis exergiindhold. Er leveringen en varmemængde  $Q_v$  ved temperaturen  $T$ , og  $T_0$  er omgivelsernes temperatur, er exergiindholdet givet ved:

$$E_x = \frac{T - T_0}{T} \cdot Q_v$$

I den økonomiske optimering af fjernvarmesystemet indgår:

- i) varmeprisen som funktion af temperaturen
- ii) fjernvarmenettet
- iii) varmefladerne (~radiatorerne) hos forbrugerne

Vi har således stillet os ret frit overfor mulighederne ved bestemmelse af parametre i optimeringen. Dette, kombineret



## Indledning

med inddragelsen af temperaturafhængig varmepris, adskiller vores arbejde fra tidligere på området. (Ref: S. Frederiksen, J. Johansen & S. Hadvig, B. Bøhn & P. T. Jensen, K. Sandholt, N. Rosbach, L. Hallgren et al og W. P. H. Orchard & P.J. Robinson)

Der foretages en del simplificeringer i modelopbygningen. Den vigtigste er, at der ses bort fra stikledninger. Systemet betragtes som én ledning fra værk til forbrugerne.

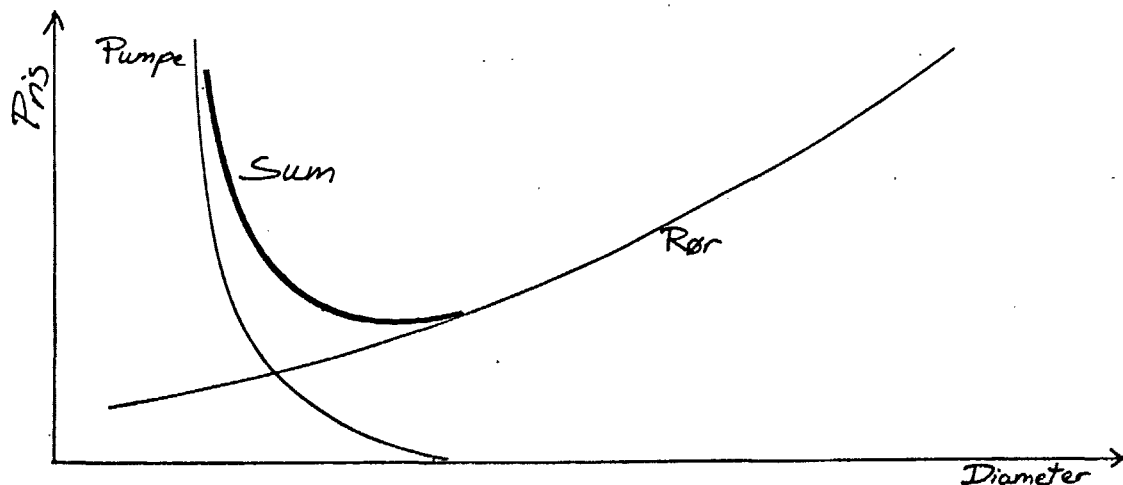
Modellen kan med de simplificeringer, der er foretaget kun forventes at sige noget om tendenser, og de priser der udregnes skal tages med forbehold over for simplificeringer og usikkerheder i prisfunktioner.

## 2. Modellen

Den model af et fjernvarmesystem, der opstilles i de følgende afsnit ønskes brugt til at besvare følgende spørgsmål:

*Givet et antal forbrugere med et gennemsnitlig årsforbrug,  
givet variationen over året af deres forbrug,  
givet fjernvarmesystemets længde,  
givet en værktype der ønskes benyttet -  
hvilken diameter af fjernvarmerørene,  
hvilken tykkelse isolering på rørene og  
hvilket areal radiator hos forbrugerne,  
giver den mindste varmeudgift?*

En række modstridende ønsker om valg af disse tre systemparametre gør, at der eksisterer et minimum i varmeudgifterne: Rørene er dyre, hvorfor man ønsker at gøre dem små. Det nedsætter også varmetabet fra dem. Men udgiften til at pumpe det varme vand rundt i fjernvarmerørene stiger voldsomt, når rørenes diameter falder.



*Principskitse for rør- og pumpeudgifter som funktion af diameteren*

Tilsvarende for isoleringstykkelsen. Tykkere isolering koster ekstra, men der spares i varmetab. For radiatorerne er det prisen for ekstra radiatorareal contra bedre afkøling og lav gennemstrømningshastighed.

Den størrelse, der forsøges minimaliseret under variationen af de tre systemparametre, er forbrugernes varmeudgift. Heri er medregnet udgifter til:

Radiatorer hos forbrugerne,  
frem- og returløbsledninger til fjernvarmevandet  
anskaffelse af cirkulationspumper til fjernvarmesystemet  
elektricitet til pumperne  
køb af varme på varmekædet

Der er ikke medregnet investeringen i værket, reparation, drift og vedligeholdelse af hverken ledninger eller værk, øvrige udgifter til værket eller udgifter ud over selve radiatoren hos forbrugeren.

Når forbrugerprisen derfor omtales i det følgende, skal det forstås som de samlede udgifter fra de medregnede størrelser divideret med forbrugernes samlede varmeforbrug. Man kan således ikke sammenligne det, der kaldes forbrugerpriser i det følgende, med det, man normalt kalder forbrugerpriser. Der er afskrivning af værket og værkets drift og vedligeholdelsesudgifter til forskel.

De priser, der anvendes, er alle i prisniveau primo 1984. Det er desuden en **samfundsøkonomisk** analyse, der foretages. Det vil sige, at der er benyttet fakta-priser (priser excl. skatter og afgifter), og at der ikke er medtaget afregningsforhold mellem forskellige selskaber. Det er den samfundsøkonomiske analyse som foreskrevet af Energistyrelsen. (Ref: Energiministeriet). Som kalkulationsrente er benyttet 7% p.a., hvilket er det af Budgetdepartementet anviste primo 1984. Der er regnet med realprisstigning på brændsel på 0%. Levetiden,  $t_1$ , er sat til 15 år, hvilket er i underkanten; men der er foretaget variantberegninger for andre levetider. Der kan benyttes to forskellige typer levetider: Teknisk og

økonomisk levetid. Den tekniske levetid for et fjernvarmenet må antages at være meget lang, nok op mod 40 år. Den økonomiske levetid er kortere, da man må påregne, at det efter en årrække vil blive nødvendigt at ofre en del penge til reparation og vedligeholdelse. Men en økonomisk levetid på 20 år er ikke urimelig. Vi har dog valgt at lægge os på en levetid på 15 år, hvilket skal betragtes som en økonomisk levetid. Der er foretaget nuværdi beregninger efter gængse regler (for faste årlige udgifter):

nuværdi = Investeringer +

$$\text{årlige udgifter} \cdot \left( \frac{1 - (1+r)^{-t_1}}{r} \right)$$

hvor r er kalkulationsrenten.

Den samfundsøkonomiske analyse, der er foretaget, ligger således meget tæt op ad en selskabsøkonomisk vurdering.

Der er ikke i den samfundsøkonomiske beregning medtaget eksterne effekter. De, der kunne have været medtaget, er forurening og påvirkninger af ligevægtsproblemer i økonomien. Ud fra Forsuringsudvalget under Miljøministeriets rapport og specielt bilaget om samfundsøkonomi burde det være muligt at prisfastsætte svovlemissionkonsekvenser. En prisfastsættelse af øvrige forureningskonsekvenser, som f.eks. NO<sub>x</sub>-emission er dog sværere. Påvirkninger på ligevægtsproblemer i økonomien er beskæftigelsesvirkninger og valutabalanceløbskonsekvenser. Her ville en metode være at omregne valutabalanceløbspåvirkning til beskæftigelseseffekt og prisfastsætte beskæftigelseseffekten ved hjælp af skyggepriser.<sup>1)</sup> (Ref: R. Nordstrand og T. Falbe-Hansen et al)

I denne rapport er dog, som nævnt, valgt at regne samfundsøkonomi, som det officielt er anvist. Det er ikke muligt ud fra tallene i rapporten at foretage en **samfundsøkonomisk**

1. Skyggepriser er de priser som vil forekomme i en perfekt markedsøkonomi. De angiver knapheden på varen regnet marginalt. Altså den kosttægte marginalomkostning.

## Modellen

vurdering af forskellige varmekærter. For at gøre det, måtte man, når man kendte priserne for værkene og udgifterne til drift og vedligeholdelse, bruge den i det følgende beskrevne model, til at vælge de optimale systemparametre for hvert værk. Modellen fortæller så også hvor store udgifter, der vil være udover afskrivning og vedligeholdelse. Tilsammen giver det den størrelse, som den samfundsøkonomiske vurdering kan tage sit udgangspunkt fra. Da eksterne effekter som nævnt ikke er forsøgt medregnet, må de indgå i den endelige vurdering, sammen med den samfundsøkonomiske pris.

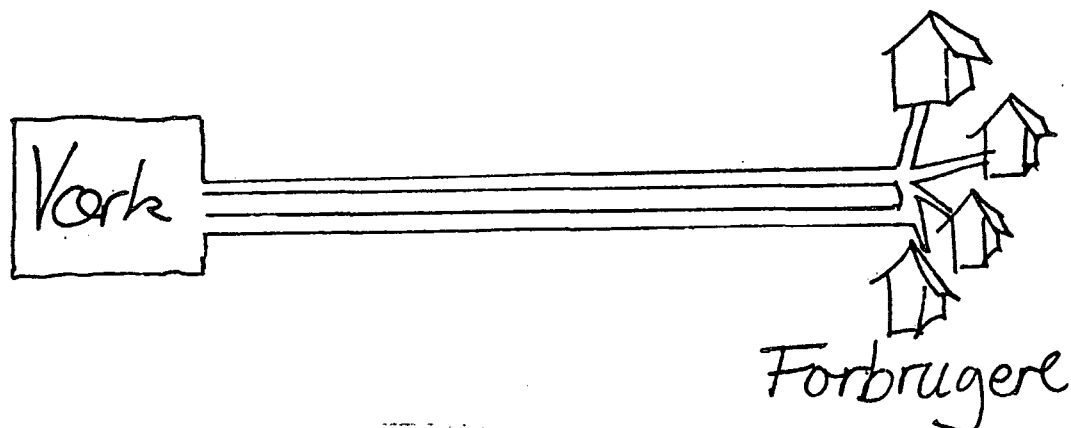
For kraftvarmekærter ville en vurdering af området elsystem, med kapacitetsforhold og marginale produktionsomkostninger samt forbrugsprognoser for elforbruget indgå. En sådan analyse kunne også påvirke den elprissettelse, der indgår i modellen.

### 2.1. Forbrugersiden

Forbrugerne tænkes at være et bysamfund. Dette vil være karakteriseret ved, at forbrugerne har en geografisk fordeling, at forbrugerne har et behov for en gennemsnits varmeeffekt og en tidslig variation i deres varmebehov.

#### 2.1.1. Fjernvarmenettets udformning

Den geografiske fordeling af forbrugerne giver fjernvarmenettets udformning. Her har vi foretaget den simplificering, at alle forbrugerne er i enden af en transmissionsledning (se figuren). Det betyder, at der ikke indgår stikledninger i systemet. Det påvirker den samlede udgift, men skulle ikke ændre den optimering vi foretager.



*Principskitse over det optimerede fjernvarmesystem.*

På den måde kan vi karakterisere vores system ved:

længden af transmissionsledningen:  $L$   
 antal forbrugere:  $N$   
 den enkelte forbrugers gennemsnitseffekt:  $Q_{gn}$

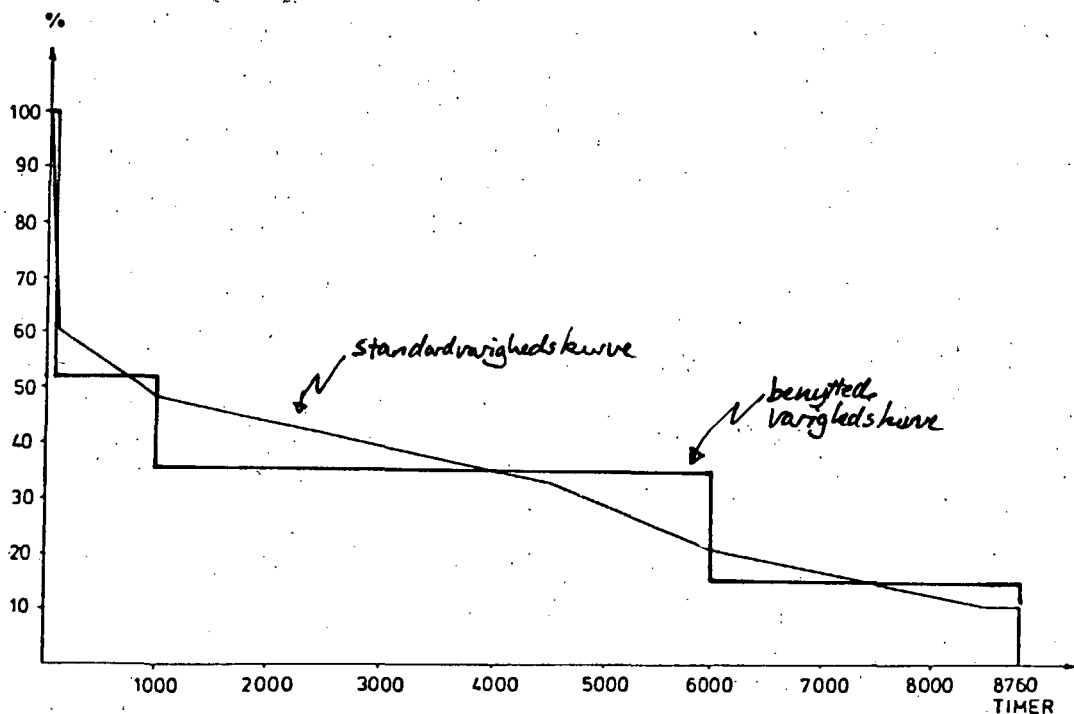
For at få et så realistisk bysamfund som muligt, er der hentet oplysninger fra ( Dansk Fjernvarmestatistik, 1982), til fastlæggelse af parametrene  $L$ ,  $N$ ,  $Q_{gn}$ . Der er valgt Nysted by og Albertslund kommune, som de to bysamfund. Nysted by repræsenterer en lille provinsby, og Albertslund kommune et tæt bebygget område.

model:	$L$	$N$	$Q_{gn}$	$Q_{ar}$	$N \cdot Q_{gn} / L$
Albertslund	52000 m	2400	12,100 kW	916 TJ	0,55 kW/m
Nysted by	8400 m	720	2,300 kW	52 TJ	0,20 kW/m

Til sammenligning kan nævnes, at et parcelhus på 120 m<sup>2</sup> isoleret efter BR77, har et gennemsnitlig varmebehov på 2,2 kW  $\approx$  20000 kWh/år. En forbruger kan godt være en hel etageejendom, derfor den høje gennemsnitseffekt for Albertslund. Nysted by er mere karakteriseret af parcelhuse. For begge byer gælder det, at de kun skal opfattes som modeller. Det er særligt fastsættelsen af  $L$ , samtidig med vores simplificering af byernes geografi, der gør, at vi ikke har et korrekt billede af byerne. Det er Albertslund-modellen, der er blevet undersøgt grundigt.

### 2.1.2. Arsvariationen i varmeforbruget

Varmeforbrugets variation i løbet af året fastlægges ud fra en standard-varighedskurve (se den glatteste kurve på figuren herunder). Den benyttede kurve er fra ELKRAFTs tekniske afdeling. Den benyttes blandt andet til fjernvarmeplanlægning i Københavns vestegnskommuner, hvor den beskriver varmeforbruget i bymæssig bebyggelse. Ud over af ELKRAFT benyttes kurven af såvel en lang række rådgivende ingeniørfirmaer som i den kommunale varmeplanlægning. Til brug i optimeringen benyttes en simplificeret varighedskurve. Her er året delt op i 4 perioder med hver sin konstante effektbelastning. (se figuren).



Standardvarighedskurve og den benyttede varighedskurve.

Den benyttede kurve:

periode:	1	2	3	4
tid:	288000	3312000	1800000	9936000 s
effekt:	3,1319	1,6246	1,1394	0,4679 W

Dette giver en rimelig tilnærmelse til standardvarighedskurven. Det er vigtigt at medtage variationerne i effektbehovet, da f.eks. spidsbelastningen stiller nogle krav til systemet. Det er også vigtigt med en differentiering, så der

ikke optimeres efter den værste dag, som vi senere skal se.

### 2.1.3. Forbrugerinstallationer

Varmen, der leveres fra fjernvarmenettet, er til dækning af rum- og brugsvandopvarmning. Rumopvarmning er til at opretholde en rumtemperatur  $T_{rum} \approx 20^\circ\text{C}$ . Brugsvandopvarmning er til opvarmning af vand fra  $T_{kv} = 10^\circ\text{C}$  til  $T_{bv} = 50^\circ\text{C}$ .

Disse temperaturer stiller nogle krav til den temperatur, varmen fra fjernvarmenettet leveres ved. Vi stiller flg. krav til temperaturen hos forbrugeren:

fremløbstemperaturen  $T_F > 55^\circ\text{C}$

returløbstemperaturen  $T_R > 30^\circ\text{C}$

Desuden, for at undgå kogning i radiatorer, kræves også at

$T_F < 95^\circ\text{C}$

Det kan bemærkes, at der ikke er krav til temperaturen i fjernvarmerørene, da vandet her vil være under tryk, så kogning undgås.

Som varmeblade hos forbrugerne benyttes radiatorer. Vi benytter ikke særskilt opvarmningssystem til brugsvandopvarmning og opfatter i modellen hele varmeforbruget som rumopvarmning. Det favoriserer lavere temperaturer da  $T_{rum} < T_{bv}$ , men kompenseres noget ved, at der er stillet krav til minimal fremløbstemperatur. Også det, at brugsvandet opvarmes fra  $10^\circ\text{C}$  betyder, at det er muligt at opnå en lav returtemperatur. Der er ikke varmeveksler mellem fjernvarmenettet og radiatoren, og derved undgås et temperaturfald (denne teknik benyttes bla. i Odense (oplysning fra studietur til Odense))



## Modellen

En radiators varmeafgivelse,  $Q_R$ , til det omgivende rum kan beskrives ved:

$$Q_R = f(T_F, A_R, J_R, \alpha, T_{rum})$$

hvor

$T_F$ : radiatorens fremløbstemperatur.

(her lig forbrugers fremløbstemperatur)

$A_R$ : radiatorens areal

$J_R$ : vandgennemstrømningshastigheden i radiatoren

$\alpha$ : radiatorens k-værdi, der afhænger af hvilken type radiator, der anvendes.

$T_{rum}$ : rummets temperatur

Benyttes, at returtemperaturen er givet ved

$$T_R = T_F - \frac{Q_R}{c_v \rho_v J_R}$$

kan varmeafgivelsen da beskrives ved:

$$Q_R = \tilde{f}(T_F, T_R, A_R, \alpha, T_{rum})$$

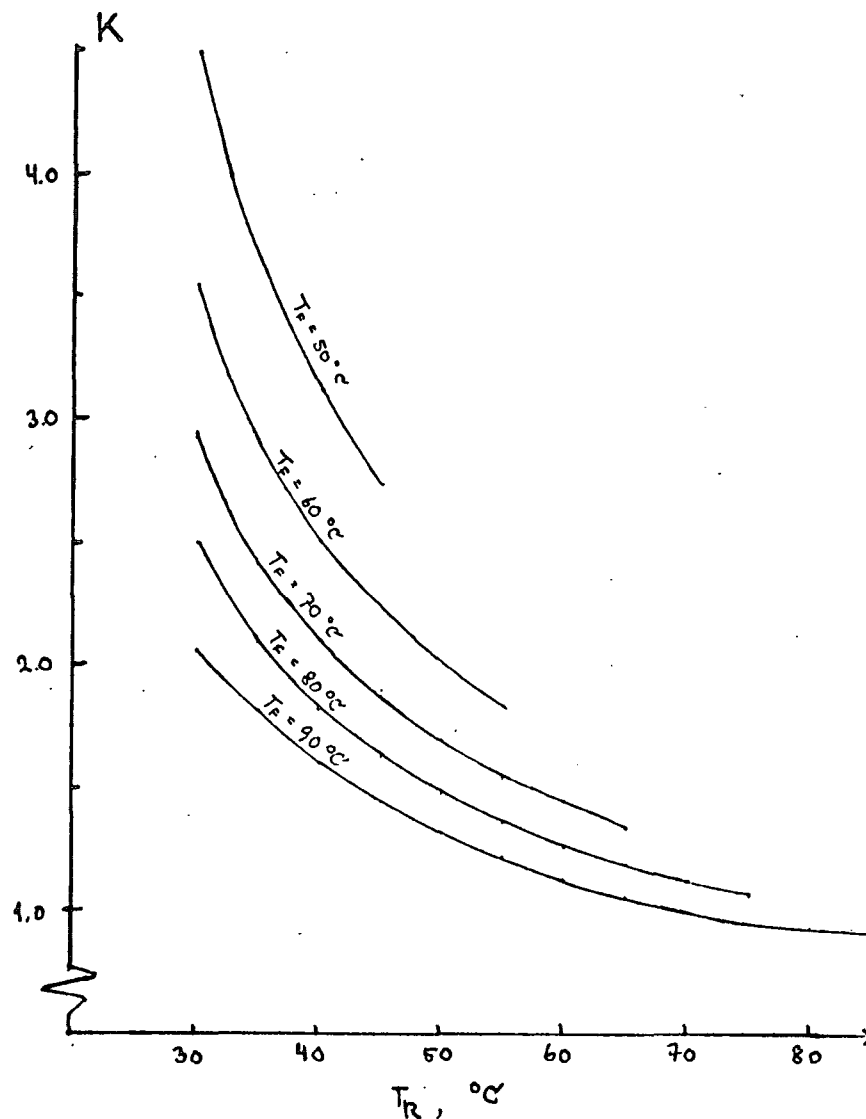
Funktionens udseende afhænger bla. af radiatorens type.

Radiatorens varmeafgivelse vil være proportional med dens areal

$$Q_R = \alpha \cdot A_R \cdot \hat{f}(T_F, T_R)$$

hvor  $\alpha$  afhænger af radiator type.

Afhængigheden af  $T_F$  og  $T_R$  bestemmes ud fra en tabelleret værdi (Udført af firmaet Thor-radiator). Ved nogle standardtemperaturer  $T_F = 90^\circ\text{C}$  og  $T_R = 70^\circ\text{C}$  er varmeafgivelse pr. radiatorareal bestemt. Benyttes andre temperaturer end disse standardtemperaturer, korrigeres radiatorarealet med  $K = K(T_F, T_R)$  for at radiatoren kan afgive samme effekt, som ved standardtemperaturer. Korrektionsfaktoren,  $K(T_F, T_R)$ , fremgår af figuren.



*Korrektionsfaktor til bestemmelse af radiatorareal.*

Varmeafgivelsen kan nu beskrives ved

$$Q_R = \frac{\alpha A_R}{K(T_F, T_R)}$$

Vi har valgt at benytte Thor-radiator P-545-2, hvor

$$\alpha = 2,06 \text{ kW/m}^2$$

Denne radiator har en hedeblade på  $4,53 \text{ m}^2$  pr.  $\text{m}^2$  radiatorareal.

Vi antager, at en forbrugers hele radiatorareal er til rådighed hele tiden. Dette er en tilnærmelse, specielt i sommermånedene, og det vil favorisere lave temperaturer.

## Modellen

Prisen for radiatorer er udelukkende bestemt af disses areal:

$$P_{rad} = \hat{p}_{rad} \cdot A_R$$

hvor  $\hat{p}_{rad}$  er enhedsprisen pr. areal. For P-545-2 er

$$\hat{p}_{rad} = 571 \text{ kr/m}^2$$

Installationsomkostninger og rørtilslutninger antages uafhængig af radiatorarealet og tages derfor ikke med i optimeringen.

### 2.2. Fjernvarmenettet

En beskrivelse af de fysiske og økonomiske parametre for fjernvarmerør.

Fjernvarmerørens funktion er at lede varmt vand fra en central varmforsyning til de enkelte forbrugere, hvor vandet afkøles på grund af afgivelsen af varme, og lede det afkølede vand tilbage til varmforsyningen til fornyet opvarmning. Nettetets udformning er beskrevet i forbrugerafsnittet.

Fjernvarmenettet består af to sideløbende rør, et fremløbs- og et returløbsrør.

Væskestrømmen (rumfang pr. tid) i fjernvarmerøret er givet ved:

$$J = \frac{Q_F}{\rho_V \cdot c_V \cdot (T_F - T_R)}$$

hvor  $\rho_V$ : vands massefylde, 978 kg/m<sup>3</sup>

$c_V$ : vands varmekapacitet, 4190 J/kg·K  
(antages uafhængig af temperaturen)

$Q_F$ : forbrugerens varmeforbrugseffekt

$T_F$ : fremløbstemperaturen hos forbrugeren

$T_R$ : returløbstemperaturen hos forbrugeren

og vandets hastighed i rørene bliver:

$$v = \frac{4 \cdot J}{\pi \cdot D^2}$$

hvor D: rørenes diameter

Til at cirkulere vandet rundt i fjernvarmenettet, anvendes pumper. Der vil være et tryktab i rørene, dels på grund af gnidning med rørvæg, dels på grund af bøjninger, ventiler mv. For tryktabet på grund af gnidning benyttes et empirisk udtryk, som kan benyttes for turbulent strømning. Formlen gælder for et Reynolds tal op til i størrelsesordenen af  $10^6$ , hvilket stemmer med strømmingen i fjernvarmerørene. (ref L.H. Nielsen, 1981 og O.G. Tietjens). Trykfaldet pr. længde er givet ved:

$$\left(\frac{dP}{dl}\right)_g = \left(0,0028 + \frac{0,25}{Re^{0,32}}\right) \frac{\rho_v v^2}{D}$$

hvor  $Re$ : Reynolds tal for vand, der er

$$Re = \frac{\rho_v v D}{\eta_v}$$

$\eta_v$ : vands dynamiske viskositet, 0,404 kg/m·s

indsættes udtrykket for v fås:

$$\left(\frac{dP}{dl}\right)_g = \left(0,0028 + \frac{0,25}{\left(\frac{4\rho_v J}{\pi\eta_v D}\right)^{0,32}}\right) \frac{16}{\pi^2} \rho_v \frac{J^2}{D^5}$$

For trykfaldet på grund af bøjninger, ventiler mv. benyttes også et empirisk udtryk:

$$\begin{aligned} \left(\frac{dP}{dl}\right)_z &= \frac{1}{2} z \rho_v v^2 \\ &= \frac{1}{2} z \rho_v \frac{16}{\pi^2} \cdot \frac{J^2}{D^4} \end{aligned}$$

hvor z: enkeltmodstandstallet, der typisk for et fjernvarme net

har værdien  $z = 0,03$

## Modellen

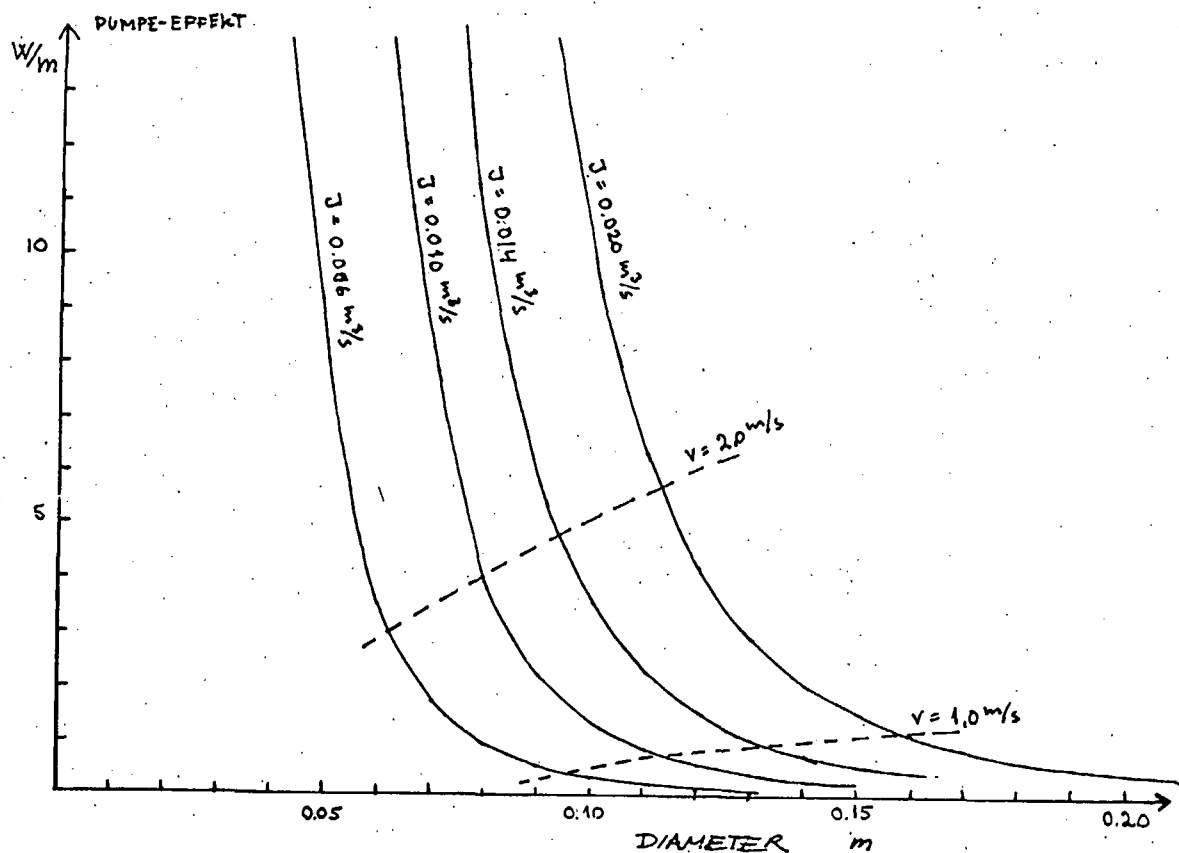
Den effekt der skal præsteres for at cirkulere væskestrømmen  $J$  er da:

$$\begin{aligned} \frac{dW_p}{dl} &= \frac{dP}{dl} \left( \pi \frac{D^2}{4} \right) v \\ &= \left( \left( \frac{dP}{dl} \right)_o + \left( \frac{dP}{dl} \right)_z \right) J \end{aligned}$$

og den samlede effekt, når rørets længde er  $2 \cdot L$  (dobbeltrør)

$$\begin{aligned} W_p &= \left( \left( \frac{dP}{dl} \right)_o + \left( \frac{dP}{dl} \right)_z \right) J 2L \\ &= \left( 0,0028 + \frac{0,025}{\left( \frac{4\rho_v J}{\pi\eta_v D} \right)^{0,32}} \right) \left( \frac{1}{D} + \frac{1}{2}z \right) \frac{16 \cdot J^3}{\pi^2 \cdot D^4} \end{aligned}$$

På figuren er  $W_p$  vist som funktion af  $D$  og  $J$ .



*Pumpeeffekt for varierende diametere for forskellige væskestrømme. Niveaukurver for væskehastigheder på 1,0 og 2,0 m/s er optegnet med stiplede linier.*

Den pumpe, som benyttes til pumpningen, tænkes drevet med

el, og dens effektivitet er  $\eta_p = 0.75$ . Så den samlede elektriske effekt, der går til pumpningen er

$$W_{p,el} = \frac{1}{\eta_p} W_p$$

Med en elpris på  $p_{el} = 105$  kr./GJ fås, at den samlede årlige udgift udgør:

$$p_p = \int \frac{p_{el}}{\eta_p} W_p dt$$

Den energi, der går til pumpearbejdet, genvindes som varme ved gnidning. Dette medregnes i tilført varme.

Den installerede effekt hos pumperne er bestemt til at kunne klare den maksimale pumpeeffekt,  $W_{p,el,max}$ . Der er dog regnet med en dublering af pumpeeffekten, for at give større driftsikkerhed. Så den installerede effekt er:  $2 \cdot W_{p,el,max}$

Prisen for pumpe er proportional med den installerede effekt. Der benyttes enhedsprisen:

$$\hat{p}_p = 0,85 \text{ kr./W}$$

(oplysning fra Smedegård pumper, Glostrup)

Pumpens pris bliver:

$$p_p = 2 \cdot \hat{p}_p \cdot W_{p,el,max}$$

### 2.2.1. Varmetabet fra fjernvarmerør

Vi anvender i vores model præisolerede rør. Det er rør, som er belagt med isolering fra fabrikantens side og lægges direkte i jorden.

Varmetabet fra rørene kan beskrives ved

$$q_{tab} = \frac{T_r - T_0}{R_{iso} + R_{jord}}$$

## Modellen

hvor  $T_r$ : temperaturen i røret  
 $T_0$ : omgivelsernes temperatur  
 $R_{iso}$ : varmemodstanden i isoleringen.  
 $R_{jord}$ : varmemodstanden i jorden

Der er set bort fra jordens isolerende virkning,  $R_{jord}$  og benyttet jordens middeltemperatur  $8^\circ\text{C}$  som  $T_0$ . Fejlen der herved gøres er ca. 5%. Varmetabet bliver da pr. længdeenhed

$$q_{tab} = \frac{T_r - T_0}{R_{iso}}, \text{ hvor}$$

$$R_{iso} = \frac{\ln\left(\frac{D+2H_{iso}}{D}\right)}{2\pi\lambda}$$

hvor  $H_{iso}$ : isoleringstykkelsen

$\lambda$ : isoleringens varmeledningskoefficient,  
som her er  $\lambda = 0,027 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  (~ polyurethanskum)

Vi benytter samme isoleringstykkelse for frem- og returløbsrøret. Dette er ikke optimalt på grund af de forskellige temperaturer i rørene.

Derfor skal den isoleringstykkelse vi finder, betragtes som en middeltykkelse af de to rør. Til at vurdere den optimale isoleringsfordeling mellem frem- og returløb kan benyttes, at isoleringstykkelsen er proportional med temperaturforskellen mellem rør og jord.

Er  $T_f$  og  $T_r$  temperaturerne i henholdsvis frem- og returløb hos forbrugerne bliver temperaturerne ved værket: Fremløbs-temperatur ved værk:

$$T_{fv} = T_0 + (T_f - T_0) \exp\left(\frac{L}{R_{iso} J \rho_v c_v}\right)$$

og returtemperatur ved værk:

$$T_{rv} = T_0 + (T_r - T_0) \exp\left(-\frac{L}{R_{iso} J \rho_v c_v}\right)$$

Og det samlede varmetab fra fjernvarmerørene bliver

$$Q_{fj, tab} = J \rho_v C_v ((T_{FV} - T_F) + (T_R - T_{RV}))$$

### 2.2.2. Fjernvarmerørens pris

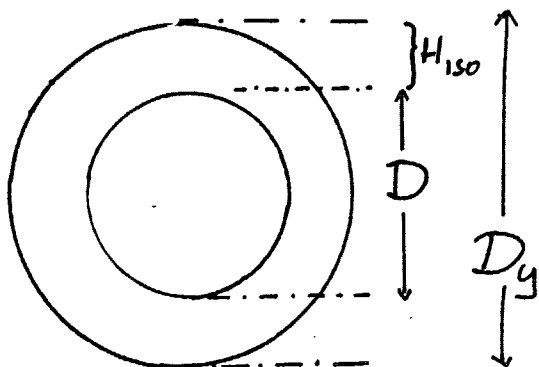
Fjernvarmerørens pris afhænger af deres indre diameter og isoleringstykkelsen. I prisen for rørene indgår dels udgifterne til selve røret, dels udgifter til nedlægningen.

Prisen for selve røret er udregnet som lineær regression i prisen for IC Møller rør i prisniveau primo 1984. Den er fundet til:

$$\hat{p}_r = (1,33 + 0,017D)H_{iso} + 0,701D - 7,63 \quad \text{i} \quad \frac{\text{kr}}{\text{m}}$$

hvor  $D$ : indre stålørdsdiameter i mm

$H_{iso}$ : isoleringstykkelse i mm



*Fjernvarmerør med angivelse af indre diameter,  $D$ , isoleringstykkelse,  $H_{iso}$ , og ydre diameter,  $D_y = D + 2H_{iso}$ .*

Ud over selve rørprisen er der udgifter til kompensator, ventiler, afgreninger, fastspænding, entreprenør og øvrige omkostninger.

Entreprenørudgifter afhænger af, hvilken belægning rørene skal lægges ned i. (Ref: ELKRAFT 1980) Her er benyttet tal for nedlægning i villaveje. Der er videre benyttet regression i rørets ydre diameter,  $D_y = D + 2H_{iso}$ , og der er fundet for dobbeltrør

$$\hat{p}_N = 0,31D_y^{1,42} + 300 \quad \text{i} \quad \frac{1980\text{-kr}}{\text{m}}$$



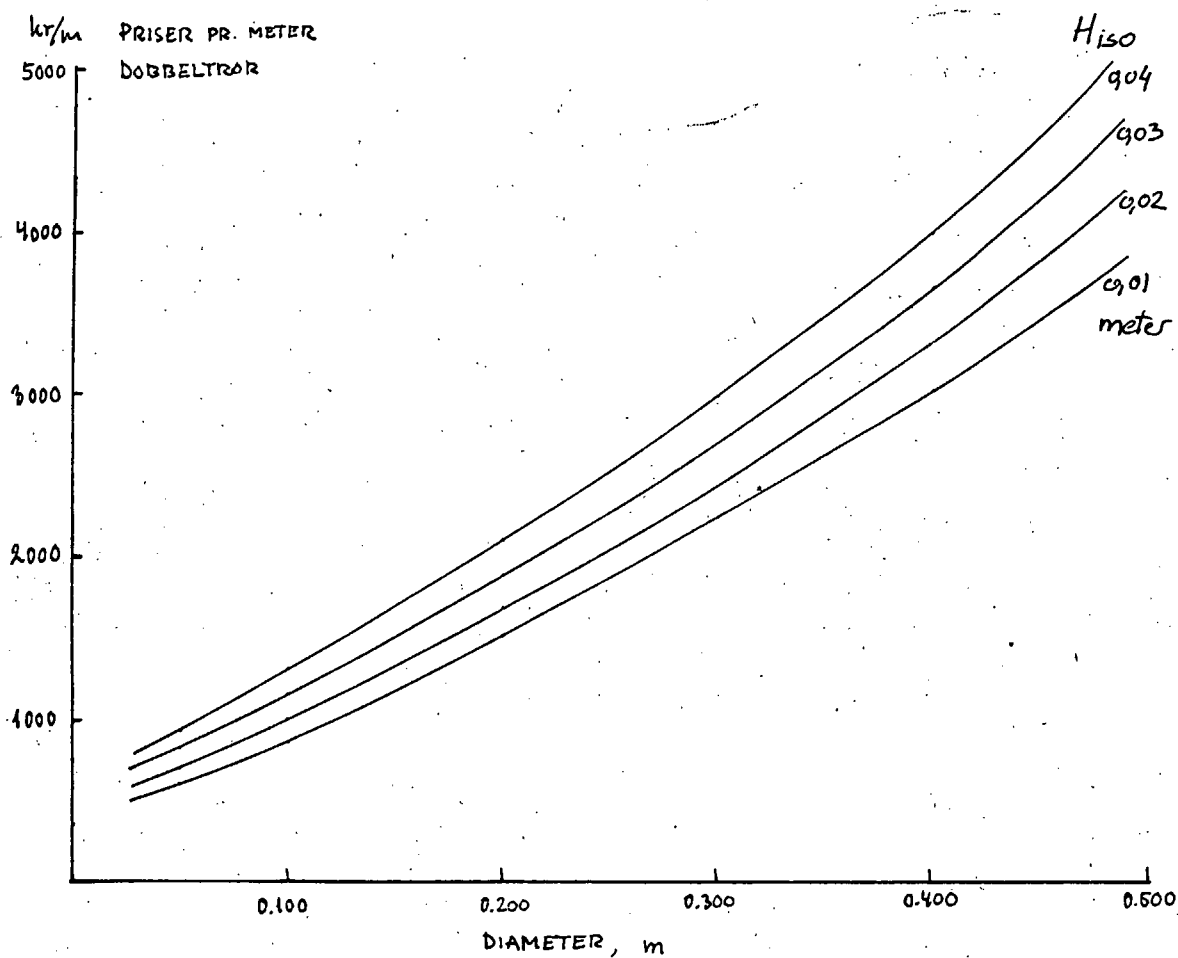
## Modellen

$D_y$  er i mm.

Prisstigningen fra 1.4.1980 til primo 1984 er for nedlagte fjernvarmerør antaget at være 12%.<sup>2)</sup>

Det giver en samlet udgift for L meter dobbeltfjernvarmerør på

$$P_R = ((1,33 + 0,17D)2H_{i_{50}} + 1,402D + 0,347(D + 2H_{i_{50}})^{1,42} + 320,7) \cdot L \quad \text{i primo 1984-kr.}$$



*Priser på fjernvarmerør for varierende diameter og isoleringstykkelse.*

- Overingeniør Frank Olsen, ELKRAFT's tekniske afdeling oplyser at prisstigningen frem til efteråret 1983 på disse ting har været på 10%. Det er den sidste undersøgelse ELKRAFT har foretaget af priserne. Det er en meget lav prisstigning. For jord- og betonarbejde har prisstigningen været 50% i den tilsvarende periode i følge Danmarks Statistik. Den meget lave prisstigning inden for fjernvarmerørarbejde skyldes sikkert forbedringer i rørarbejdsprocessen, som følge af de meget store rørprojekter de senere år (naturgas og fjernvarmeprojekter).

### 2.3. Varmeværket

Anlægsprisen for varmeværket indgår ikke i optimeringen. Derimod indgår den variable produktionsomkostning for varmen fra værket. Denne varmepris er afhængig af fjernvarmetemperaturerne for kraftvarmeværket.

#### 2.3.1. Kedelfyr

Som referenceværk er anvendt et traditionelt kedelfyr, med et fyrimiddel med en brændværdipris  $p_b$  på 42 kr./GJ. Det kan f.eks. være naturgas. Fyrets effektivitet er sat til 0,9.

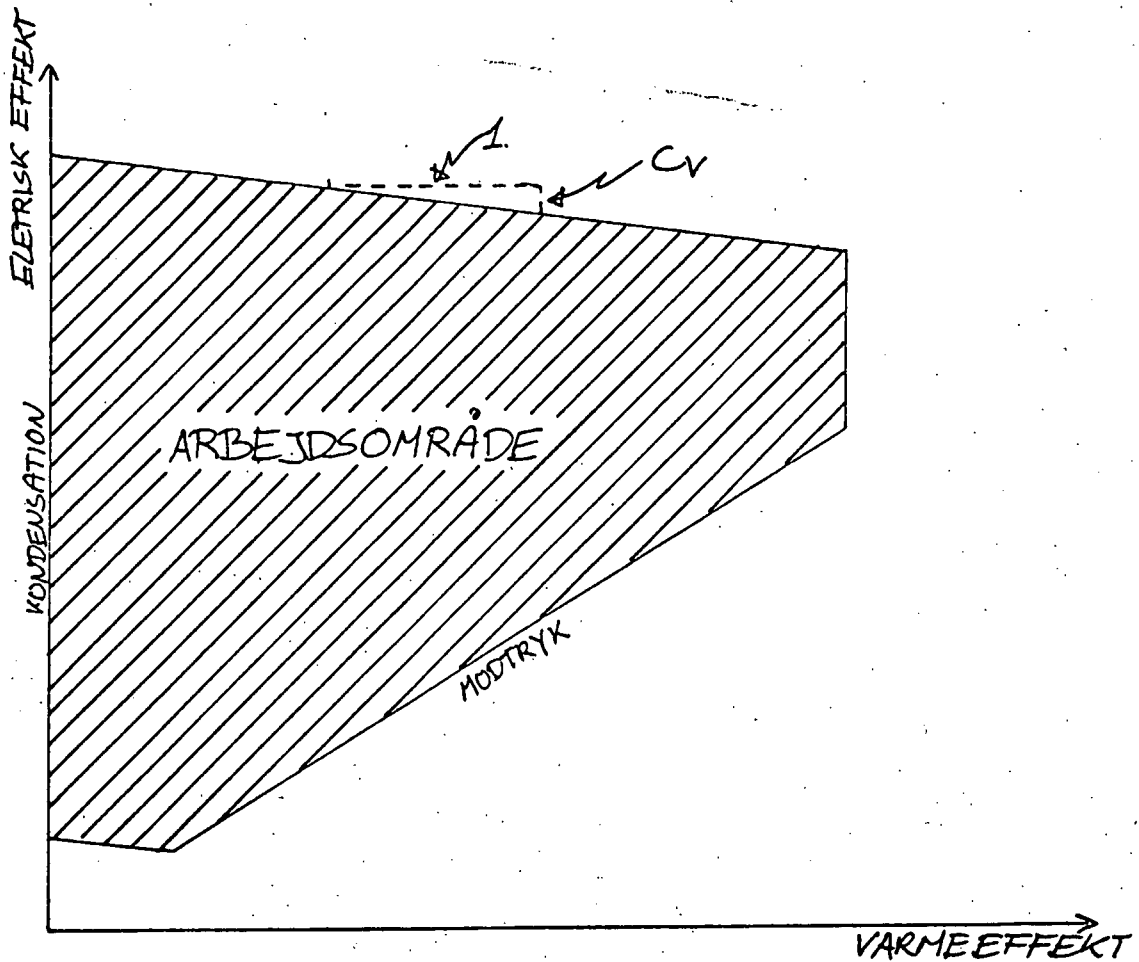
Det giver en varmepris,  $p_v$  på 47 kr./GJ, uafhængig af fjernvarmetemperaturerne.

#### 2.3.2. Kraftvarmeværker

Som eksempel på et anlæg, hvor varmeprisen er afhængig af fjernvarmetemperaturerne, er valgt kraftvarmeværk. I kraftvarmeværket produceres både elektricitet og varme. I et udtagsværk er der ret store muligheder for at variere både elektricitets- og fjernvarmeproduktionen. Se figuren.

Ved kraftvarmeværker defineres tillægsproduktionsfaktoren,  $C_v$ , der er et udtryk for reduktionen i elproduktionen pr varmenhed.  $C_v$  er afhængig af både frem- og returløbstemperaturer i fjernvarmesystemet.

Fastsættelsen af dette afhængighedsforhold mellem  $C_v$  og  $T_f$  og  $T_r$  er naturligvis stærkt teknologiafhængigt. Vi har valgt at lade  $C_v$  være lineær i såvel fremløbs- som returløbstemperaturer:



*Et kraftvarmeværks arbejdsområde, med modtryks- og kondensationsdrift markeret. Hældningen på den øvre begrænsning af arbejdsområdet har hældningen  $-C_v$ .*

$$C_v = 0,0013T_F + 0,00057T_R - 0,022$$

hvor både  $T_F$  og  $T_R$  er i °C.

Konstanterne svarer til de værdier, som ELKRAFT i foråret 1984 benyttede i deres planlægning af det nye Avedøre kraftvarmeværk. Avedøreværket er et stort kraftvarmeværk med et maksimalt varmeudtag på 320 MJ/s. Det er væsentligt større end nogle af de værker, vi vil se på. Desuden er udtrykket fremkommet for fremløbstemperaturer mellem 90 og 120°C og returtemperaturer mellem 40 og 70°C, men vi har valgt at benytte udtrykket for  $C_v$  alligevel til trods for, at vi regner på væsentlig mindre værker, og vil tillade temperaturerne at gå uden for de nævnte områder, da vi anser udtrykket for at være godt som eksempel på en varmepris, der varierer med temperaturerne.

Prisen for varmen fra kraftvarmeværket er afhængig af afregningsformen. Eller rettere, da vi regner samfundsøkonomisk, af kapacitetsforholdene for elektricitetsproduktion. Det, der giver den billigste varme, er at at regne varmen som overskud ved elproduktion. En situation, hvor der er behov for elektricitet hele året. Varmen skal så kun betale for den elektricitet, der ikke blev produceret, som følge af varmeproduktionen. Varmeprisen,  $p_{v,kv-1}$  bliver :

$$p_{v,kv-1} = p_B \cdot Q \cdot \frac{C_v}{\eta_{el}}$$

hvor  $p_B$  er brændværdiprisen på brændslet = 42 kr./GJ

$Q$  er den producerede varmemængde i GJ

$C_v$  er tillægsproduktionsfaktoren og

$\eta_{el}$  er virkningsgraden ved ren elproduktion = 0,4

prisen pr. varmeeenhed bliver således

$$p_{v,kv-1} = 42 \cdot C_v / 0,4 = 105 \cdot C_v$$

Da  $C_v$  er af størrelsesorden 0,1 bliver det meget billig varme.

En anden afregningsform er deling af kraftvarmefordelen. I ELKRAFT-området er det normalt, at kraftvarmefordelen udregnes på de marginale driftsomkostninger:

$$\Delta p_{kv} = p_B \cdot Q \cdot \left( \frac{1}{\eta_k} - \frac{C_v}{\eta_{el}} \right)$$

hvor  $\eta_k$  er effektiviteten af et alternativt anlæg til varmeproduktion, og derfor ofte sættes til 0,85 (svarer til kulfyring)

Denne kraftvarmefordel deles så ligeligt mellem el- og varmeside<sup>3)</sup> (Ref: ELKRAFT 1983).

3. Kraftvarmefordelen deles normalt ikke med det samme, men først efter f.eks. 12 år.

## Modellen

Varmeprisen bliver pr. varmeeenhed så

$$\begin{aligned} p_{kv-delt} &= p_B \cdot \frac{C_v}{\eta_{el}} + \frac{1}{2} p_B \left( \frac{1}{\eta_k} - \frac{C_v}{\eta_{el}} \right) \\ &= \frac{1}{2} p_B \left( \frac{1}{\eta_k} + \frac{C_v}{\eta_{el}} \right) \end{aligned}$$

Indsættes vores talværdier fås varmeprisen med delt kraftvarmefordel:

$$p_{kv-delt} = 25 + 53 \cdot C_v$$

For varmeleverancer fra Skærbækværket i Trekantområdet er kraftvarmefordelen foreslået udregnet udfra totalpriser, istedet for marginalpriser. Resultatet bliver dog stort set det samme.

Vi har valgt at se på to andre afregningsformer. Vi har ikke valgt formlerne for delt kraftvarmefordel, men har blot ønsket at illustrere situationer, hvor der ikke er så stort behov for elektricitetsproduktion. Vi har valgt at regne med henholdsvis 2,5 og 5,0 gange prisen for kraftvarmeværket. Det oprindelige kraftvarmeværk kalder vi KV-I, de to andre for KV-II og KV-III.

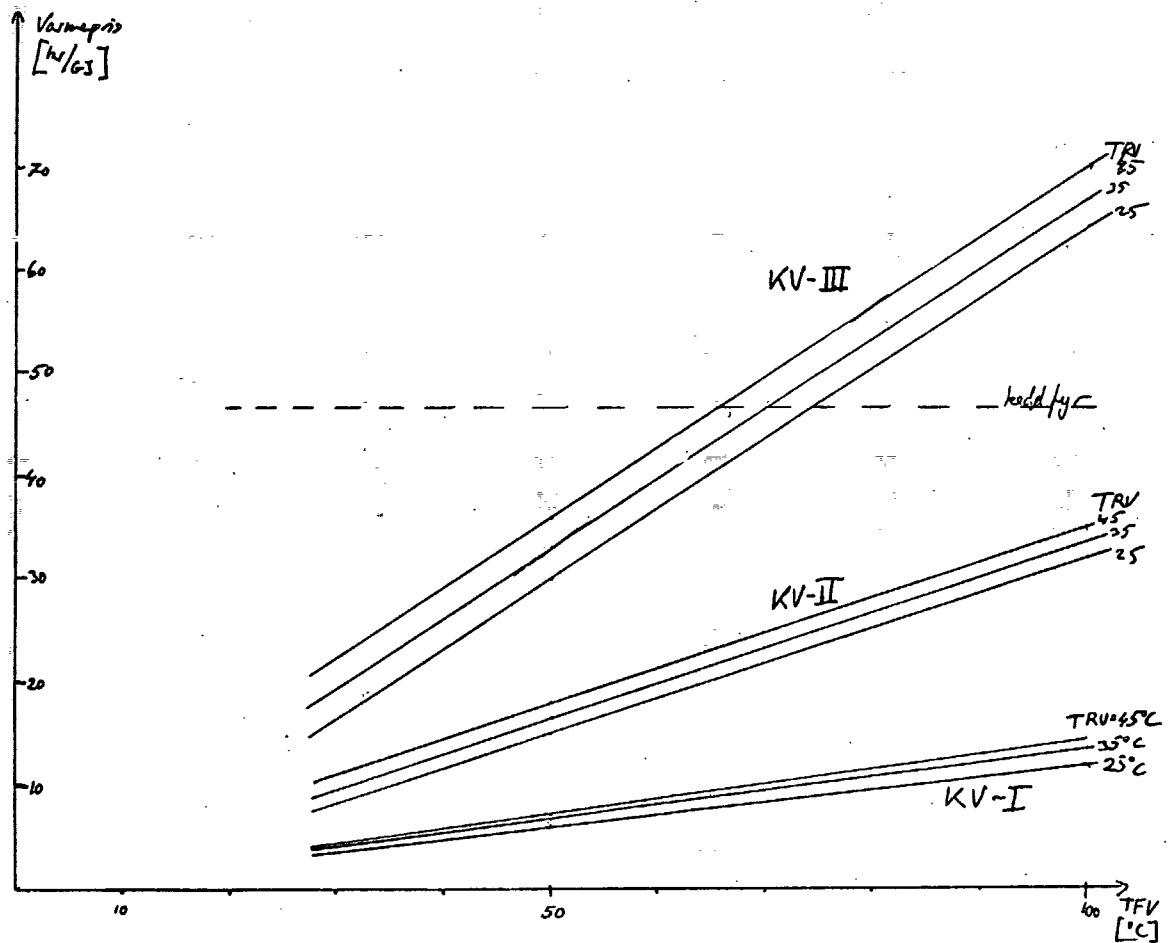
$$p_{v,KV-II} = 2,5 \cdot p_B \cdot \frac{C_v}{\eta_{el}}$$

for den type værk, vi kalder KVII, og endelig en pris, hvor elektriciteten ikke er ret meget værd, værk KV-III:

$$p_{v,KV-III} = 5,0 \cdot p_B \cdot \frac{C_v}{\eta_{el}}$$

Se figuren.

Værkerne KV-I, II og III er således både kendetegnet ved stigende varmepriser og ved større og større afhængighed af temperaturerne.



Varmeprisen som funktion af frem- og returløbstemperaturen for de fire værktøyer.

Prisen på elektricitet, der benyttes er sat til

$$p_{el} = \frac{p_e}{\eta_{el}}$$

hvilket er 105 kr/GJ  $\approx$  30 øre/kWh.

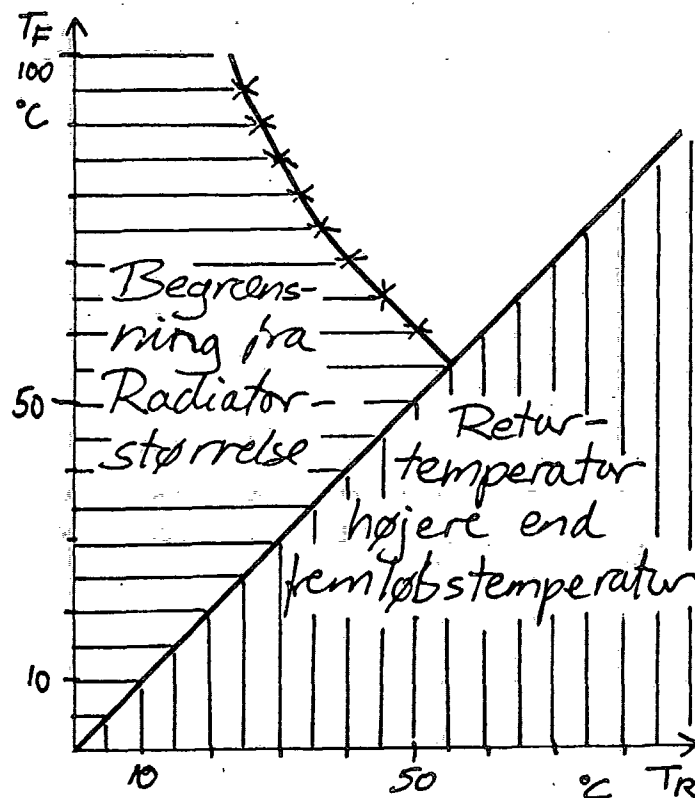
### 3. Programmet

Programmet skal udregne hvilket valg af rørdiameter,  $D$ , isoleringstykkelse,  $H_{iso}$  og radiatorareal,  $A_r$ , der er billigst for et givent energiforbrug, længde på fjernvarmerørene og type varmecentral. Programmet findes i appendiks.

Programmet benytter de tidligere beskrevne sammenhænge mellem de fysiske størrelser, samt de tidligere beskrevne prisfunktioner for varme, radiator, fjernvarmerør, pumpning og pumper. Programmet simulerer årsvariationen ved at undersøge fire belastningsvariationer som tidligere beskrevet. For hver af belastningssituationerne udregner programmet de optimale frem- og returløbstemperaturer, idet der stilles krav til den minimale fremløbstemperatur hos forbrugeren,  $T_{F,min}$  samt den minimale returløbstemperatur, man kan forvente fra forbrugeren,  $T_{R,min}$ .

Temperaturerne vælges således: Systemet og dets dimensioner er fastlagt samt varmebehovet for den belastningssituation, der betragtes. Fremløbstemperaturen hos forbrugeren sættes i første omgang til det maksimale,  $95^{\circ}\text{C}$ . Det undersøges om en returtemperatur mellem  $5^{\circ}$  under fremløbstemperaturen og  $T_{R,min}$  er acceptabel. Hvis returtemperaturen skal være over  $90^{\circ}\text{C}$  er radiatorarealet for lille. Bliver returtemperaturen under  $T_{R,min}$  sættes den lig  $T_{R,min}$ . Ligger returtemperaturen i det acceptable interval, startes med returtemperatur på  $T_{R,min}$ , hvorefter returtemperaturen hæves i trin på  $5^{\circ}$ , indtil den netop opfylder kravet om varmeleverance. Den præcise returtemperatur interpoleres. Se figuren.

Det er den minimale returtemperatur, der giver den billigste varme. For hvis der valgtes en højere returtemperatur ville dels varmetabet fra returledningen stige, dels ville pumpegifterne stige. For kraftvarmeværket gælder yderligere, at prisen stiger med returtemperaturen.

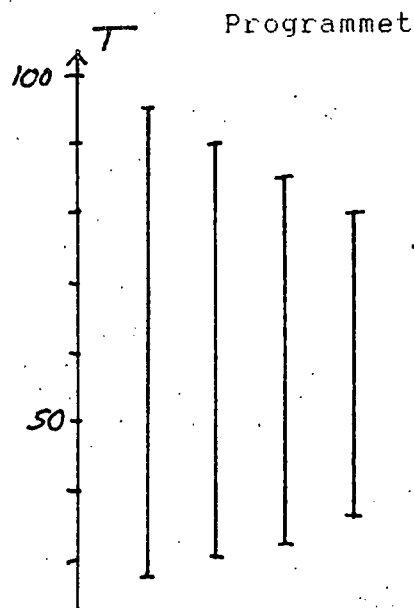


Niveauekurve for konstant radiatorfaktor i  $T_R$ - $T_F$  diagram. Det er det ikke-skraverede område, der er det brugbare. 'x'-erne markerer de værdier af  $T_R$  og  $T_F$  for hvilke forbrugerprisen udregnes.

Når returtemperaturen for given fremløbstemperatur er udregnet, udregnes prisen for systemet og driften heraf for disse temperaturer. Fremløbstemperaturen sænkes  $5^\circ$  og proceduren med at finde returtemperaturen gentages. Se figuren, hvor X'erne markerer de par af  $T_F$ ,  $T_R$  for hvilke prisen og dets drift er udregnet. På de næste figurer er parrene af  $T_F$ ,  $T_R$  tegnet op. Middelttemperaturen er næsten konstant.

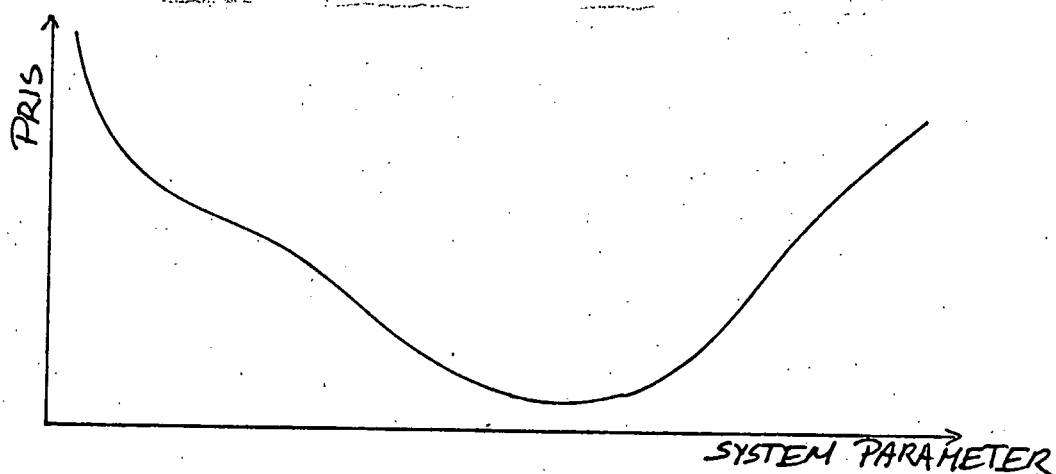
Hver gang der er udregnet en pris, sammenlignes den med den forrige. Er den nye pris lavere, fortsættes der med at nedsætte fremløbstemperaturen. Fås en pris, der er højere stoppes. Så er det det forrige valg af temperaturer, der er det optimale. Der antages således at optimaet er "pænt", altså at der kun findes et globalt minimum og ingen lokale. Denne antagelse er også opfyldt, da det er pæne funktioner, der indgår, f.eks. er prisfunktionerne alle monotome. De analyser af resultaterne, som bliver præsenteret senere, bekræfter også antagelsen. Når de optimale temperaturer for et belastningstilfælde er bestemt, gentages proceduren for de





De kombinationer af  $T_{FV}$  og  $T_W$  forbrugerprisen udregnes ved for givent radiatorkorrektionsfaktor. Sværer til 'x'-erne i forrige figur.

tre andre belastningssituationer.



Et pænt optima. Der er et globalt og ingen lokale minima.

Det er kun for spidslastsituationen at anlægsudgifterne kommer til at spille en rolle for valget af temperaturer, og det kun i form af den installerede pumpeeffekt, der sættes til to gange den nødvendige effekt i spidsbelastningssituationen. I de tre andre belastningssituationer er det tilstrækkeligt at optimere efter de variable udgifter.

Når hele året er optimeret, huskes de samlede udgifter og der gennemregnes for andre værdier af rørtykkelse,  $D$ , iso-

## Programmet

leringstykkelse,  $H_{i,s}$ , og radiatorareal,  $A_R$ . Det optimale valg af disse parametre er simpelthen det valg, der giver de mindste udgifter.

#### 4. Resultater

Den størrelse, der optimeres efter i programmet, er forbrugerprisen som her er udgifterne til radiatorer hos forbrugerne, frem- og returløbsledninger til fjernvarmesystemet, anskaffelse af cirkulationspumper, elektricitet til pumperne og køb af varme på varmekædet udregnet pr. leveret varmeenhed til forbrugerne. Til forskel fra, hvad der normalt kaldes forbrugerprisen, er investeringer i værket, reparationer og drift og vedligeholdelse af værk og ledninger ikke medregnet. Derimod er udgifter til radiatorer hos forbrugeren medregnet.

Nøjagtigheden i de resultater, vi skal se, er dels fastlagt ved rigtigheden af de fysiske antagelser, der er gjort, rigtigheden af de benyttede prisfunktioner, samt hvor fint de forskellige parametre er varieret.

Fremløbstemperaturen hos forbrugeren er som nævnt varieret med trin på  $5^\circ$ , når de optimale driftstemperaturer skal findes. Rørdiameteren er varieret i trin på 2,5 cm for model-Albertslund. Isoleringstykkelsen er varieret i trin på 0,25 cm og radiatorarealet i trin på  $1 \text{ m}^2$ . Som det fremgår af undersøgelsen i afsnit 4.2, betyder springene i variationerne, at forbrugerprisen er bestemt bedre end en usikkerhed på 50 øre/GJ. Det er en usikkerhed, der er helt tilfredsstillende, specielt da vi ser på et så forenklet system, at vi kun kan udtale os om tendenser, og usikkerhederne i prisfunktionerne er mindst lige så store.

##### 4.1. Beskrivelse af optimaet

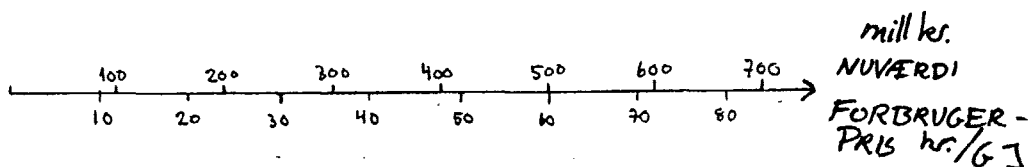
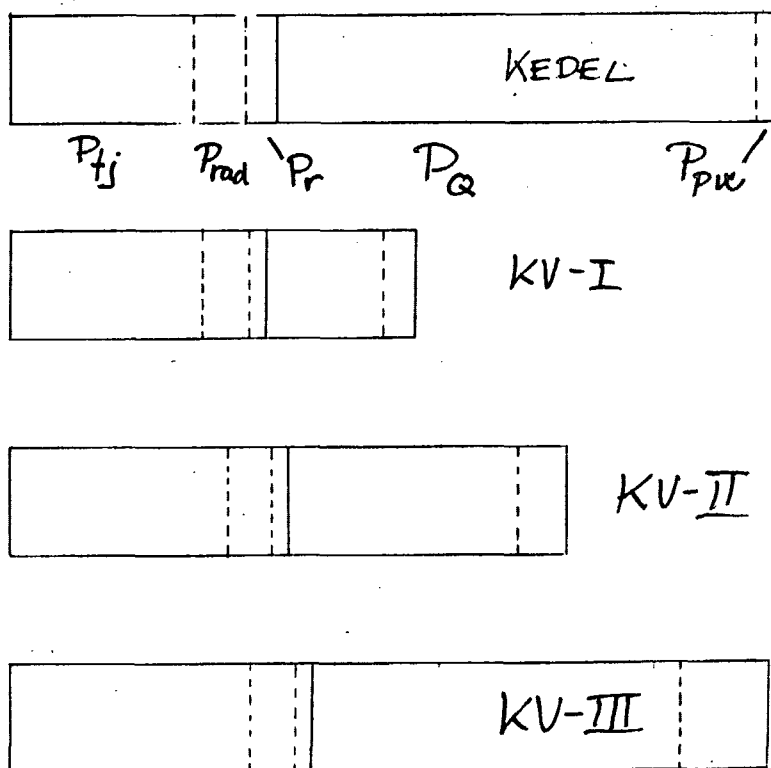
For de forskellige værktøjer har vi fundet, hvordan den optimale dimensionering ser ud. Næsten alle resultaterne i det følgende er for model-Albertslund, men der er dog også

nogle få for model-Nysted.

Dataerne for de to model-byer er:

model:	L	N	$Q_{en}$	$Q_{ar}$	$N \cdot Q_{en} / L$
Albertslund	52000 m	2400	12.100 kW	916 TJ	0,55 kW/m
Nysted by	8400 m	720	2.300 kW	52 TJ	0,20 kW/m

På figuren og af tabellen fremgår den samlede forbrugerpris, og hvordan den er sammensat af de enkelte poster: fjernvarmerør, radiatorer, installation af pumper, varme fra værk og elenergi til at drive pumperne.



Forbrugerpriserne opdelt på de enkelte poster for alle fire værktøyer for model-Albertslund.

Den optimale dimensionering fremgår af nedenstående tabel

## Resultater

Model-Albertslund:

værk	D m	H <sub>iso</sub> m	A <sub>R</sub> m <sup>2</sup>	P <sub>F</sub> kr./GJ
KV-I	0,425	0,0225	31	45
KV-II	0,450	0,030	29	62
KV-III	0,475	0,035	31	85
kedel	0,350	0,040	35	86

Til sammenligning er optimaet for model-Nysted:

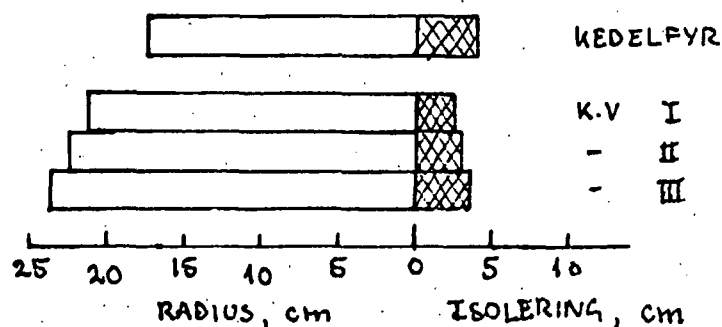
værk	D m	H <sub>iso</sub> m	A <sub>R</sub> m <sup>2</sup>	P <sub>F</sub> kr./GJ
KV-I	0,120	0,015	4,5	35
KV-II	0,120	0,020	5,5	50
KV-III	0,115	0,025	6,0	73
kedel	0,095	0,0275	5,5	79

Disse priser kan sammenlignes med varmeprisen fra værk, som fremgår af kapitlet Varmeværket.

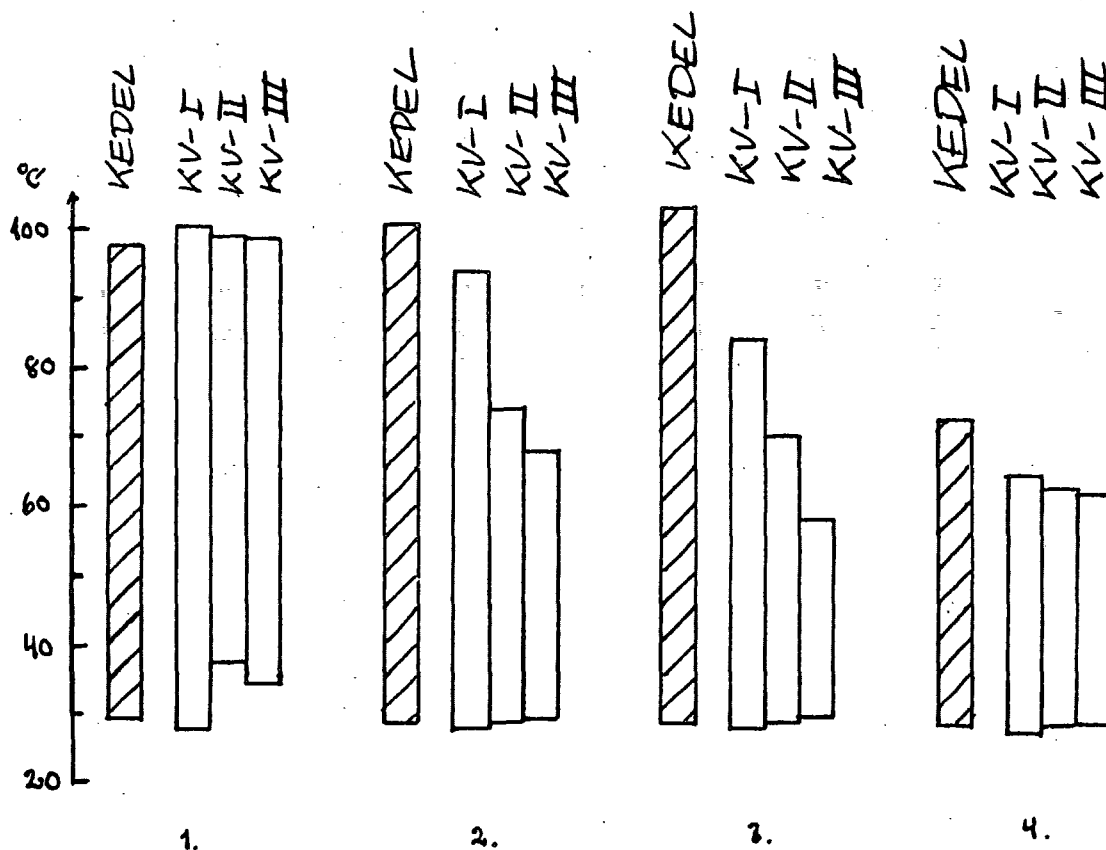
Anlægsprisen udgør cirka det samme beløb for alle fire værktyper. Forholdet mellem anlægsprisen og den totale udgift er i det væsentligste bestemt af varmeprisen ved værk.

Værktype	kedel	KV-I	KV-II	KV-III
P <sub>anl</sub> /P <sub>sua</sub>	0,35	0,63	0,50	0,39

På de to næste figurer ses fjernvarmerørens dimensioner og de temperaturforhold, der er i systemet.



*Den optimale dimensionering af fjernvarmerørene for de fire værktyper for model-Albertslund.*



Temperaturforhold i systemet for model-Albertslund, søjlernes øverste og nederste punkt er henholdsvis frem- og returtemperatur ved værket.

	$T_{fv, middel}$	$T_{rv, middel}$	$\Delta T_{v, middel}$
kedelfyr:	97,5	28,2	69,3
KV-I:	83,3	27,6	55,7
KV-II:	69,8	28,5	41,3
KV-III:	60,8	28,9	31,9

Fællestræk ved de forskellige systemer er, at de alle har en lav returtemperatur. Den er for det meste begrænset af den mindst tilladte. Dette giver stor afkøling af fjernvarmevandet og derfor en mindre gennemstrømningshastighed.

Det, der adskiller den temperaturuafhængige varmekilde, kedelfyret, og de temperaturafhængige varmekilder, kraftvarmeværker, er fjernvarmerørens diameter. For kedelfyrets vedkommende er fremløbstemperaturen høj, og der opnås en stor afkøling, der resulterer i en lav rørdiameter. Her

## Resultater

bliver diameteren bestemt af en opvejning af pumpeeffekt og varmetabet fra rørene.

For kraftvarmeværkerne fås der en lavere fremløbstemperatur, hvilket giver større vandmængde-cirkulation og derfor større rørdiameter. Mest markant for værkttype KV-III, der har den største afhængighed for varmeprisen. Her er afkølingen kun halv så stor som for kedelfyret. En ændring i varmeprisen for kraftvarmeværk giver ikke en tilsvarende ændring i forbrugerpris, sammenlign f.eks. KV-I og KV-III. Dette skyldes, at en højere varmepris medfører lavere temperaturniveau i systemet.

De isoleringstykkelser, vi finder, er forholdsvis lave i forhold til de isoleringstykkelser, der benyttes til de fjernvarmerør, der er på markedet (se appendix). Dette forklares dels ved, at det er en gennemsnitstykkelse af frem- og returløb, dels ved at vi har lave temperaturer i systemet, specielt i returløbet.

Benyttes at isoleringstykkelsen er proportional med temperaturforskellen mellem rør og jord, og hvor der benyttes gennemsnitstemperaturer for henholdsvis frem- og returløb, bliver isoleringstykkelse af henholdsvis frem- og returløb for de forskellige optima:

værkttype	kedel	KV-I	KV-II	KV-III	
H <sub>iso</sub>	4,0	2,5	3,0	3,5	cm
H <sub>F</sub>	6,53	3,97	4,40	4,88	cm
H <sub>R</sub>	1,47	1,03	1,60	2,12	cm

Her bliver fremløbets isoleringstykkelse i god overensstemmelse med markedets isoleringstykkelser, som er dimensioneret til forholdsvis høje temperaturer (se appendix).

Tabellen viser også, at når der arbejdes med store afkølinger (~stort temperaturfald), er der stor forskel på isoleringsgraden af rørene.

For kraftvarmeanlæggene ses, at højere varmepris betyder, at

det er favorabelt med en større isoleringstykkelse.

For kedelanlæggets vedkommende er der dels en høj varmepris, men også det, at systemet arbejder med høje temperaturer, gør, at der fås stor isoleringstykkelse.

Varmeprisens betydning for isoleringstykkelsen ses også af tabellen herunder, hvor varmetabet for de forskellige værktyper fremgår.

værkttype	kedel	KV-I	KV-II	KV-III	
Varmetab	138	240	174	145	TJ
i prc.	15,1	26,2	19,0	15,8	%

Samlet forbrug: 916 TJ

For radiatorarealet er der ikke den store forskel mellem de forskellige værktyper. Programmet vælger for det meste så store optimale radiatorarealer, at returtemperatureren, på nær i spidslastperioden, bliver  $T_{r,min}$ .

værkttype	kedel	KV-I	KV-II	KV-III	
$\hat{A}_R$	2,89	2,56	2,40	2,56	m <sup>2</sup> /kW

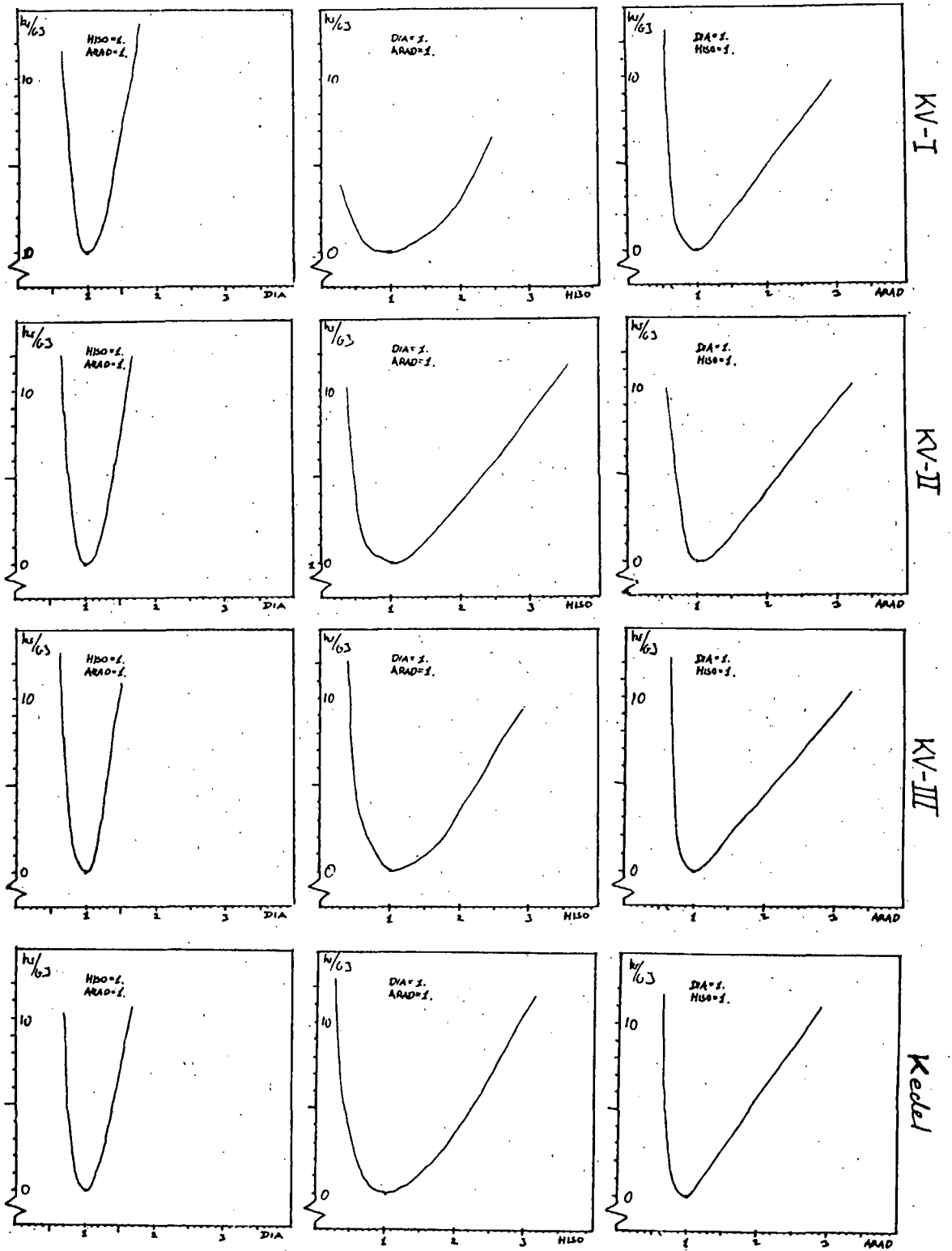
#### 4.2. Optimaets udseende

Hvad sker der, hvis det ikke er de helt optimale systemparametre  $D$ ,  $H_{1,0}$  og  $A_R$  der benyttes, når fjernvarmesystemet planlægges? Hvilke parametre er forbrugerprisen mest afhængig af? Er der forskel på, om parametre vælges for store eller for små?

De næste figurer viser optimaets udseende for model-Albertslund for både værket med kedelfyr og for de tre kraftvarmeværker. Det er forbrugerprisens ændring med  $D$ ,  $H_{1,0}$  og  $A_R$  varieret relativt til de optimale værdier. De optimale værdier for model-Albertslund, er som tidligere nævnt i afsnit 4.1.



# Resultater



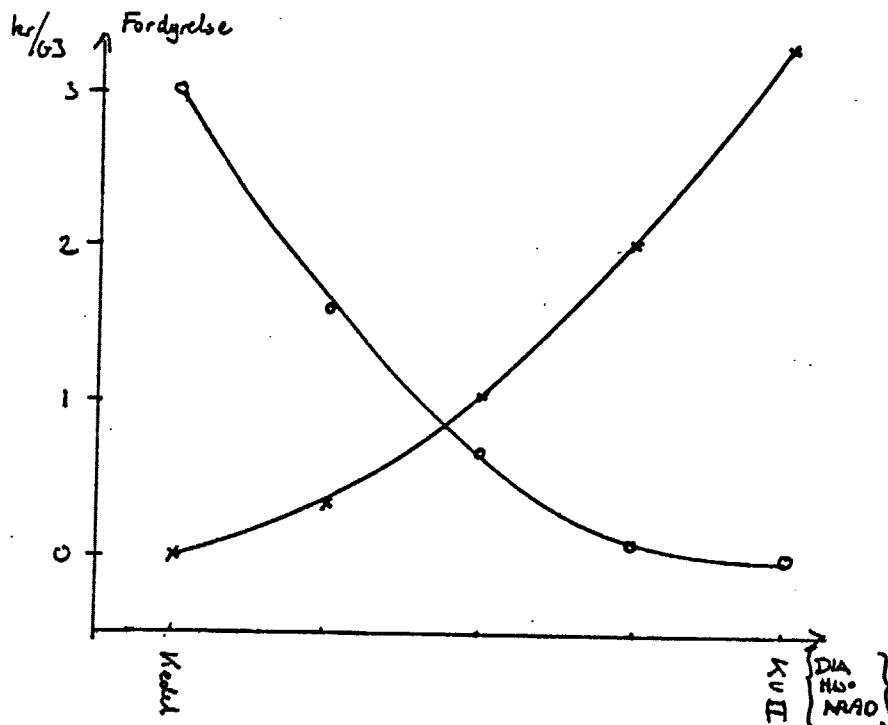
Optimaets udseende under variation af de tre system-parametre. Når en parameter varieres relativt til sin optimale værdi, holdes de to andre konstante. Det er fordyrelsen fra den minimale pris der er op ad 2.-aksen. Figurerne er for model-Albertslund.

Det fremgår af figurerne, at det er afhængigheden af diame-  
teren,  $D$ , der er den kraftigste. Det gælder særligt for små  
værdier af  $D$ , men også for store. Afhængigheden af iso-  
leringstykkelsen,  $H_{iso}$ , er ikke så kraftig, men også her gæl-  
der det, at det er værre at vælge for tyndt end for stort.

Der er en vis afhængighed af radiatorarealet,  $A_r$ . Særlig  
stiger prisen, hvis der vælges for små radiatorer. For store  
radiatorarealer giver praktisk talt en lineær sammenhæng  
mellem det relative radiatorareal og fordyrelsen.

Forskellene mellem værkerne på optimaets udseende er små.  
Afhængigheden af isoleringstykkelsen bliver kraftigere for  
dyrere varme. Kedelfyret er mere afhængig af radiatorarealet  
end de andre værker, da den optimale driftssituation er en  
med meget kraftig afkøling hos forbrugeren.

I disse beregninger er de to andre systemparametre holdt  
fast, når den tredje varierer. I den følgende figur er alle  
tre parametre varieret på en gang, mellem det optimale punkt  
for kedelfyret og KV-II.



*Fordyrelsen af forbrugerprisen, hvis der dimensioneres  
efter andet værk end det benyttede. Det er alle tre  
systemparametre for kedelfyr og KV-II, der varierer  
samtidig på 1.-aksen.*

Det er lidt dyrere at installere kedelfyr, når man har dimensioneret efter KV-II end det omvendte. Men figuren siger også noget om, hvad man skal gøre, hvis man overvejer at skifte fyringsteknologi. Hvis man f.eks. installerer kedelfyr, men vil forberede sit system for kraftvarmeanlæg bør man vælge større diametere, mindre isolering og mindre radiatorer. Hvor man placerer sig mellem de to optima punkter, afhænger bla. af, hvor længe man regner med at drive systemet med hver af værkerne.

### 4.2.1. Bindinger i systemet

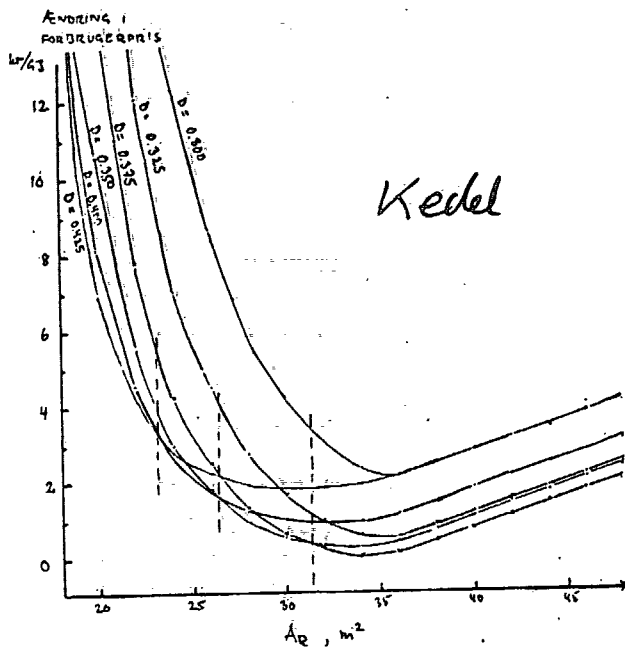
Ved dimensionering af fjernvarmesystemet vil parameteren  $A_R$  som regel være uden for fjernvarmeplanlæggerens umiddelbare indflydelse, specielt for fjernvarmesystemer i eksisterende bebyggelser.

Derfor er det interessant at se på, hvordan systemet reagerer, når  $A_R$  er fastlagt til forskellige størrelser. Dertil har vi set på den optimale forbrugerpris variation, når  $A_R$  fastlægges. Vi har fastholdt isoleringstykkelsen til den optimale værdi, men varieret diameteren, så den optimale forbrugerpris kunne findes. Der er set på værktøjerne kedel og KV-II for model-Albertslund.

Resultaterne fremgår af figurerne

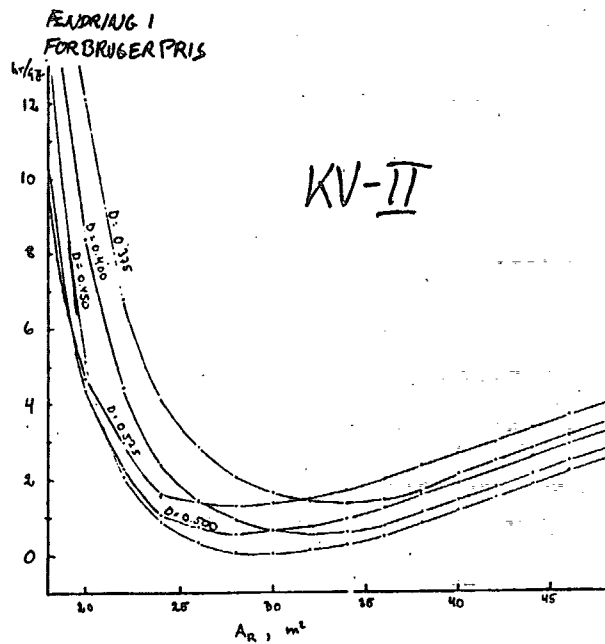
Det ses, at det er vigtigt, at radiatorarealet er over en vis størrelse, da forbrugerprisen ellers stiger kraftigt. Det kan iøvrigt bemærkes, at hvis der er usikkerhed overfor forbrugernes radiatorareal, er det bedre at dimensionere med for store diametre, da priserne er mere følsomme overfor for små radiatorarealer end for store.

Den mindre spredning i KV-II's forbrugerpris skyldes, at der er ændringer i de optimale driftstemperaturer når systemets parametre ændrer sig. KV-II-systemet opfører sig mere robust over for ikke optimale radiatorarealer.



Ændringer i forbrugerpris for varierende radiatorareal for forskellige valg af diametre med fastholdt isolerinstykkelse.

Værkttype: Kedelfyr.  $H_{150} = 4,0$  cm



Ændringer i forbrugerpris for varierende radiatorareal for forskellige valg af diametre med fastholdt isolerinstykkelse.

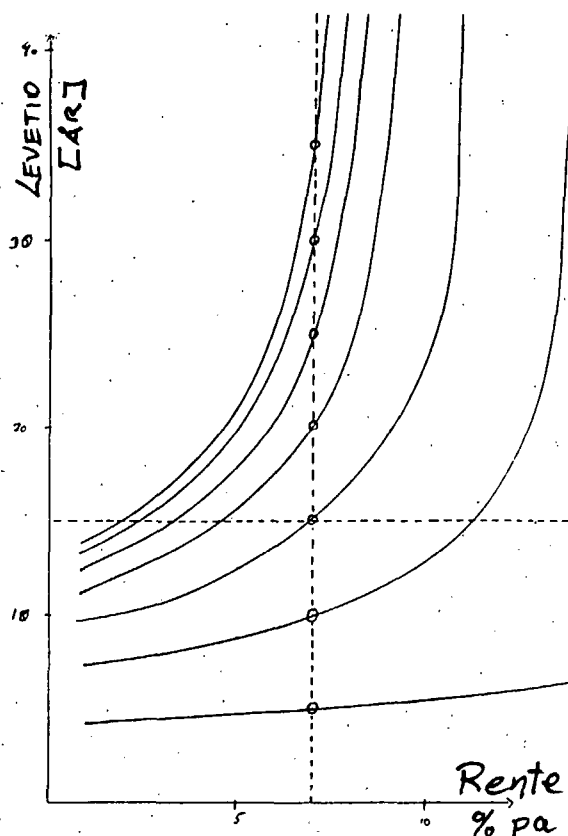
Værkttype: KV-II.  $H_{150} = 3,0$  cm.

### 4.3. Følsomhed for levetid og varighedskurve

#### 4.3.1. Ændringer i levetid

Beregningerne af optimaet er foretaget med kalkulationsrente,  $r$ , på 7% p.a. og en levetid,  $t$ , på 15 år. Andre værdier af de to kunne godt være valgt, og optimaets ændring, når de to parametre ændres, er interessant.

## Resultater



Niveaukurver for konstant annuitetsfaktor. Det er kurverne for de gennemregnede værdier der er tegnet op.

Der er en entydig sammenhæng i modellen mellem variationer i renten og levetiden, da de kun indgår i annuitetsfaktoren,  $A_n$ , som tidligere omtalt:

$$A_n = \frac{1 - (1+r)^{-t_1}}{r}$$

Det er derfor tilstrækkeligt at variere den ene af parametrene. Vi har valgt at variere  $t_1$  og fastholde  $r$  på de 7% p.a. På figuren er optegnet kurver for fastholdt nuværdi gennem de punkter vi har optimeret for i tabellen herunder

For hver af disse kurver er der fundet et optima i forbrugerprisen,  $p_f$ , med tilhørende  $D$ ,  $H_{iso}$  og  $A_R$  for model-Albertslund. Disse resultater er præsenteret i tabellen herunder og i de to næste kurver.

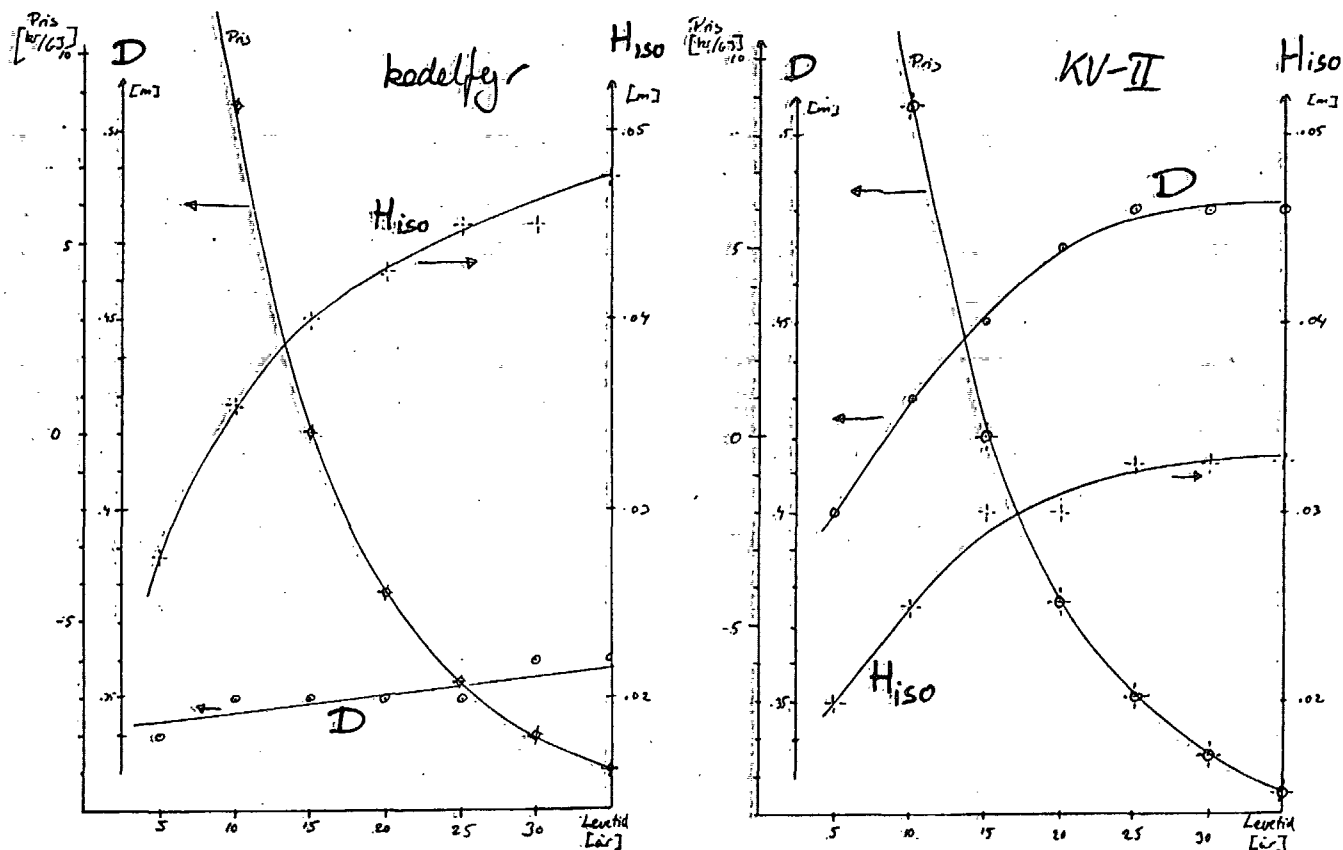
$t_1$ :	5	10	15	20	25	30	35	år
kedel:								
$D$	34	35	35	35	35	36	36	cm
$H_{iso}$	2,75	3,5	4,0	4,25	4,5	4,5	4,75	cm
$A_R$	35	35	35	35	35	35	35	m <sup>2</sup>
$p_f$	121	95	86	82	79	78	77	kr/GJ

### KV-II:

$D$	40	43	45	47	48	48	48	cm
$H_{iso}$	2,0	2,5	3,0	3,0	3,25	3,25	3,25	cm
$A_R$	32	31	29	29	28	28	28	m <sup>2</sup>
$p_f$	97	71	62	58	55	54	53	kr/GJ

Den første kurve er for kedelfyr den anden for KV-II. På hver figur er optegnet variationer i både  $D$ ,  $H_{iso}$  og  $p_f$ .  $A_R$

er ikke optegnet, da den ikke varierer særligt med levetiden.



Variationen i diameter og isoleringstykkelse samt forbrugerprisændringer for varierende levetid.

Det er kedelfyr til venstre og KV-II til højre. Det er model Albertslund.

Forbrugerprisen er naturligvis mindre og mindre for stigende levetid, da det, der svarer til de årlige afdrag på investeringerne, bliver mindre og mindre. Desuden vælges et optima, der har større anlægsomkostninger når levetiden forlænges.

Ændringerne i diameter,  $D$  og isoleringstykkelse,  $H_{iso}$ , er dog forskellige for de to værktøjer.

Den optimale diameter med kedelfyret stiger kun svagt for stigende  $t_1$ , mens isoleringstykkelsen stiger kraftigt for  $t_1$  stigende fra 5 til 15 år, og den er stadig stigende for fortsat stigende  $t_1$ .

## Resultater

For KV-II er der en markant stigning i den optimale diameter for stigende  $t_1$ , men stigningen ophører for levetider over 25 år. Her ser den ud til at stabilisere sig på  $D = 0.48$  meter.

Den store afhængighed for  $D$  af  $t_1$  for KV-II skyldes, at en større diameter betyder lavere driftstemperaturer, hvilket giver billigere varme i kraftvarmeværket. For kedelfyret er der kun den lavere pumpeudgift, på grund af lavere strømningshastighed, at vinde ved større diameter.

Isoleringstykkelsens variation for KV-II er knap så kraftig som for tilfældet med kedelfyr. For KV-II udviser  $H_{1,0}$  en stabilisering for levetider over 25 år. Den stabiliserer sig på godt 3 cm. Den optimale isoleringstykkelse er generelt mindre for KV-II end for kedelfyr, da KV-II kører ved lavere temperaturer, hvorfor isoleringen spiller en mindre rolle.

Det, at den optimale rørdiameter og isoleringstykkelse stabiliserer sig for høje levetider, er interessant. Hvis man ønsker at dimensionere efter den tekniske levetid, ændres optimaet ikke for variation af renten under godt 10%. Det er de værdier, som  $D$  og  $H_{1,0}$  har stabiliseret sig om, der bør vælges.

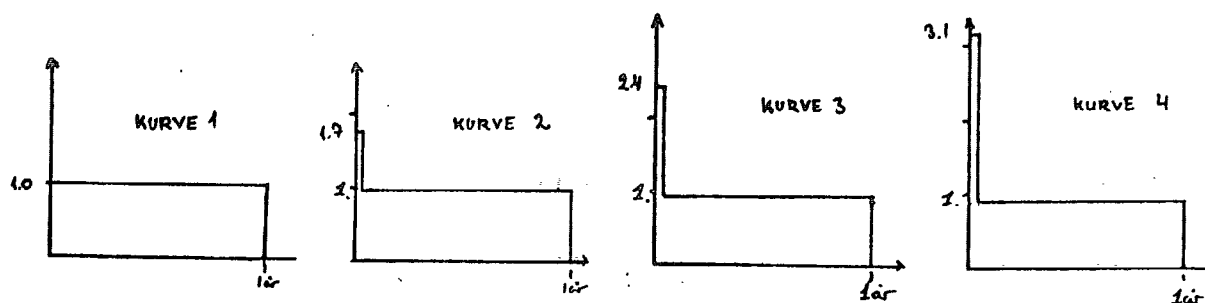
For kedelfyr-systemer er den optimale rørdiameter så at sige uafhængig af rente og levetid, mens isoleringstykkelsen er meget følsom.

Valget af 7% p.a. som kalkulationsrente og 15 år som levetid er rimeligt udfra hvordan Energistyrelsen foreskriver, at samfundsøkonomiske analyser skal foretages. Men som det fremgår af figuren, er det to parametre som valget af optima er stærkt afhængig af. Og det betyder, at en nøjere vurdering af fastsættelsen af parametrene er på sin plads, når sådanne optimeringer foretages.

### 4.3.2. Ændringer i varighedskurven

Vi benytter i denne rapport en varighedskurve, der er simplificeret i forhold til den standardvarighedskurve, der normalt benyttes. Vi er interesseret i at undersøge, hvor vigtigt det er, at den benyttede varighedskurve ligner standardvarighedskurven.

Til dette har vi fundet optima af systemet, når der benyttes andre varighedskurver end den, vi ellers benytter. Det vi specielt har fokuseret på, er betydningen af spidsbelastningen. Vi har undersøgt systemet for de 4 varighedskurver, som fremgår af figuren.



*Modificerede varighedskurver. Kurve nr. 5 i tabellen henviser til den kurve, der er optegnet i afsnit 2.1.2.*

Vi har undersøgt afhængigheden af varighedskurven for værktøjerne kedelfyr og KV-II model-Albertslund. Resultatet, variationen af diameteren,  $D$ , isoleringstykkelsen,  $H_{150}$ , og radiatorarelet,  $A_R$ , fremgår af tabellerne her:

varighedskurve:	1	2	3	4	5
KV-II:					
D	0,40	0,40	0,45	0,45	0,45
$A_R$	19	19	21	29	29
Kedelfyr:					
D	0,275	0,300	0,300	0,350	0,35
$A_R$	12	18	27	35	35

Det fremgår af resultatet, at en varighedskurve med ens



## Resultater

belastning hele året (kurve 1) vil give en dimensionering, som er alt for lille.

Systemet med kedelfyr er mere følsomt overfor spidsbelastningens størrelse, hvilket skyldes, at det altid kører med høj fremløbstemperatur, og vandcirkulationen gennem rørene er derfor afhængig af belastningen. For værktpe KV-II vil der også ske en ændring i fremløbstemperatur.

Det ser derimod ikke ud til, at opdelingen i de 3 øvrige perioder er nødvendig for dimensionering af systemet.

### 4.4. Temperaturbegrænsninger på systemet

Der er sat følgende restriktioner i de temperaturer, systemet kan arbejde med.

For fremløbstemperaturen hos forbrugeren gælder:  $55^{\circ}\text{C} \leq T_F \leq 95^{\circ}\text{C}$  og for returtemperaturen hos forbrugeren gælder:  $T_R \geq 30^{\circ}\text{C}$

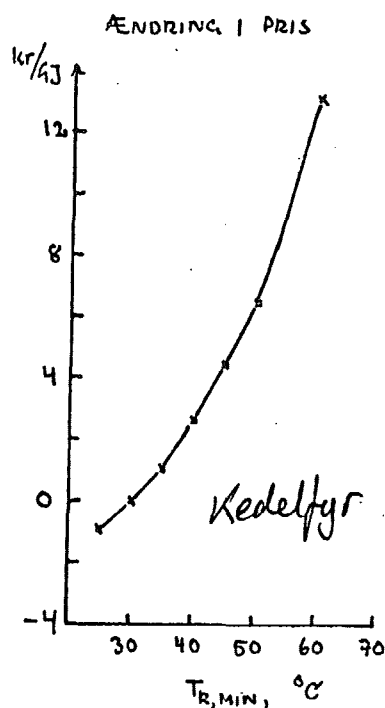
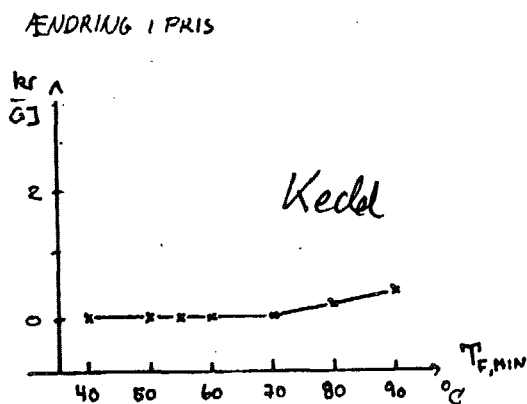
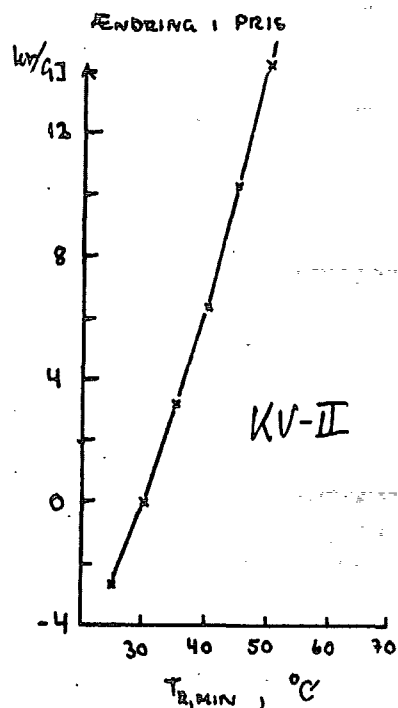
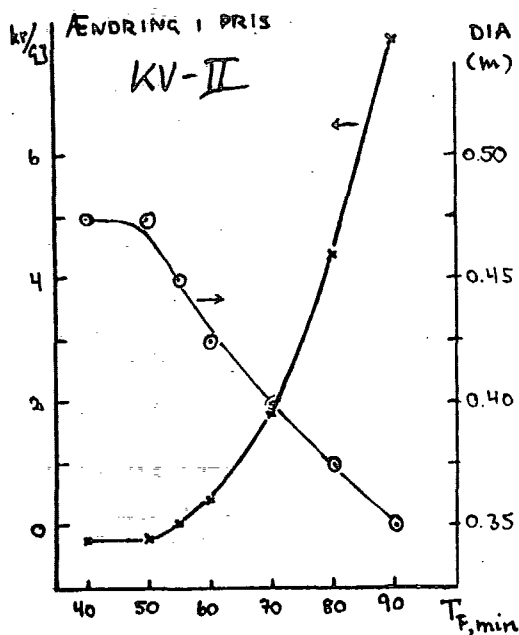
Vi har set på, hvordan den totale varmeudgift ændrer sig, hvis der ændres på disse begrænsninger i temperaturerne. Vi har varieret den minimale fremløbstemperatur,  $T_{F,\min}$ , og den minimale returløbstemperatur,  $T_{R,\min}$ .

Optimaets ændringer er undersøgt for to værker: Kedelfyr og KV-II, for model-Albertslund.

På figurerne ses varmeudgiftens variation som funktion af henholdsvis  $T_{F,\min}$  og  $T_{R,\min}$ .

Det bemærkes, at for et kedelfyr-system ændres varmeudgiften ikke, hvilket forklares ved, at det i forvejen arbejder med høje temperaturer.

For et KV-II-system betyder en stigning i  $T_{F,\min}$  en større varmeudgift. Systemet bliver nødt til at arbejde med en højere temperatur, som så resulterer i en højere varmepris.



Forbrugerpris ændringer for varierende temperaturbe-  
grænsninger. Til venstre er det variationer i den  
minimale fremløbstemperatur, til højre i den minimale  
returtemperatur. Øverst for KV-II nederst for kedel-  
fyr. Alle for model-Albertslund.

Dog bliver den optimale diameter på fjernvarmerørene mindre  
ved en højere T<sub>F, min</sub>. Med T<sub>F, min</sub> = 90°C betyder i forhold til  
T<sub>F, min</sub> = 55°C, at prisen for varmen fra værket stiger 50%,  
medens fjernvarmeprisen falder 20%.

## Resultater

En stigning i  $T_{R,min}$  betyder for begge værktøyer stigende varmeudgift. Dette skyldes, at afkølingen begrænses, så vandmængden, der cirkulerer, bliver større. Det betyder højere rørdiameterer. Samtidig stiger gennemsnitstemperaturen, så isoleringen bliver også større. Desuden vil der for værktøye KV-II gælde, at varmeprisen også stiger. Gås der fra  $T_{R,min} = 30^{\circ}\text{C}$  til  $T_{R,min} = 60^{\circ}\text{C}$  betyder det en 30% stigning i fjernvarmerørsprisen for begge værktøyer. For værktøye KV-II stiger varmeprisen fra værk yderligere 40%. Radiatorarealet falder ca 50% for begge typer.

Variationen i  $T_{R,min}$  illustrerer, hvor vigtigt det er for et fjernvarmesystem at have en stor afkøling.

### 4.5. Variationer i systemets størrelser

De analyser, som hidtil er beskrevet, er foretaget for model-Albertslund. Desuden har vi set lidt på model-Nysted. Hvad sker der, hvis man ændrer, dels i længden af fjernvarmenettet, dels i antallet af forbrugere tilkoblet i model-Albertslund.

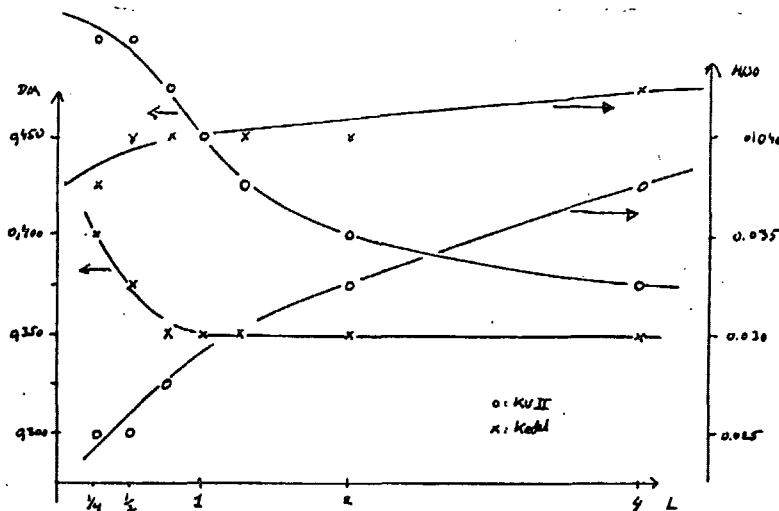
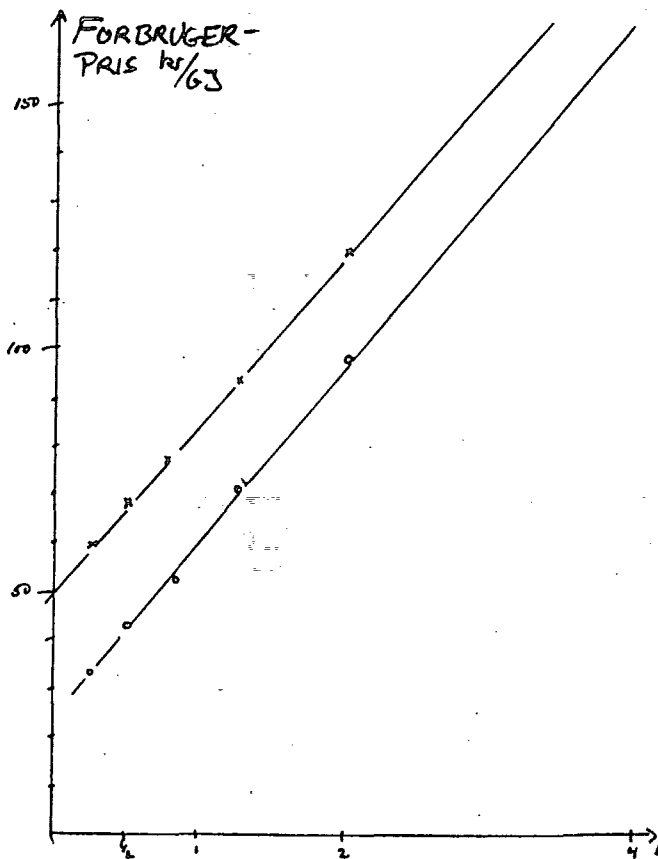
#### 4.5.1. Variationer i L

På de næste kurver er fjernvarmerørens optimale diameter,  $D$  og isoleringstykkelse,  $H_{iso}$ , samt forbrugerpriser,  $p$ , optegnet, når fjernvarmesystemets længde varierer. Længden  $1 \cdot L$  svarer til model-Albertslund: 52km. Varmeforbruget er årligt på 916 TJ. De punkter, der er optegnet med 'x', er for kedelfyr, mens 'o' punkterne er for KV-II.

Diameteren af rørene er helt stabil på 35 cm for længder over  $1 \cdot L$ . For længder under  $\frac{1}{2} \cdot L$  stiger den. For  $\frac{1}{4} \cdot L$  er den 40 cm. Den optimale isoleringstykkelse for kedelfyr-systemet stiger godt 10% når længden varierer fra  $\frac{1}{4} \cdot L$  til  $4 \cdot L$ .

For KV-II systemet stabiliserer hverken  $D$  eller  $H_{iso}$  sig i det område vi ser på. Diameteren falder stærkt i området

# Resultater



Øverst ses forbrugerprisens variation med længden af fjernvarmesystemet for model-Albertslund. 1 svarer til 52 km. Nederst ses diameteren og isoleringstykkelsen af rørene for varierende længde. Begge for både kedel og KV-II.

omkring 1·L, men faldet flader ud for længder større end 2·L. Ved 4·L bliver den optimale diameter for ca 37 cm. Den optimale diameter for kedel- og KV-II-systemer nærmer sig hinanden for stigende længder.

## Resultater

Isoleringstykkelsen for KV-II stiger kraftigt for stigende længde. For længden varierende fra  $\frac{1}{4} \cdot L$  til  $4 \cdot L$  stiger isoleringstykkelsen fra 2,5 cm til 3,75 cm  $\sim$  50%.

Forbrugerprisen stiger pænt lineært for stigende længder.

### 4.5.2. Variationer i N

Når antallet af forbrugere varieres, holdes længden af systemet fast på de 52 km. Variationen i antallet af forbrugere svarer til at variere det årlige varmeforbrug på 916 TJ. Igen er det 'x' kedelfyr og 'o' KV-II.

Her er det isoleringstykkelsen, der stabiliserer sig for stigende antal forbrugere. For KV-II-systemet er der nærmest ingen variation. For kedelfyret er der en kraftig variation for antallet af forbrugere mindre end  $1 \cdot N$  og stabilisering for antallet af forbrugere større end  $2 \cdot N$ .

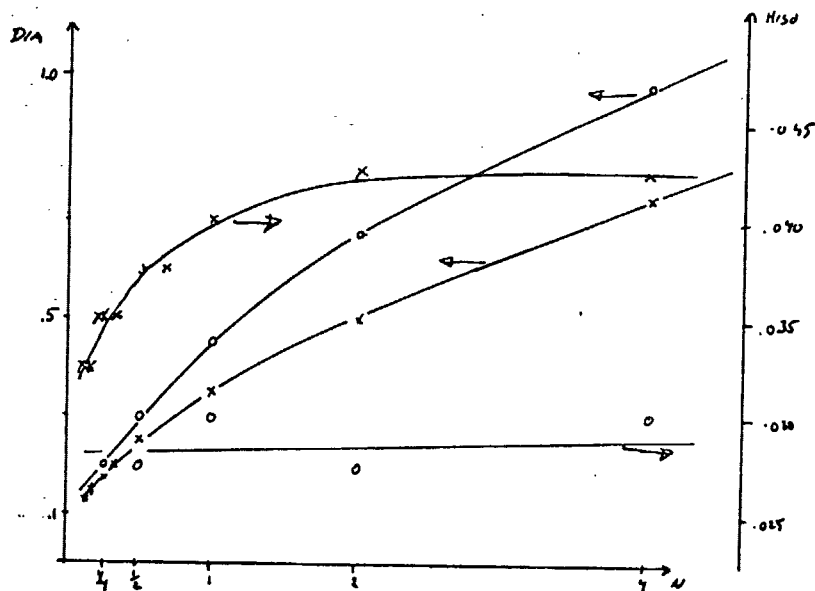
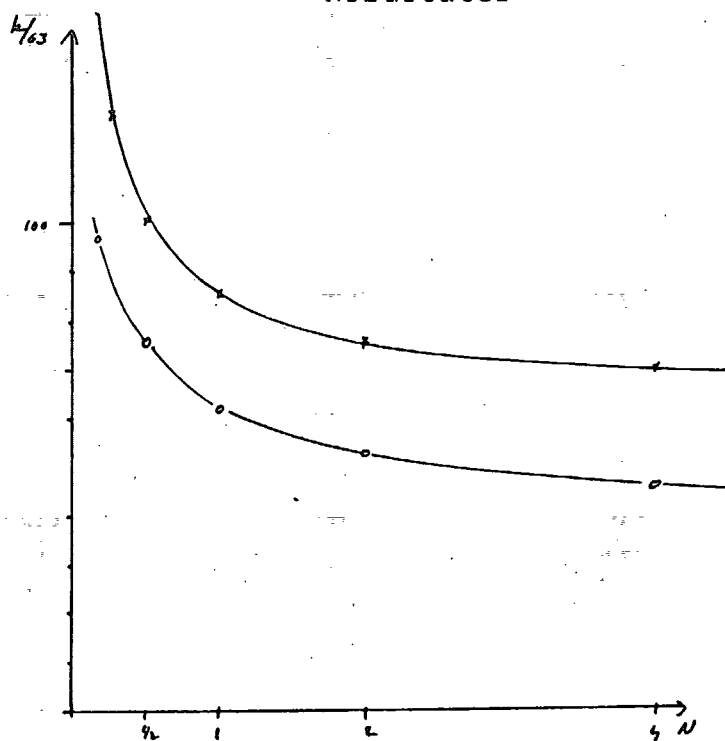
Diameteren stiger for begge systemer, når antallet af forbrugere hæves. Diameterene for de to systemer er næsten ens, omkring 15 cm, for små antal. Diameteren stiger kraftigt for KV-II-systemet, op til næsten 1 m for  $4 \cdot N$ . Kedelfyr-systemet når op på 70 cm.

Forbrugerpriserne falder naturligvis for stigende antal forbrugere. Det fremgår af figuren, at ændringerne er kraftige for små antal forbrugere og kurverne flader ud for store N.

### 4.5.3. Driftssituationer

De optimale temperaturer ændrer sig også for systemet, når længden af fjernvarmesystemet ændres. Generelt stiger fremløbstemperaturen med stigende længder, medens returtemperaturen falder, begge ved værk. Det skyldes det voksende varmetab.

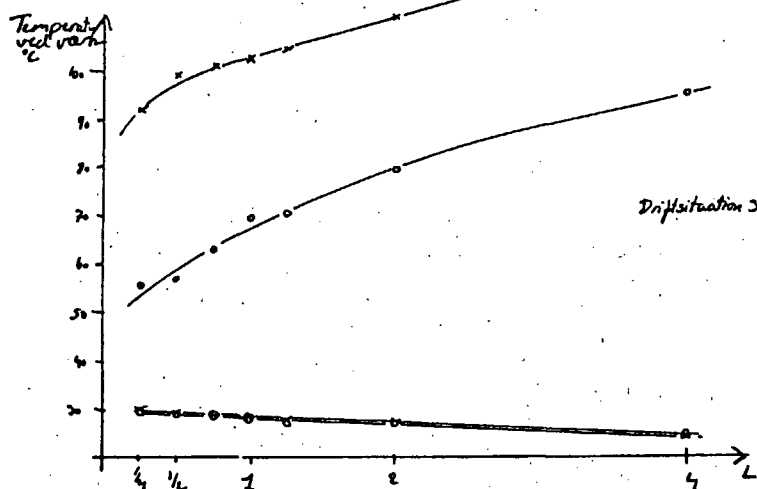
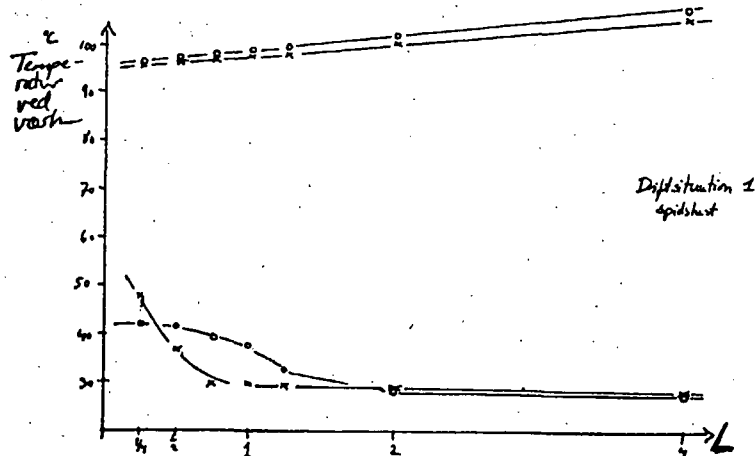
## Resultater



Øverst ses forbrugerprisens variation med antallet af forbrugere for model-Albertslund. 1 svarer til 916 TJ/år. Nederst ses diameteren og isoleringstykkelsen af rørene for varierende antal forbrugere. Begge for både kedel og KV-II.

Ser vi på spidsbelastningssituationen, kører både kedelfyret ('x'-erne) og KV-II ('o'-erne) ved meget høje temperaturer. De følges pænt ad for stigende længde. At KV-II ligger højst i temperatur skyldes, at det har valgt en større dimension af rørene for at kunne sænke driftstemperaturerne i de andre belastningssituationer. Returtemperaturerne ved værk opfører

## Resultater



Driftstemperaturer ved værk. Øverst ved spidslast, nederst ved mellemlast. De høje temperaturer er fremløb de lave returløb. Kurverne med 'x' markerer kedelfyr og 'o' KV-II-system.

sig lidt forskelligt for længder under  $1 \cdot L$  for de to systemer, men for store længder vælges næsten samme returtemperatur.

I den driftssituation, der ligner forår og efterår vælger KV-II-systemet en fremløbstemperatur, der er meget lavere end kedelfyrssystemet. Men de to fremløbstemperaturer udviser samme stigende tendens for voksende længder. Returtemperaturen falder lidt med voksende længder, og de to systemer vælger samme returtemperatur, svarende til  $T_{R,MIN}$  hos forbrugeren. En længere ledningslængde betyder større varmetab og dermed en større temperaturforskel mellem værk og forbruger. Dette ses af tabellen, hvor  $\Delta T = T_{FV} - T_F$  er optegnet for to forskellige netlængder.

Værktype:	kedelfyr	KV-II
%L	2	1-2
4·L	10-30	10-20

Det er kun for KV-II systemet at fremløbstemperaturen hos forbrugerne ændres, når ledningslængden ændres. Fremløbstemperaturen stiger for KV-II systemet er 10-20°C, når længden øges fra %L til 4·L. For et kraftvarmesystem betyder altså et lang ledningsnet en betydelig stigning i temperatur-niveauet.

#### 4.5.4. En god parameter? $\frac{Q}{L^2}$ !

Sammenligner man forbrugerpriserne for model-Albertslund og model-Nysted, ser man, at model-Nysted er den billigste. Her skal det gentages, at det, der kaldes forbrugerprisen, ikke er det, der normalt kaldes forbrugerprisen, da der i p, **ikke er medregnet udgifter til værket og drift og vedligeholdelse**. Til trods for at model-Nysted er billigst, er varmebehovet pr. længde fjernvarmerør også mindre end for model-Albertslund. Man skulle ellers forvente, at stort varmeforbrug i forhold til rørlængde ville give billigere varme. Derfor er der på de næste figurer optegnet niveaukurver for konstant pris i et  $Q (=N \cdot Q_{gn}) - L$  diagram.

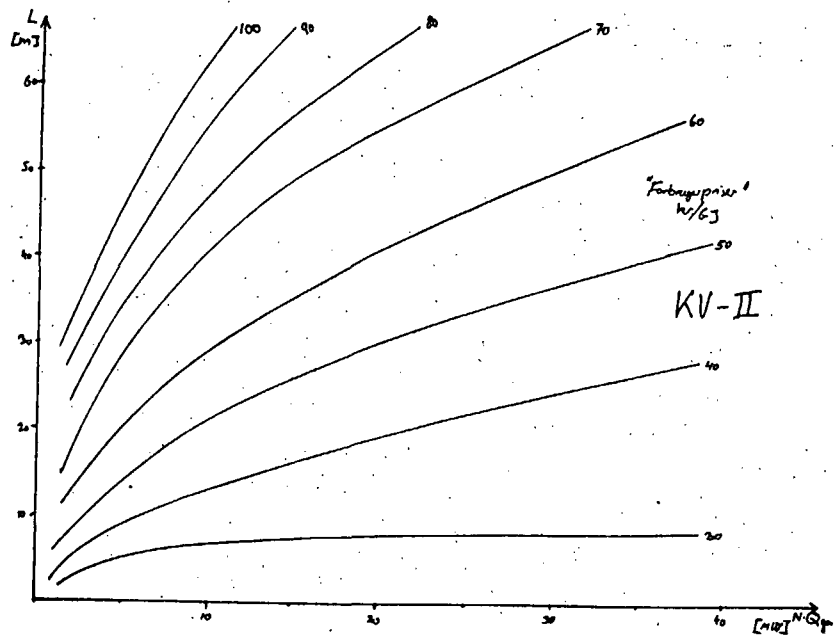
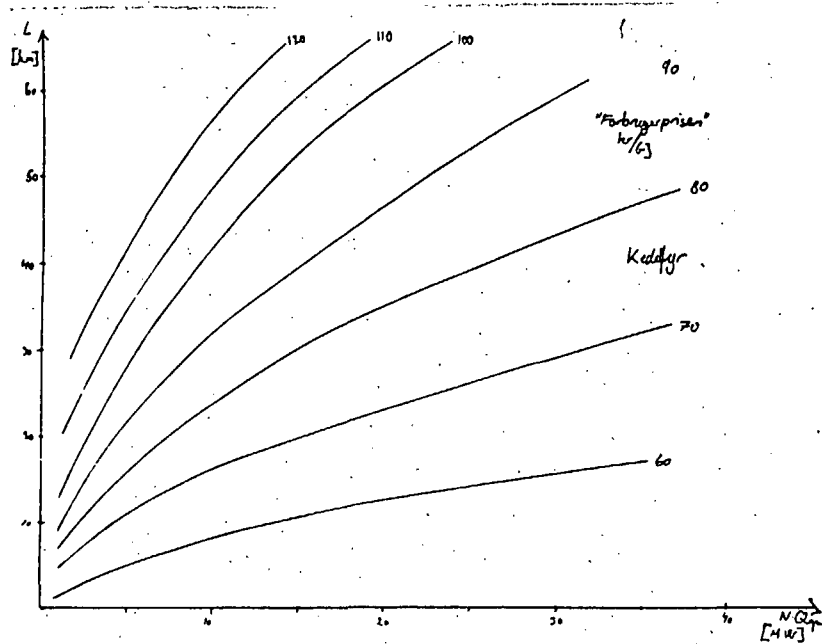
Optegnes disse kurver i et dobbelt-logaritmisk koordinatsystem, fremstår kurverne som rette linier. Det vil sige, at funktionssammenhængen for  $Q$  og  $L$  for konstant forbrugerpris er en potensfunktion. Og hældningen på niveaukurverne i det dobbeltlogaritmiske koordinatsystem er ret tæt på 0.5. Det betyder, at for konstant pris er funktionssammenhængen mellem  $Q$  og  $L$  givet ved  $Q = L^2$ . Det betyder, at  $Q/L^2$  er en god parameter til fastlæggelse af forbrugerprisen.

Derfor er den næste figur prisen som funktion af  $Q/L^2$ . Bemærk at x-aksen er med logaritmisk skala.

At  $Q/L^2$  faktisk er en god parameter fremgår af, at punkterne for værkerne lægger sig pænt om en kurve, selv om de er

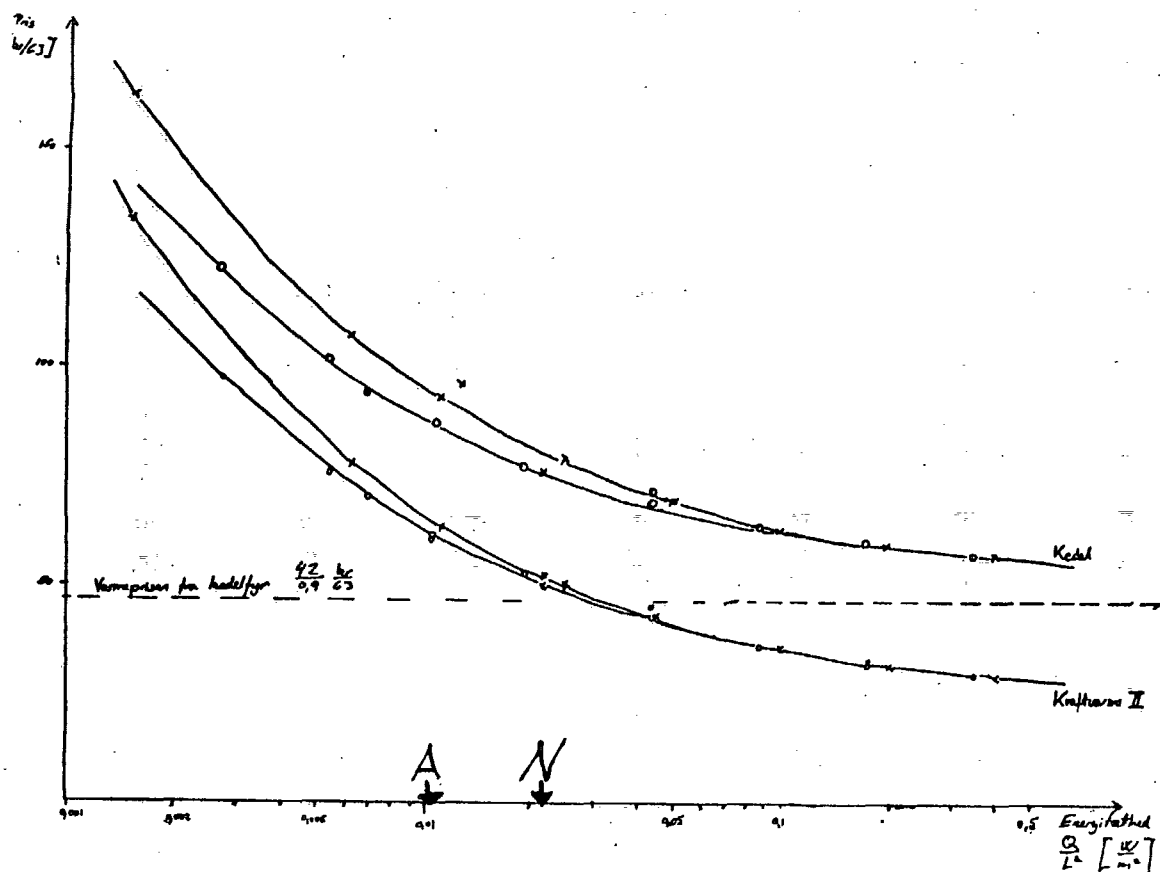


## Resultater



Niveaukurver for konstant forbrugerpris for kedelfyr øverst og KV-II nederst.

udregnet for meget forskellige  $Q$ 'er og  $L$ 'er. De punkter, der fremgår af figuren, stammer fra en scaling af model-Albertslund, markeret med 'o', og af model-Nysted, markeret med 'x'. At  $Q/L^2$  ikke er en perfekt parameter fremgår af, at model-Albertslund og model-Nysted scalingerne bevæger sig væk fra hinanden for små  $Q/L^2$ . Derfor spalter hver af kurverne op i to for små  $Q/L^2$ . Måske bør potensen på  $L$  ikke



Forbrugerprisens variation med  $Q/L^2$ . Det er kedelfyrets marginale varmeomkostning der er markeret med stiplet linie. Punkterne der er scalet fra model-Nysted er markeret med 'x' og med 'o' for model-Albertslund.

De to modelbyers placering er markeret med N og A.

være præcis 2, eller også er der ikke en sammenhæng, der er helt så enkel.

## 5. Konklusion

En maksimal afkøling hos forbrugerne er en forudsætning for et optimalt fjernvarmesystem. Derfor bør det sikres, at denne forudsætning er tilstede inden fjernvarmesystemet dimensioneres. For der er mange penge at spare for fjernvarmekunderne, når det lykkes at dimensionere og drive fjernvarmesystemet optimalt.

Der er store forskelle på, hvilke rørdimensioner der bør anvendes ved forskellige varmekædesprincipper. Rørens diameter bør være større ved kraftvarme, end ved kedelfyr. Men også forhold på elektricitetssiden spiller ind. Værdifastsættelsen af den producerede elektricitet kan flytte den optimale dimensionering. Det viser variationerne i den optimale diameter fra KV-I-systemets diameter på 42,5 cm for model-Albertslund, til KV-III-systemets diameter på 47,5 cm. I KV-I-systemet betragtes varmen som spildprodukt ved elektricitetsproduktionen, mens varmen er dyrere i KV-III-systemet. Kedelfyr-systemet vælger en diameter på 35 cm.

Da kraftvarme-systemerne generelt kører med lavere temperaturer end kedelfyr-systemet, vælges der mindre isoleringstykkelser for kraftvarme. Returrøret kan isoleres ganske tyndt og fremløbsrøret nogenlunde som præfabrikerede rør er i dag.

Der findes en god parameter for fjernvarmeprisen. Det er ikke, som man i første omgang kunne forledes til at tro, varmeforbruget divideret med fjernvarmesystemets længde, selv om investeringen i de dyre fjernvarmeledninger er proportionalt med længden af ledningen. Det er derimod varmeforbruget divideret med fjernvarmenettets længde i anden potens. Der er en rimelig entydig sammenhæng imellem prisen for fjernvarmenettet og dets drift og denne størrelse.

Resultaterne viser som her opsummeret en række tydelige

tendenser. En udplukning af konkrete forbrugerpriser for et givent sæt givne parametre kan dog ikke anbefales. For det første er det et meget forenklet system, der betragtes. For det andet er en række af de benyttede prisfunktioner blot eksempler på, hvordan sådanne ser ud. Ønsker man at præcisere forbrugerpriser, må de checkes grundigt. En tredje ting er valget af økonomiske konstanter i modellen. Renten og levetiden er som vist to parametre som resultatet af optimeringen er meget følsomt overfor. I hvertfald hvis de ikke vælges således, at renten bliver lavere eller levetiden længere, end de 7% og 15 år, vi har benyttet.

Tendensen i resultaterne er dog klar nok, også når disse forbehold tages i betragtning.

### 5.1. Forslag til forbedringer

Modellen kan forbedres på mange måder, alt efter hvilke aspekter af sagen man ønsker belyst. Ønsker man at præcisere resultaterne for forbrugerprisen, er det aspekter som stikledninger og dermed et mere realistisk system, valget af økonomiske konstanter og så naturligvis en inddragelse af udgifterne til værket, der må til.

En indpasning af modellen i et mere integreret energisystem er en anden vej. Her vil inddragelsen af elsidens, med spørgsmålet med prisfastsættelsen af elektriciteten være påkrævet. En prisfastsættelse der varierede med efterspørgslen på elektricitet, ville nok være rimelig. Systemtanken kunne også udvides til supplerende med vedvarende energikilder som sol og varmepumper fra lavtemperaturkilder, samt vindmøller. For både solvarme og varmepumper er varmeprisen afhængig af temperaturforhold i systemet.

En undersøgelse af systemernes robusthed overfor skift i prisstrukturerne i den usikre fremtid, ville også være spændende. En teknik til behandling af usikkerheder i økonomiske vurderinger, med brug af statistiske funktioner, ville her være en mulighed. (Ref: L.H. Nielsen 1983).

## Referencer

Bøhm, Benny og Jensen, Peter Tørslev:

*Energiøkonomisk drift af eksisterende fjernvarmenet*  
Fjernvarme 2 projektrapport. Energiministeriet og  
Teknologirådet .November 1981.

Dansk Ingeniørforening:

*Norm for fordelingsledninger til fjernvarme*  
Teknisk forlag, København .Juli 1982.

Danske Fjernvarmeværkers Forening:

*Statistik 1982, 24. årgang*

Den regionale arbejdsgruppe for varmeplanlægning  
i Storstrøms Amtskommune:

*Byundersøgelse. Pilotprojekt vedrørende videre-  
førelsen af den generelle varmeplanlægning*  
Juni 1983.

ELKRAFT (1980):

*Enhedspriser til brug for planlægning af fjern-  
varmedistributionsnet. Prisbasis 1.4.1980.*  
EK-kraftvarmegruppen. September 1980.

ELKRAFT (1983):

*EK's regler for afregning af elektrisk effekt  
og energi med deltagerne* 1. Januar 1983.

Energiministeriet:

Varmeplanudvalg:

*Retningslinier for samfundsøkonomisk  
analyse af energiprojekter.*

Bilag til tredje delbetænkning fra  
Energiministeriets varmeplanudvalg:  
Vedvarende energi, elvarme m.v. i  
varmeforsyningsplanlægningen. April 1980.

Falbe-Hansen, Ture, Østergaard, Vibeké og Johnsen, Søren:

*Anvendelse af samfundsøkonomisk samt lokal- og  
regionaløkonomiske konsekvensvurderinger i varme-*

*planlægningen* Økonomisk Institut, KU, 1984.

Forsuringsudvalget:

*Miljø og energi* Miljøministeriet, 1984.

Frederiksen, Svend:

*A Thermodynamic Analysis of District Heating*  
Akademisk afhandling til teknisk doktoreksamen.  
Institutionen för Värme och kraftteknik.  
Tekniska Högskolan, Lund, 1982

Hallgren, Lars, Paulsen, Otto og Steensen, Peter:

*Lavtemperatursystemer* Teknologisk Institut,  
Varmeteknik, Marts 1980.

Illum, Klaus:

*Kraftvarmesystemer. Et analytisk bidrag til den  
politiske energiteknologi*  
Aalborg Universitetsforlag, 1981.

Jøhansen, Jørn og Hadvig, Sven:

*Økonomisk dimensionering af fjernvarmeledninger*  
Polyteknisk forlag, 1975.

Johansen, Leif:

"Kalkulasjonsrenten. Om dens funksjon, og om  
kriterier for fastsettelse av dens verdi"  
*Statsøkonomisk Tidsskrift* 1978.

Lillethorup, Bjarne:

*Aspekter ved Kraftvarmeforsyning -  
eksempel på effektiv energiplanlægning*  
Specialearbejde ved IMFUFA, Roskilde Universitets-  
Center, August 1984.

I.C. Møller:

*Manual og prisliste* 15. februar 1984.

Nielsen, Lars Henrik, 1981:

*En model for fælles solvarmesystemer tilknyttet*

## Referencer

*et fjernvarmeområde* Specialeopgave i fysik,  
Niels Bohr Instituttet. 1981.

Nielsen, Lars Henrik, 1983:

*Model til behandling af usikkerheder i  
økonomisk vurdering af energiteknologier*  
Forsøgsanlæg Risø 1983

Norstrand, Rolf:

"Beskæftigelses- og betalingsbalancehensyn ved  
projektvurdering" *Juristen og Økonomen*.  
November 1979.

Orchard, W.R.H. og Robinson, P.J.:

"Optimization of Combined Heat and Power through  
Use of Heat Exchangers" *Papers from the Second  
International Total Energy Congress*  
København, oktober 1979.

Rosbach, Niels:

"Low Temperature District Heating - A Gradual  
Approach" *Papers from the Second International  
Total Energy Congress* København, oktober 1979.

Sandholt, Kaare:

*Elementer af lokal energiplanlægning, med særlig  
henblik på kollektive systemer* Eksamensopgave  
ved Fysisk Laboratorium III, Danmarks Tekniske  
Højskole. Januar 1981.

Sørensen, Bent:

*Renewable Energy* Academic Press. 1979.

"Temanummer om drivhuseffekten og forsuring"

*Naturens Verden*, 3. 1984.

*Thor Radiator:*

Informationsmappe Herlev, 1984.

*Tietjens, O.G.:*

Applied Hydro- and Aeromechanics Based on  
Lectures of L. Prandtl. New York, 1934.



# Appendix

## EKSEMPEL PÅ PROGRAMUDSKRIFT - OPTIMERING AF MODEL-ALBERTSLUND MED KV-II

Fjernvarmsoptimering

Programniveau ABS8  
Oversat 21. juli 84

De opgivne værdier

Antal huse	Energiforbrug pr. hus	Afstanden værk-hus	Radiatortype 1)	Værkttype 2)	TFmin	TRmin
2400.	12100. Watt	52000. Meter	1	4	55 C	30 C

1) Radiatortype 1 er Thorradiator P 545-2  
2 er Thorradiator KP 545-2  
2) Værkttype 1 er kraftvarmeværk  
2 er varmepumpeanlæg  
3 er ledelign  
4 er kraftvarmeværk med delt kraftvarmefordel  
5 er kraftvarmeværk med kraftvarmefordel til elsiden

De benyttede konstanter

cvand	rovand	visk	*lambda	tjord	alfa	*enprp	enprel	enprbr	*ltid	kalre	tOvp
4190.	978.	404-003*	.027	8.	2.060*	.850	105.000	42.000*	15.	.070	10.0
J/kg.grad	kg/m3	kg/m/s	*W/m.grad	grad	kW/m2	*kr/W	kr/GJ	kr/GJ	*aar		grad
Effektiviteter: effp efflv effvfp efflf											
75 40 60 50											

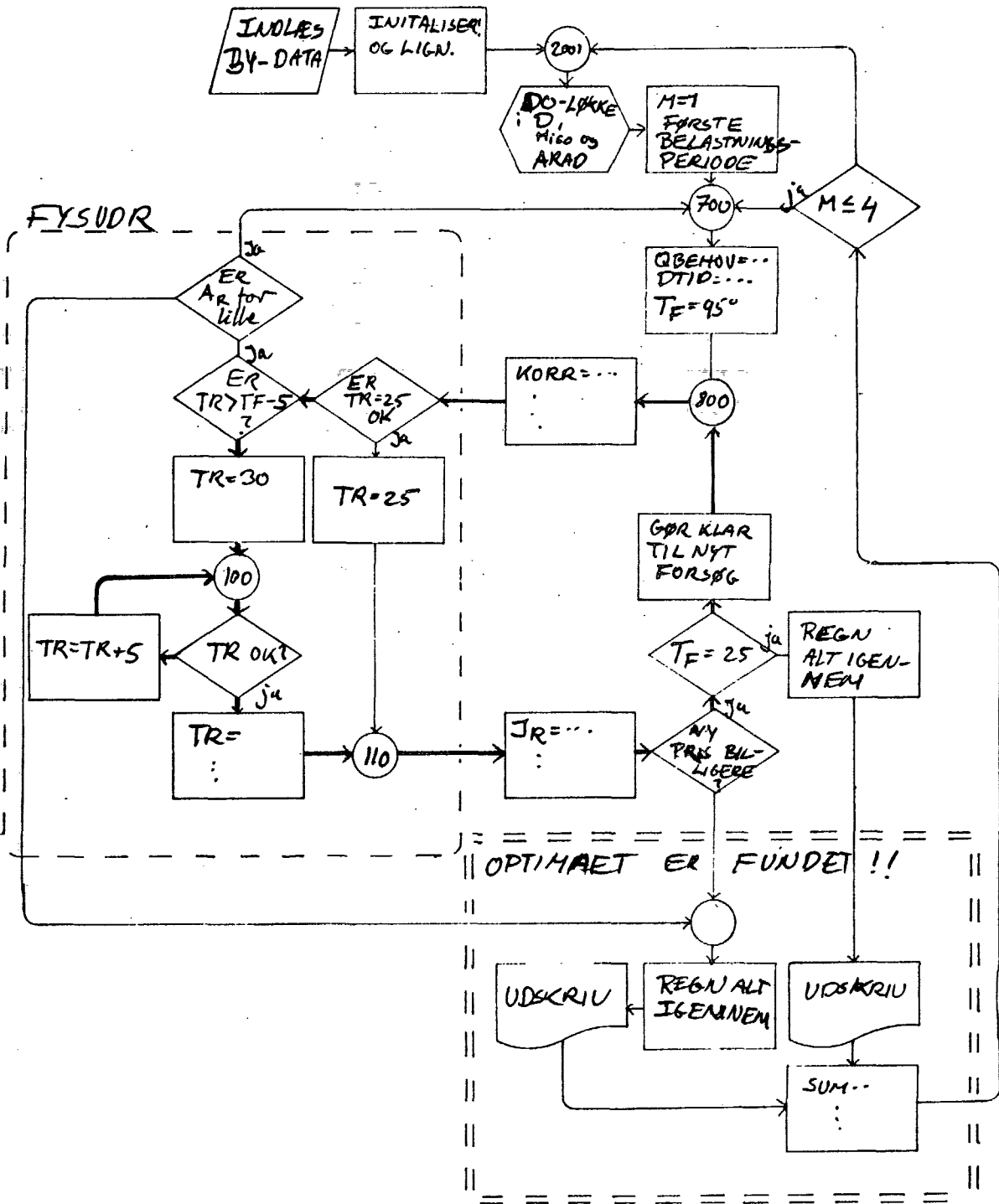
TF	TR	DIA	*HISO	TFV	TRV	*VHAST	ARAD	QIALT*	*WPUMPE	QTABFJ	PRFJ	*PRRAD	PRP	PRPEFF	*PRG	PVAR	FORBRUGERPRIS
C	C	m	m	C	C	m/s	m2	kW	kW	kW	Mkr	*Mkr	Mkr	Mkr	*Mkr	Mkr	kr/GJ
95.	39.	.450*	.030	98.9	37.3*	2.48	29.0	92924.	*6407.	8380.	203.708*	39.811	14.521	2.353*	8.179	10.531	54.02
70.	30.	.450*	.030	73.8	28.7*	1.81	29.0	50635.	*2551.	6008.	203.708*	39.811	14.521	10.774*	36.220	46.995	52.06
65.	30.	.450*	.030	69.4	28.4*	1.45	29.0	37420.	*1333.	5665.	203.708*	39.811	14.521	30.600*	135.971	166.571	57.86
55.	30.	.450*	.030	61.5	27.3*	.83	29.0	18315.	*264.	4991.	203.708*	39.811	14.521	3.343*	31.994	35.336	94.85
PANL: 258.040 PVAR: 259.434 PSUM: 517.474 62.04																	
DIA= .425 .300 finhed= .025 HISO= .027 .035 finhed= .003 ARAD= 27.00.31.00 finhed= 1.00																	

STOP ikke flere data  
END PROGRAM EXECUTION  
DATA IGNORED - IN CONTROL MODE

### KØRSELSELEMENT

```
LILLETHORUP*OPTIMERING(1).RUN16(0)
1 @RUN BBBB, LILLETHORUP, 1.40
2 @ASC, AX OPTIMERING.
3 @PRT, S OPTIMERING.RUN16
4 @FTN, SC
5 @ADD OPTIMERING.OPTIMA
6 @ADD OPTIMERING.FYSKON
7 @ADD OPTIMERING.FYSUDR
8 @ADD OPTIMERING.UDSKR
9 @ADD OPTIMERING.PRIS
10 @ADD OPTIMERING.PRISAN
11 @EOF
12 12100., 52000., 2400., 1, 4, 55, 30
13 .400., 025, 4., 0250., 0025, 4, 26., 1., 5
14 SLUT
15 PRUT
```

# OPTIMA



1. Dette element hedder OPTIMA, og er det startende programelement.

```

2. REAL L, N, PRTO(4)
3. INTEGER RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
4. LOGICAL SKRIV
5. COMMON /DIMP/ QBEOV, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
6. COMMON /VARKUR/G(4), DELTID(4), GGN
7. COMMON /GAET/ TF, TR, DIA, HISO
8. COMMON /TID/DTID
9. COMMON /RESULT/ARAD, QTABFJ, TFV, TRV, WPUMPE, WPMAX
10. COMMON /PRIS/PRFJ, PRRAD, PRP, PRPEFF, PRQ, PVAR, GIALT, PANL
11. COMMON /PRISKO/ ENPRP, ENPRR, ENPREL, ENPRBR, LTID, KALRE,
12. & EFPF, EFPV, EFFK, TOVP, ANNFAK
13. COMMON /FLAG/ IFLAG
14. 500 FORMAT(2(17X, '*'), 16X, '*', 21X, '*', 23X, '*'
15. & /56X, 'PANL:', F9.3, 10X, 'PVAR:', F9.3,
16. & 7X, 'PSUM:', F9.3, 5X, 'F6.2/63X, 7( '='), 17X, 7( '='),
17. & 14X, 7( '='), 2(2(17X, '*'), 16X, '*', 21X, '*', 23X, '*'))
18. 510 FORMAT(' DIA=', F5.3, ', F5.3, ', finhed=', F5.3,
19. & ' HISO=', F5.3, ', F5.3, ', finhed=', F5.3,
20. & ' ARAD=', F5.2, ', F5.2, ', finhed=', F5.2)
21. 88 IFLAG=-99

```

I dette hovedprogram kaldes alle underprogrammerne som saa skal lave det tunge arbejde.

Foerst kommer der en listing af de variable, der benyttes i programmet.

```

32. RADTYP: bestemmer hvilken type radiator der vælges
33. 1: p2-545
34. 2: kp2-545
35. ANLAEG: bestemmer hvilken varmekilde der benyttes
36. 1: kraftvarmeanlaeg
37. 2: varmepumpe
38. 3: kedelfyr (fyret med naturgas)
39. 4: kraftvarmeanlaeg med delt kraftvarmefordel
40. 5: kraftvarmeanlaeg med kraftvarmefordel til flsiden
41. IFLAG Styreparameter til udskrift rutine
42. L: laengden af fjernvarmenettet (m)
43. N: antal husstande
44. PFORBR: forbrugerprisen, baede variabel og fast (kr/J)
45. QBEOV: de enkelte husstandes varmebehov (W)

```

Hvilke parametre skal der arbejdes med?

```

50. READ(5, *, ERR=87)GGN, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN

```

```

51. PMIN=1000.
52. SKRIV= .FALSE.
53. IMIN=TFMIN/5-4
54. JMIN=TRMIN/5-4

```

Vi skal i vores beregninger benytte en del forskellige fysiske konstanter, som saa vil vaere tilgaengelige i common-blokken FYSKON. Derfor kalder vi foerst et underprogram af samme navn

```

62. CALL FYSKON

```

Saa langt saa godt. Det naeste er at faa gaettet paa de resterende parametre.

```

63. READ(5, *, ERR=88)DIAMIN, DSKR, ND, HISOMI, HSKR, NH, ARADMI, ASKR, NA
64. DO 2001 NND=1, ND
65. DO 2001 NNH=1, NH
66. DO 2001 NNA=1, NA
67. DIA=DIAMIN+NND*DSKR
68. HISO=HISOMI+NNH*HSKR
69. ARAD=ARADMI+NNA*ASKR

```

```

70. 103 PSUM=0.
71. M=1
72. 700 QBEOV=G(M)*GGN
73. DTID=DELTID(M)
74. PR1=1. E30
75. I=15
76. 800 TF=I*5 +20
77. CALL FYSUDR($2001, $96)
78. CALL PRIS
79. IF(M.EQ.1) THEN
80. CALL PRISAN
81. PR2=PVAR+PANL
82. ELSE
83. PR2=PVAR
84. ENDIF
85. IF(PR2.LE.PR1)THEN
86. IF(I.EQ.IMIN)THEN
87. PRTO(M)=PR2
88. IF(SKRIV) CALL UDSKR
89. ELSE
90. PR1=PR2
91. I=I-1
92. GO TO 800
93. ENDIF
94. ELSE
95. TF=(I+1)*5 +20
96. CALL FYSUDR($2001, $97)
97. IF(M.EQ.1) CALL PRISAN
98. CALL PRIS
99. IF(SKRIV) CALL UDSKR
100. IF(M.EQ.1)THEN
101. PRTO(1)=PVAR+PANL
102. ELSE
103. PRTO(M)=PVAR
104. ENDIF

```

```

105. ENDIF
106. PSUM=PSUM+PRTO(M)
107. M=M+1
108. IF(M.LE.4) GO TO 700
109. PVAR=PSUM-PANL
110. PFORBR=PSUM/(ANNFAK*N*GGN*3.1536E7)
111. IF(PFORBR.LT.PMIN)THEN
112. PMIN=PFORBR
113. DIAM=DIA
114. HISOM=HISO
115. ARADM=ARAD
116. ENDIF
117. 2001 CONTINUE
118. DIA=DIAM

```

```

125. HISO=HISOM
126. ARAD=ARADM
127. IF(.NOT.SKRIV)THEN
128.   SKRIV=.TRUE.
129.   GO TO 103
130. ENDF
131. WRITE(6,500) PAVL/1.E6, PVAR/1.E6, PSUM/1.E6, PFORBR*1.E9
132. WRITE(6,510) DIAMIN+DSKR, DIAMIN+ND*DSKR, DSKR,
133. & HISOMI+HSKR, HISOMI+NH*HSKR, HSKR,
134. & ARADMI+ASKR, ARADMI+NA*ASKR, ASKR
135.
136.
137. GOTO 88
138. 87 STOP 'ikke flere data'
139. 97 PRINT*, 'Vi kommer ud af kaldet af fysudr i en RETURN 2'
140. END

```

```

141. SUBROUTINE FYSKON
142. COMMON /DIMPAR/ GBEHOV, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
143. COMMON /VARKUR/ G(4), DELTID(4), GCN
144. COMMON /FYSKON/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD, K, ALFA, ZMODST
145. COMMON /PRISKO/ ENPRP, ENPRR1, ENPRR2, ENPREL, ENPRBR, LTID, KALRE,
146. & EFFP, EFFKV, EFFVP, EFFKF, TOVP, ANNFAK
147. REAL LAMBDA, K(15,15), LTID, KALRE, L, N
148. INTEGER RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN

```

I dette delprogram indlaegges de fysiske konstanter der skal bruges til beregningerne.

Foerst kommer der en listing af de variable, der benyttes i programmet.

```

149.
150.
151.
152.
153.
154.
155.
156.
157.
158. CVAND: vands varmfylde (J/kg.grad)
159. K: korrektionsfaktor, naar der benyttes andre temperaturer
160.   og standardtemperaturer
161. LAMBDA: fjernvarmeroerens isoleringsparameter (J/grad m)
162. ROVAND: vands massefylde (kg/m3)
163. TJORD: jordens temperatur (grad)
164. VISKO: vands viskositet
165.
166. ENPRP: enhedspris for pumpe (kr/W)
167. ENPRR1: enhedspris for radiator p2-545 (kr/m2)
168. ENPRR2: enhedspris for radiator kp2-545 (kr/m2)
169. ENPREL: elpris (kr/J)
170. ENPRBR: braendselspris (kr/J)
171. LTID: levetid for hele anlaegget (aar)
172. KALRE: kalkulationsrente
173. EFFP: pumpens effektivitet
174. EFFKV: kraeftvarmevaerkets elproduktionseffektivitet
175. EFFVP: varmpumpens effektivitet
176. EFFKF: kedelrets effektivitet
177. TOVP: varmpumpens kolde sides temperatur
178.
179.

```

Herunder er blandt andet K angivet. Den er skrevet op som en nedre trekant-matrix uden diagonal. Tallene aflaeses som foelger:

Giv linierne numre saaledes at den foerste linie faar nummer 2 (det der hedder '12.40' - den foerste med et &-tegn), den naeste nummer 3 osv. Tallene pa linien nummeres saaledes at det forste er nummer 1, det naeste 2 osv. Nu modsvarer linie nummeret en fremloebstemperatur, og talnummeret en returloebstemperatur. Omsaetningen fra et nummer til en temperatur i grader celsius er:

$$T = (\text{nummer} + 4) * 5$$

Omvendt er det naturligvis ogsaa muligt at finde det relevante nummer, naar temperaturen kendes, igen i grader celsius:

$$\text{nummer} = (T/5) - 4$$

```

200. DATA CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
201. & /4190., 977.8, 404E-3, 027.8, /
202. DATA ((K(J, I), I=1, J-1), J=2, 15)
203. & /12.40,
204. & 10.37, 7.37,
205. & 8.5, 6.17, 4.93,
206. & 6.59, 5.19, 4.19, 3.56,
207. & 5.64, 4.49, 3.65, 3.12, 2.74,
208. & 5., 3.96, 3.24, 2.78, 2.46, 2.21,
209. & 4.4, 3.55, 2.91, 2.51, 2.23, 2.01, 1.84,
210. & 4.01, 3.21, 2.65, 2.29, 2.04, 1.84, 1.69, 1.56,
211. & 3.64, 2.94, 2.44, 2.11, 1.88, 1.7, 1.56, 1.45, 1.35,
212. & 3.31, 2.71, 2.25, 1.96, 1.75, 1.59, 1.46, 1.35, 1.26, 1.19,
213. & 2.9, 2.5, 2.1, 1.83, 1.63, 1.49, 1.37, 1.27, 1.19, 1.12, 1.07,
214. & 2.60, 2.25, 1.95, 1.71, 1.53, 1.4, 1.29, 1.2, 1.12, 1.06, 1.02, 1.00,
215. & 2.36, 2.06, 1.82, 1.61, 1.45, 1.32, 1.22, 1.13, 1.06, 1.00, 93., 93., 92,
216. & 2.16, 1.91, 1.7, 1.53, 1.39, 1.25, 1.16, 1.06, 1., 94., 9., 86., 83., 81/

```

```

217. DATA ENPRP, ENPRR1, ENPRR2, ENPREL, ENPRBR, LTID, KALRE, EFFP, EFFKV,
218. & EFFVP, EFFKF, TOVP, ZMODST /0.85, 572., 827., 105.E-9, 42.E-9, 15.,
219. & 0.07, 0.75, 0.40, 0.60, 0.90, 10., 0.03/
220. DATA G, DELTID/3.1319, 1.6246, 1.1394, 0.4679, 288000., 3312000.
221. & 18000000., 9936000./

```

ANNFAK=(1. - (1. +KALRE)\*\*(-LTID))/KALRE

```

222.
223. IF(RADTYP.EQ.1)THEN
224.   ALFA=2.06
225.   ENPRR=ENPRR1
226. ELSE IF(RADTYP.EQ.2)THEN
227.   ALFA=3.27
228.   ENPRR=ENPRR2
229. ELSE
230.   STOP 'FEJL I INDLAESNING AF RADTYP'
231. ENDF

```

```

232. RETURN
233. END
234.

```

```

235. SUBROUTINE FYSUDR(.,.)
236. COMMON /DIPAR/QBEHOV, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFIN, TRMIN
237. COMMON /GAET/ TF, TR, DIA, HISO
238. COMMON /PRIS/ PRFJ, PRRAD, PRP, PRPEFF, PRG, PVAR, GIALT, PANL
239. COMMON /FYSKON/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD, K, ALFA, ZMDDST
240. COMMON /RESULT/ ARAD, QTABFJ, TFV, TRV, WPUMPE, WPMAX
241. COMMON /MELLEM/ VHAFT, JRAD, KVALF
242. COMMON /FLAG/ IFLAG
243. REAL LAMBDA, L, K(15,15), KORR, N, JRAD, JFJ, KVALF
244. INTEGER RADTYP, ANLAEG, TFIN, TRMIN
245. 220 FORMAT(2X, 'TF', TR, DIA, 'HISO', TFV, TRV, 'VHAFT', ARAD, GIALT, ' ',
246. & 'WPUMPE', QTABFJ, PRFJ, 'PRRAD', PRP, PRPEFF, 'PRG', PVAR, ' ',
247. & 'FORBRUGERPRIS')
248. & 'C', C, 'm', 'm', C, C, 'm/s', 'm2', 'kW', 'kW', 'kW',
249. & '2(17x, '*'), '16x, '*'), '21x, '*'), '23x, '*')
250.
251.
252. I dette delprogram udregnes de fysiske parametre,
253. der kendetegner systemet.
254.
255.
256.
257. Forst kommer der en listing af de variable, der
258. benyttes i programmet.
259.
260. ALFA: forholdet mellem radiators varmeafgivelse og areal (kW/m2)
261. ARAD: arealet af et hus radiatorer (m2)
262. CVAND: vands varmekapacitet (J/kg.grad)
263. DIA: fjernvarmeroerernes diameter (mm)
264. HISO: fjernvarmeroerernes isoleringstykkelse (mm)
265. JFJ: Det samlede vandflow gennem de N huse (m3/s)
266. JRAD: vandflowet gennem radiatorerne i et hus (m3/s)
267. K: korrektionsfaktor, naar der benyttes andre temperaturer
268. end standardtemperaturer
269. KVALF: k-værdien for isoleringen paa fremloebstroererne (W/m3)
270. L: laengden af fjernvarmenettet (m)
271. LAMBDA: fjernvarmeroerernes isoleringsparameter (W/m grad)
272. N: antal husstande
273. QBEHOV: de enkelte husstandes varmebehov (W)
274. ROVAND: vands massefylde (kg/m3)
275. TF: fremloebstemperaturen til radiatorerne (grad celsius)
276. TFV: fremloebstemperaturen ved vaerk (grad celsius)
277. TJORD: jordens temperatur (grad celsius)
278. TR: returtemperaturen fra radiatorerne (grad celsius)
279. TRV: returtemperaturen ved vaerk (grad celsius)
280. VHAFT: Vandhastigheden i fjernvarmeroererne (m/s)
281. VISKO: vands viskositet (kg/m/s)
282.
283.
284.
285.
286.
287.
288.
289.
290.
291.
292.
293.
294.
295.
296.
297.
298.
299.
300.
301.
302.
303.
304.
305.
306.
307.
308.
309.
310.
311.
312.
313.
314.
315.
316.
317.
318.
319.
320.
321.
322.
323.
324.
325.
326.
327.
328.
329.
330.
331.
332.
333.
334.
335.
336.
337.
338.
339.
340.
341.
342.
343.
344.
345.
346.
347.
348.
349.
350.
351.
352.
353.
354.
355.

```

I dette delprogram udregnes de fysiske parametre, der kendetegner systemet.

Forst kommer der en listing af de variable, der benyttes i programmet.

ALFA: forholdet mellem radiators varmeafgivelse og areal (kW/m2)

ARAD: arealet af et hus radiatorer (m2)

CVAND: vands varmekapacitet (J/kg.grad)

DIA: fjernvarmeroerernes diameter (mm)

HISO: fjernvarmeroerernes isoleringstykkelse (mm)

JFJ: Det samlede vandflow gennem de N huse (m3/s)

JRAD: vandflowet gennem radiatorerne i et hus (m3/s)

K: korrektionsfaktor, naar der benyttes andre temperaturer end standardtemperaturer

KVALF: k-værdien for isoleringen paa fremloebstroererne (W/m3)

L: laengden af fjernvarmenettet (m)

LAMBDA: fjernvarmeroerernes isoleringsparameter (W/m grad)

N: antal husstande

QBEHOV: de enkelte husstandes varmebehov (W)

ROVAND: vands massefylde (kg/m3)

TF: fremloebstemperaturen til radiatorerne (grad celsius)

TFV: fremloebstemperaturen ved vaerk (grad celsius)

TJORD: jordens temperatur (grad celsius)

TR: returtemperaturen fra radiatorerne (grad celsius)

TRV: returtemperaturen ved vaerk (grad celsius)

VHAFT: Vandhastigheden i fjernvarmeroererne (m/s)

VISKO: vands viskositet (kg/m/s)

Bestemmelse af returtemperaturen ved radiator

```

KORR=ARAD/QBEHOV*ALFA*1000.
I=INT(TF/5)-4
JMIN=TRMIN/5-4
IF(K(I, JMIN).LT. KORR) THEN
  TR=FLOAT(TRMIN)
  GO TO 110
ENDIF
IF(K(I, I-1).GT. KORR) THEN
  IF(I.EQ.15) THEN

```

```

IF (IFLAG.GE.59) THEN
  PRINT 220
  PRINT 220
  IFLAG=3
ENDIF
PRINT*, 'radiatorarealet', ARAD, 'er for lille'
PRINT*
IFLAG=IFLAG+2
RETURN 1
ELSE
  RETURN 2
ENDIF

```

```

CONTINUE
IF(K(I, J).LT. KORR) THEN
  TR1=(J-1)*5.+20.
  DKORR=(K(I, J-1)-KORR)/(K(I, J-1)-K(I, J))
  TR=TR1+DKORR*5.
ELSE
  J=J+1
  GO TO 100
ENDIF

```

vandgennemstroemningen i radiatoren, JRAD, og i fjernvarmeroererne, JFJ, bestemmes

```

110 JRAD=QBEHOV/CVAND/ROVAND/(TF-TR)
JFJ=N*JRAD

```

fjernvarmenettets kvaerdi bestemmes, forskellig for fremloeb og returloeb

```

KVALF=2. *3. 1416*LAMBDA/ALOG(1. +2. *HISO/DIA)

```

temperatur ved vaerk bestemmes

```

TFV=TJORD+(TF-TJORD)*EXP(KVALF*L/JFJ/CVAND/ROVAND)
TRV=TJORD+(TR-TJORD)*EXP(-(KVALF*L/JFJ/CVAND/ROVAND))

```

varmetabet fra fjernvarmenettet bestemmes

```

QTABF=(TFV-TF)*JFJ*CVAND*ROVAND
QTABR=(TR-TRV)*JFJ*CVAND*ROVAND
QTABFJ=QTABF+QTABR

```

vandets hastighed i fjernvarmeroererne og den noedvendige pumpeeffekt bestemmes

```

VHAFT=JFJ/3. 1416/DIA**2*4.
WPUMP1=(0. 0028+0. 25/((JFJ*ROVAND/. 7854/VISKO/DIA)**0. 32))
& *JFJ**3/0. 6169/DIA**5*ROVAND*L*2.
WPUMP2=8. /3. 1415**2*ROVAND*ZMDDST*JFJ**3/DIA**4*L*2.
WPUMPE=WPUMP1+WPUMP2
RETURN
END

```

```

356 SUBROUTINE UDSKR
357 COMMON /DIMP/ARAD, GBEHOV, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
358 COMMON /CAET/ TF, TR, DIA, HISD
359 COMMON /RESULT/ ARAD, GTABFJ, TFV, TRV, WPUMPE, WPMAX
360 COMMON /MELLE/ VHAST, JRAD, KVALF
361 COMMON /VSKDN/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD, K, ALFA, ZMODST
362 COMMON /PRIS/ PRF, PRRAD, PRP, PRPEFF, PRG, PVAR, GIALT, PANL
363 COMMON /PRISKO/ ENPRP, ENPRR, ENPREL, ENPRBR, LTID, KALRE,
364 & EFFP, EFFKV, EFFFVP, EFFKF, TOVP, ANNFAK
365 COMMON /TID/ DTID
366 COMMON /VARKUR/ Q(4), DELTID(4), GGN
367 COMMON /FLAG/ IFLAG
368 REAL N, L, JRAD, KVALF, K(15, 15), LAMBDA, LTID, KALRE
369 INTEGER RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
370 100 FORMAT(1H1, 2(/, 1H0), 1BX, 'Fjernvarmeoptimering'//1H+, 1BX,
371 & 'Fjernvarmeoptimering'//BOX, 'Programniveau ABSB'//
372 & BOX, 'Oversat 21. juli 84'//)
373 200 FORMAT(2X, 'De opgivne vaerdier'//2X, 125(' ')/
374 & 2X, '1', 14X, '1', 25X, '1', 21X, '1', 19X, '1', 16X, '1', 11X, '1', 11X, '1'//
375 & 2X, '1', 2X, 'Antal huse', 2X, '1', 2X, 'Energiforbrug pr. hus',
376 & 2X, '1', 1X, 'Afstanden vaerk-hus', 1X, '1', 2X, 'Radiortype 1'//
377 & 2X, '1', 2X, 'Vaerktype 2', 2X, '1',
378 & 'TFmin', 4X, '1', 'TRmin', 4X, '1'//
379 & 2X, '1', 14X, '1', 25X, '1', 21X, '1', 19X, '1', 16X, '1', 11X, '1', 11X, '1'//
380 & 2X, '1', 4X, 'F9. 0. 5X, '1', 4X, 'F8. 0. 2X, 'Watt', 7X, '1',
381 & 4X, 'F8. 0. 2X, 'Meter', 2X, '1', 4X, '12. 13X, '1', 4X,
382 & 12, 10X, '1', 2X, '13. C', 4X, '1', 2X, '13. C', 4X, '1'//
383 & 2X, '1', 14X, '1', 25X, '1', 21X, '1', 19X, '1', 16X, '1', 11X, '1', 11X, '1'//
384 & 2X, 125(' ')/
385 & 40X, '1) Radiortype 1 er Thorradiator P 545-2'//
386 & 56X, '2 er Thorradiator KP 545-2'//
387 & 40X, '2) Vaerktype 1 er kraftvarmevaerk'//
388 & 53X, '2 er varmepumpeanlaeg'//
389 & 53X, '3 er kedelfyr'//
390 & 53X, '4 er kraftvarmevaerk med delt kraftvarmefordel'//
391 & 53X, '5 er kraftvarmevaerk med kraftvarmefordel til elsiden'//)
392 210 FORMAT(2X, 'De benyttede konstanter'//2X, 100(' ')/2X, '1', 98X, '1'//
393 & 2X, '1', 2X, 'cvand rovand visko *lambda tjord alfa *',
394 & 'enprp enprel enprbr *ltid kalre *toup', 5X, '1', 2X, '1',
395 & 2X, 'F5. 0. F11. 0. E9. 3. *', 'F6. 3. F7. 0. F9. 3. *', 'F6. 3. 2F9. 3. *',
396 & 'F4. 0. F7. 3. F6. 1. 5X, '1', 2X, '1',
397 & 2X, 'J/kg. grad kg/m3 kg/m/s *W/m. grad grad kW/m2 *',
398 & 'kr/W kr/GJ kr/GJ', 4X, '* aar', 9X, 'grad', 5X, '1', 2X, '1', 98X, '1'//
399 & '1', 2X, '1 Effektiviteter: effp effkv efffvp effkf', 56X, '1'//
400 & 2X, '1', 12X, '4F7. 2. 58X, '1', 2X, '1', 98X, '1', 2X, 100(' ')/)
401 220 FORMAT(2X, 'TF TR DIA *HISD TFV TRV *VHAST ARAD GIALT*',
402 & 'WPUMPE GTABFJ PRFJ *PRRAD PRP PRPEFF *PRG PVAR',
403 & 'FORBRUGERPRIS'//
404 & ' C C m * m C C * m/s m2 kW * kW
405 & ' Mkr * Mkr * Mkr Mkr * Mkr Mkr * 9X, 'kr/GJ'//
406 & 3(17X, '*'), 21X, '*', 23X, '*')
407 230 FORMAT(2X, 'F4. 0. F9. 0. F6. 3. *', 'F9. 3. 2(F6. 1). *',
408 & 'F9. 2. F6. 2. F6. 0. *',
409 & 'F6. 0. F7. 0. F8. 3. *', 'F7. 3. 2(F8. 3). *', 'F7. 3. F9. 3. F11. 2/
410 & 3(17X, '*'), 21X, '*', 23X, '*', 9X, 7('='))
411 I dette delprogram udskrives resultaterne fra de andre
412 delprogrammer, samt hvilke vaerdier der er benyttet.
413
414
415 Foerst kommer der en listning af de variable, der
416 benyttes i programmet.
417

```

```

418 ALFA: forholdet mellem radiators varmeafgivelse og areal (kW/m2)
419 ARAD: arealet af et hus radiatorer (m2)
420 DIA: fjernvarmeroerernes diameter (mm)
421 HISD: fjernvarmeroerernes isoleringstykkelse (mm)
422 HISOR: fjernvarmereturroeretsisoleringstykkelse (mm)
423 JFJ: Det samlede vandflow gennem de N huse
424 JRAD: vandflowet gennem radiatorerne i et hus
425 KVALF: k-vardien for isoleringen paa fremloebstroerene
426 L: laengden af fjernvarmenettet (m)
427 N: antal husstande
428 PFORBR: forbrugerprisen baade fast og variabelt (kr/J)
429 QBEHOV: de enkelte husstandes varmebehov (kWh)
430 ROVAND: vands massefylde (kg/m3)
431 TF: fremloebstemperaturen til radiatorerne (grad)
432 TFV: fremloebstemperaturen ved vaerk (grad)
433 TR: returtemperaturen fra radiatorerne (grad)
434 TRV: returtemperaturen ved vaerk (grad)
435 VHAST: vandhastigheden i fjernvarmeroerene (m/s)
436
437
438
439
440
441
442 IF (IFLAG. GE. 59) THEN
443 PRINT 220
444 PRINT 220
445 IFLAG=3
446 END IF
447 IF (IFLAG. EQ. -99) THEN
448 PRINT 100
449 PRINT 200, N, GGN, L, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
450 PRINT 210, CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD, ALFA, ENPRP,
451 & ENPREL*1, E9, ENPRBR*1, E9,
452 & LTID, KALRE, TOVP, EFFP, EFFKV, EFFFVP, EFFKF
453 PRINT 220
454 IFLAG=45
455 ELSE IF (IFLAG. GE. 59) THEN
456 PRINT 220
457 PRINT 220
458 IFLAG=3
459 ELSE
460 IFLAG=IFLAG+2
461 END IF
462
463 PFORBR=(PVAR+PANL*DTID/3. 1536E7)/(ANNFAK*N*QBEHOV*DTID)
464
465 PRINT 230, TF, TR, DIA, HISD, TFV, TRV, VHAST, ARAD, GIALT/1. E3, WPUMPE/1. E3,
466 & GTABFJ/1000. , PRFJ/1. E6, PRRAD/1. E6, PRP/1. E6, PRPEFF/1. E6, PRG/1. E6,
467 & PVAR/1. E6, PFORBR*1. E9
468 END

```

```

468 SUBROUTINE PRIS
469
470 COMMON/PRIS/PRFJ, PRRAD, PRP, PRPEFF, PRG, PVAR, GIALT, PANL
471 COMMON/TID/DTID
472 COMMON/RESULT/ARAD, GTABFJ, TFV, TRV, WPUMPE, WPMAX

```

```

473. COMMON/GAET/TF, TR, DIA, HISO
474. COMMON/MELLEM/VHAST, JRAD, KVALF
475. COMMON/DIMPAR/QBEHOV, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
476. COMMON/PRISKO/ENPRP, ENPRR, ENPREL, ENPRBR, LTID, KALRE,
477. & EFFP, EFFKV, EFFVP, EFFKF, TOVP, ANNFAK
478. REAL KALRE, LTID, L, N, KVALF, JRAD
479. INTEGER RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
480.
481. C
482. C
483. C
484. C
485. C
486. C
487. C
488. C
489. C
490. C
491. C
492. C
493. C
494. C
495. C
496. C
497. C
498. C
499. C
500. C
501. C
502. C
503. C
504. C
505. C
506. C
507. C
508. C
509. C
510. C
511. C
512. C
513. C
514. C
515. C
516. C
517. C
518. C
519. C
520. C
521. C
522. C
523. C
524. C
525. C

```

```

listing af variable (kun nye)

PRFJ: fjernvarmeroernes pris (kr)
PRRAD: radiatorenes pris (kr)
PRP: pumpens pris(kr)
PRPEFF: aarlig pris for energi til pumpeffekt (kr)
PRG: aarlig pris for leveret varme(kr)
DTID: steplaengden (s)

PPREF=WPUMPE/EFFP*DTID*ENPREL
PRPEFF=PPREF*ANNFAK

GIALT=N*QBEHOV+GTABFJ-WPUMPE

IF(ANLAEG.EQ.1)THEN
  CV=0.0013*TFV+0.00057*TRV-0.022
  PPRG=ENPRBR*CV/EFFKV*GIALT*DTID
ELSE IF(ANLAEG.EQ.2)THEN
  DTEMP=5
  TLOW=TOVP-DTEMP
  TMV=(TFV+TRV)/2.
  PPRG=(1.-TLOW*(1./(TMV+DTEMP)+1./((TFV+DTEMP))/2.)/EFFVP*
& ENPREL*GIALT*DTID
ELSE IF(ANLAEG.EQ.3)THEN
  PPRG=GIALT/EFFKF*DTID*ENPRBR
ELSE IF(ANLAEG.EQ.4)THEN
  CV=(0.0013*TFV+0.00057*TRV-0.022)*2.5
  PPRG=ENPRBR*CV/EFFKV*GIALT*DTID
ELSE IF(ANLAEG.EQ.5)THEN
  CV=(0.0013*TFV+0.00057*TRV-0.022)*5.0
  PPRG=ENPRBR*CV/EFFKV*GIALT*DTID
ELSE
  STOP 'fejl i indlaesning af anlaeg'
ENDIF

PRG=PPRG*ANNFAK
PVAR=PRPEFF+PRG

RETURN
END

```

```

526. SUBROUTINE PRISAN
527. C

```

```

528. COMMON/PRIS/PRFJ, PRRAD, PRP, PRPEFF, PRG, PVAR, GIALT, PANL
529. COMMON/TID/DTID
530. COMMON/RESULT/ARAD, GTABFJ, TFV, TRV, WPUMPE, WPMAX
531. COMMON/GAET/TF, TR, DIA, HISO
532. COMMON/MELLEM/VHAST, JRAD, KVALF
533. COMMON/DIMPAR/QBEHOV, L, N, RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
534. COMMON/PRISKO/ENPRP, ENPRR, ENPREL, ENPRBR, LTID, KALRE,
535. & EFFP, EFFKV, EFFVP, EFFKF, TOVP, ANNFAK
536. REAL KALRE, LTID, L, N, KVALF, JRAD
537. INTEGER RADTYP, ANLAEG, TFMIN, TRMIN
538.
539. C
540. C
541. C
542. C
543. C
544. C
545. C
546. C
547. C
548. C
549. C
550. C
551. C
552. C
553. C
554. C
555. C
556. C
557. C
558. C
559. C
560. C
561. C
562. C
563. C
564. C
565. C
566. C
567. C

```

```

listing af variable (kun nye)

PRFJ: fjernvarmeroernes pris (kr)
PRRAD: radiatorenes pris (kr)
PRP: pumpens pris(kr)
PRPEFF: aarlig pris for energi til pumpeffekt (kr)
PRG: aarlig pris for leveret varme(kr)
DTID: steplaengden (s)

Fjernvarmedgifterne er justeret 8. juni 1984 efter nye
oplysninger fra Overingenior Frank Olsen, Elkraft.

PRFJ= ((1.33E3 + 17.0E3*DIA)*2.*HISO + 1402.*DIA + 0.347*
& (1.E3*(DIA+2.*HISO))*1.42 +
& 320.7)*L

PRRAD= N*ARAD*ENPRR

PRP= WPMAX/EFFP*ENPRP*2.

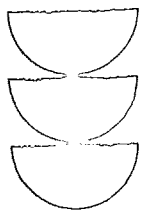
PANL=PRFJ+PRRAD+PRP

RETURN
END

```

END FTN 741 IBANK 1123 DBANK 283 COMMON

ENTERING USER PROGRAM



# 1.2.1 Fjernvarmerør/ Standardrør



9. 8. 80 10 1 0 6

Bestillingsnr. i.c. møller i.c. møller rør uden rør med alarutråde alarutråde	Stålrør		Kapperør Ø udv. mm	Montage- længde m	Udra- gende rørende mm	Leverings- længde m	Rør ca. vægt kg/lgd.	Vand- mængde litr./m	Vandfylde rør ca. vægt kg/m	Dimension Ø mm	1) Varmetab pr. rør i W/m ved vandtemperatur °C				
	Ø nominel mm	Ø udv. mm									Gods- tykkelse mm	40°	60°	80°	100°
1000	2500	20	26,9	2,6	90	21	21	0,4	3,4	26,9/90	5,0	8,0	11,5	15,0	19,0
1001	2501	25	33,7	2,6	90	27	27	0,6	3,8	33,7/90	6,0	10,0	14,0	18,5	23,0
1002	2502	32	42,4	2,6	110	27	27	1,0	5,5	42,4/110	6,0	10,5	14,5	19,5	24,5
1003	2503	40	48,3	2,6	110	30	30	1,5	6,0	48,3/110	7,0	12,0	17,0	22,5	28,0
1004	2504	50	60,3	2,9	125	36	36	2,5	8,5	60,3/125	8,0	13,0	19,0	25,0	31,0
1005	2505	65	76,1	2,9	140	45	45	4,0	12,0	76,1/140	9,5	16,0	22,5	30,0	37,0
1006	2506	80	88,9	3,2	160	51	51	5,5	16,0	88,9/160	10,0	16,5	23,0	31,0	39,0
5107	5127	100	114,3	3,6	200	57	57	9,0	24,0	114,3/200	10,5	17,5	25,0	33,0	41,0
5108	5128	125	139,7	3,6	225	66	66	14,0	31,0	139,7/225	12,5	20,5	29,0	38,0	48,0
5109	5129	150	168,3	4,0	250	72	72	20,0	43,0	168,3/250	14,5	24,0	34,0	45,0	56,0
5110	5130	200	219,1	4,5	315	84	84	35,0	70,0	219,1/315	15,5	26,0	37,0	49,0	61,0
5111	5131	250	273,0	5,0	400	84	84	54,0	105,0	273,0/400	15,5	26,0	37,0	49,0	61,0
5112	5132	300	323,9	5,6	450	96	96	77,0	140,0	323,9/450	19,0	31,0	43,0	57,0	72,0
5113	5133	350	355,6	5,6	500	96	96	93,0	165,0	355,6/500	18,0	30,0	42,0	56,0	70,0
5114	5134	400	406,4	6,3	520	108	108	121,0	210,0	406,4/520	26,0	43,0	61,0	80,0	101,0
5115	5135	450	457,2	6,3	560	108	108	155,0	252,0	457,2/560	31,0	51,0	73,0	97,0	121,0
5116	5136	500	508,0	6,3	630	108	108	193,0	305,0	508,0/630	30,0	49,0	70,0	92,0	116,0
5117	5137	550	558,8	6,3	710	108	108	235,0	365,0	558,8/710	27,0	45,0	64,0	85,0	107,0
5118	5138	600	609,6	8,0	780	120	120	277,0	450,0	609,6/780	26,0	43,0	61,0	81,0	102,0

1) De angivne værdier er i overensstemmelse med de under  
afsnit 2 angivne nedlægningsforskrifter ved en gennemsnitlig  
jordtemperatur på +8°C.



- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS". - et matematikprojekt.  
Projektrapport af Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.  
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinøe og Peter H. Lassen.  
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik. Nr. 3 er a jour ført i marts 1984  
Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer, Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen. Nr. 4 er p.t. udgået.  
Mogens Niss.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE". Nr. 5 er p.t. udgået.  
Helge Kragh.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".  
Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN". Nr. 7 er udgået.  
B.V. Gnedenko.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bound-graph formalismen.  
Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinarium".  
Projektrapport af Lasse Rasmussen.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".  
Projektrapport af Jan Christensen og Jeanne Mortensen.  
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER"  
red. Jørgen Larsen
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER". Nr. 12 er udgået  
Mogens Brun Heefelt.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".  
Projektrapport af Gert Kreinøe.  
Vejleder: Albert Chr. Paulsen

- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography".  
Else Høyrup.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".  
Specialeopgave af Leif S. Striegler.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".  
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".  
Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint.  
Bernhelm Booss & Mogens Niss (eds.).
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".  
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".  
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET - FORMAL OG KONSEKVENSER".  
Projektrapport af Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".  
1-port lineært response og støj i fysikken.  
Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".

- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.G'ERE".  
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.  
Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodul/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".  
En projektrapport og to artikler.  
Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".  
Helge Kragh.
- 28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".  
Projektrapport, speciale i fysik, af Gert Kreftnøe.  
Vejleder: Niels Boye Olsen.

- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller".  
 Projektrapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.  
 Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".  
 Oluf Danielsen. Nr. 30 er udgået.  
 Udkommer medio 1982 på Fysik-, Matematik- og Kemilærernes forlag.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".  
 Projektrapport af Trøels Lange og Jørgen Karrebæk.  
 Vejleder: Stig Andur Pedersen. Nr. 31 er p.t. udgået
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER OG MOSSBAUER-EFFEKTMÅLINGER".  
 Projektrapport, speciale i fysik, af Crilles Bacher og Preben Jensen.  
 Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK-NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".  
 Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".  
 ENERGY SERIES NO.1. Nr. 34 er udgået.  
 Bent Sørensen. Publ. i "Renewable Sources of Energy and the Environment", Tycooli International Press, Dublin, 1981.
- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".  
 Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN ?".  
 Fire artikler.  
 Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".  
 ENERGY SERIES NO.2.  
 Bent Sørensen.
- 
- 38/81 "TIL EN HISTORIE TEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".  
 Projektrapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant. Nr. 38 er p.t. udgået  
 Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".  
 Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".  
 Projektrapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde. Nr. 40 er p.t. udgået  
 Vejleder: Per Nørgaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".  
 ENERGY SERIES NO.3.  
 Bent Sørensen.

- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".  
Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".  
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".  
ENERGY SERIES NO.4.  
Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISK UNDERSØGELSE AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".  
Projektrapport af Niels Thor Nielsen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 
- 45/82
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE - I+II ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".  
Projektrapport af Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBACK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".  
ENERGY SERIES NO.5.  
Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".  
Projektrapport af Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn, Isac Showiki.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".  
Projektrapport af Preben Nørregaard.  
Vejledere: Jørgen Larsen & Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY". ENERGY SERIES NO.6.  
Rapport af Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.  
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?"  
Projektrapport af Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS"  
Bernhelm Booss & Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".  
Arne Jakobsen & Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.  
Stig Andur Pedersen & Johannes Witt-Hansen.

- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde  
Universitetsbibliotek. Vedr. tekst nr. 55/82:  
En bibliografi. Se også tekst 62/83.  
Else Høyrup.
- 56/82 "ÉN - TO - MANGE" -  
En undersøgelse af matematisk økologi.  
Projektrapport af Troels Lange.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET" - Nr. 57 er udgået.  
Skjulte variable i kvantemekanikken?  
Projektrapport af Tom Juul Andersen.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger  
over spredning af dyr mellem småbiotoper i  
agerlandet.  
Projektrapport af Per Hammershøj Jensen &  
Lene Vagn Rasmussen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".  
ENERGY SERIES NO. 7.  
Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE" - et eksempel.  
Projektrapport af Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og  
Preben Nørregaard.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION", som et eksempel på  
en naturvidenskab - historisk set.  
Projektrapport af Annette Post Nielsen.  
Vejledere: Jens Høyrup, Jens Højgaard Jensen og  
Jørgen Vogelius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde  
Universitetsbibliotek.  
En bibliografi. 2. rev. udgave  
Else Høyrup
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO  
ENERGY PLANNING".  
ENERGY SERIES No. 8  
David Crossley & Bent Sørensen
- 64/83 "VON MATHEMATIK UND KRIEG".  
Bernhelm Booss og Jens Høyrup
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".  
Projektrapport af Per Hedegård Andersen, Kirsten  
Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos,  
Else Marie Pedersen, Erling Møller Pedersen.  
Vejledere: Bernhelm Booss & Klaus Grünbaum
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I  
ESCHERICHIA COLI".  
Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Ole  
Richard Jensen og Klavs Frisdahl.  
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen

- 67/83 "EILIPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?"  
Projektrapport af Lone Billmann og Lars Boye  
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK"  
- til kritikken af teoriladede modeller.  
Projektrapport af Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid, Frank Mølgård Olsen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"  
- en test i l.g med kommentarer  
Albert Chr. Paulsen
- 70/83 "INDLÆRINGS- OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSEUNDERVISNINGSNIVEAU"  
Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.  
Vejleder: Klaus Grünbaum & Anders H. Madsen
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"  
- et problem og en udfordring for skolen?  
Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich & Mette Vedelsby
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S. Peirce.  
Peder Voetmann Christiansen
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"  
- økologisk contra traditionelt  
ENERGY SERIES No. 9  
Specialeopgave i fysik af  
Bent Hove Jensen  
Vejleder: Bent Sørensen
- 
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik  
Projektrapport af Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.  
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"  
- Case: Lineær programmering  
Projektrapport af Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl, Frank Mølgård Olsen  
Vejledere: Mogens Brun Heefelt & Jens Bjørneboe
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.  
ENERGY SERIES No. 10  
Af Niels Boye Olsen og Bent Sørensen
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"  
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller  
Projektrapport af Svend Åge Houmann, Keld Nielsen, Susanne Stender  
Vejledere: Jørgen Larsen & Jens Bjørneboe

- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM"  
Specialerapport af Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant  
Vejleder: Niels Boye Olsen
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE"  
Projektrapport af Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.  
Vejleder: Bernhelm Booss
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B"  
Mogens Brun Heefelt
- 81/84 "FREKVENSafhængig LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM"  
Specialerapport af Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen  
Vejleder: Niels Boye Olsen
- 82/84 "MATEMATIK- OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND"  
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983  
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY"  
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1  
af Bent Sørensen
- 84/84 " NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".  
Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK"  
Specialerapport af Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen  
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE"  
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2  
af Bent Sørensen
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS"  
af Jeppe C. Dyre
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS"  
af Detlef Laugwitz
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING"  
af Bjarne Lillethorup & Jacob Mørch Pedersen
- 90/84 "ENERGI I 1.G. en teori for tilrettelæggelse"  
af Albert Chr. Paulsen