

TEKST NR 117

1985

Kraft & fjernvarme- optimering

Eksempel på endelig-tids energiplanlægning

af

Jacob Mørch Pedersen

Vejleder Bent Sørensen

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

KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING

af. Jacob Mørch Pedersen

IMFUFA tekst nr. 117/85

63 sider

ISSN 0106-6242

Abstract

I denne rapport optimeres driften af et kombineret kraftvarme og fjernvarmesystem.

Først optimeres driften af et kraftvarmeverk med givne priser på varme og mekanisk energi. Der benyttes en endelig-tids termodynamisk model for en endoreversibel maskine.

Dernæst optimeres driften af et fjernvarmesystem. Systemet er simplificeret i forhold til det fjernvarmesystem, der er beskrevet og optimeret i Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen: *Fjernvarmeoptimering - eksempel på effektiv energiplanlægning*, IMFUFA-tekt nr. 89, august 1984. Denne simplificerede model løses analytisk i en lavtab-approximation.

I et tredie kapitel opstilles en samlet endelig-tids termodynamisk model for et kraftvarme-fjernvarme system. Denne model løses numerisk.

Rapporten viser den optimale driftstrategi for et kraft-fjernvarme system. Der benyttes dels endelig-tids termodynamik, dels en enkel fysisk modelopstilling. Ved hjælp af rimelige antagelser, som ikke negligerer det spændende i systemet, gøres systemets opførsel gennemskuelig.

En analyse af resultaterne viser, at der er meget forskellig opførsel i kedel- og kraftvarmeforsyndede fjernvarmesystemer. I kraft-fjernvarmesystemet falder prisen på en energienhed, når forbruget falder. Det modsatte er tilfældet i kedelsystemet. Det betyder, at investering i begrænsning af behovet er langt mere rentabel i kraft-fjernvarmesystemet, og kommer alle forbrugerne til gode.

INDHOLD

Abstract

Nomenklatur

1.	Indledning	1
1.1.	Fjernvarme	2
1.2.	Energibesparelser	2
1.3.	Energiplanlægningens kulisser	2
2.	Endelig-tids termodynamik	8
2.1.	Klassisk reversibel termodynamik	8
2.2.	Endelig-tids termodynamik	10
3.	Reference system	15
4.	Kraftvarmeværk	17
4.1.	Optimering af overskudet	18
4.2.	Konklusion	22
5.	Fjernvarmesystem	23
5.1.	Optimal strømningshastighed	23
5.2.	Lavtab-approximation	27
5.3.	Konklusion	30
6.	Kraftvarme-fjernvarme system	34
6.1.	Systembeskrivelse	34
6.2.	Konklusion	41
7.	Konklusion	43
	Referencer	50
	Appendix	55

Kraft & fjernvarme-optimering

Nomenklatur

A_n :	annuitetsfaktor	
c_v :	vands varmekapacitet	J/kg K
D:	fjernvarmerørets indre diameter	m
E_x :	exergi	J
f:	funktioner	
F:	overskud	kr/s
H:	isoleringstykke	m
j:	reduceret strømningshastighed	W/K
J:	vandgennemstrømningshastighed	m³/s
l:	længde	m
ℓ :	reduceret længde	W/K
L:	længde fra værk til forbruger	m
P:	tryk	N/m²
q:	varmeeffekt	W
q_F :	effektforbrug hos forbruger	W
q_H :	varmeeffekt ved høj temperatur	W
q_{tab} :	varmetab	W
q_v :	varmeeffekt ved lav temperatur	W
Q:	energimængde	J
r:	rente	
R_{iso} :	isoleringens varmemodstand	m K/W
S:	entropi	J/K
t:	tid	s
t_H :	varigheden af den varme isoterm	s
t_L :	levetid	år
t_v :	varigheden af den kolde isoterm	s
T:	temperatur	K
T_H :	den varme temperatur	K
T_r :	reduceret returtemperatur	K
T_R :	returtemperatur	K
T_v :	reduceret fremløbstemperaturen ved værket	K
T_{vL} :	fremløbstemperaturen ved værket og den lave temperatur i værket	K
T_s :	temperaturen på den varme side af Carnot	K
T_v :	temperaturen på den kolde side af Carnot	K
T_o :	omgivelsernes temperatur	K
ΔT :	- reduceret temperatur	K

Nomenklatur

Kraft & fjernvarme-optimering

U:	udgifter eller indre energi	kr/s
V:	volumen	m ³
w:	mekanisk effekt	W
w _p :	pumpens effektforbrug	W
W:	mekanisk energimængde	J
X:	ekstensiv variabel	
r:	tidsforhold	
ε:	relativ effektivitet	
€:	relaksations tid	s
η:	virkningsgrad	
η _d :	virkningsgrad af dynamo	
η _f :	virkningsgrad af kedelfyr	
η _p :	virkningsgrad af pumpen	
η _{el} :	virkningsgrad af elværk	
η _v :	vands dynamiske viskositet	kg/m·s
κ:	varmeledningsevne	W/K
λ:	isoleringens varmeledningskoefficent	W/m K
μ:	kemisk potentiale	J
ξ:	systemparameter: D, H, ρ	
Π _H :	prisen på varme ved høj temperatur	kr/W
Π _L :	prisen på varme ved lav temperatur	kr/W
Π _w :	prisen på mekanisk effekt	kr/W
Π _ξ :	prisen på systemparameter ξ	
ρ:	varmeledningsmodstand	K/W
ρ _H :	varmeledningsmodstand ved højtemperatur	K/W
ρ _v :	varmeledningsmodstand ved lav temperatur	K/W
ρ _v :	vands massefylde	kg/m ³
τ:	tid	s

1. Indledning

Dette skrift udgør sammen med IMFUFA-tekst nr. 89: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen *Fjernvarmeoptimering - eksempel på effektiv energiplanlægning* mit specialearbejde ved IMFUFA, Roskilde Universitets Center og Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Emnet for begge rapporter er analysen af fjernvarmeanlæg med forsøg på at angive den optimale drift og dimensionering. Den del, der er skrevet sammen med Bjarne Lillethorup, er en systembetragtning over fjernvarmeanlæg forsynt med varme fra forskellige kilder. Kilderne har forskellige omkostningsfunktioner. En numerisk simulering af systemet med forskellige anlægsparametre er gennemført. Der er i rapporten vist, at den økonomisk optimale dimensionering afhænger meget af varmekildens prisfunktion. Desuden er det vist, at der findes en god parameter for prisen for drift og afskrivning af et fjernvarmenet, nemlig varmeforbruget divideret med nettets længde i anden potens.

Arbejdet her er også en systembetragtning over fjernvarmeanlæg, men her er kraftvarme forsyningen medtaget direkte i analysen. Beskrivelsen af kraftvarmeanlægget bygger på en endelig-tids termodynamisk analyse. Endelig-tids termodynamikken er noget nyt. Teorien har ikke tidligere vundet indpas i energiplanlægningen, og det selvom teorien har opnået markante resultater. Teorien præsenteres kort i det følgende kapitel.

Arbejdet her ligger i grænseområdet mellem ingeniørvidenskab og fysik. Det indeholder en viden om systemernes konkrete opbygning samtidig med, at det benytter fysiske teorier og traditioner. Det skærer problemerne ned til det væsenligste og giver derudfra et kendskab til systemets dominerende adfærd.

Kraft & fjernvarme-optimering

1.1. Fjernvarme

Fjernvarmeforsyningen spiller en større og større rolle i Danmarks energiforsyning til opvarmningsformål. Talrige analyser viser desuden at denne opvarmningsmetode forsæt har et stort potentiel markeds. Det er særlig i provinsbyerne, næste generation kraftvarmeanlæg tænkes placeret fx som naturgasfyrede anlæg. I de større byer er fjernvarmeforsyningen allerede i dag veludbygget. Det drejer sig om byer som København, Odense, Århus og Trekantområdet. I en lang række provinsbyer er der eksisterende fjernvarmeanlæg, men en fornyelse af varmekilderne fra oliefyring til vedvarende energi og kraftvarme er ønskelig. Nogle af de eksisterende anlæg, specielt i Københavns Centrum er i dag forældede, og en udskiftning til moderne anlæg med lave fremløbstemperaturer er nødvendig i de kommende år. Udnyttelse af spildvarme fra industrien er kun seriøst forsøgt i Trekantområdet. Der er ellers store muligheder.

1.2. Energibesparelser

I denne rapport er betydningen af energibesparelser behandlet. Det er ellers et emne der næsten altid ligger uden for fjernvarmeanalysers rammer. I fx Hovedstadsrådets regionale delplan for fjernvarme er energibesparelserne henvist til en ussel placering i et forsømt perspektivafsnit. At der er et sammenstød mellem fjernvarmeplanlægningen og energibesparelses bestræbelser er ellers klart.

1.3. Energiplanlægningens kulisser

Sammenstødet mellem fjernvarmefolk og energisparefolk er bestemt ikke den eneste modsætning, der er i energiplanlægningen. Disse modsætninger er ikke emnet her, men en skitsering af energiplanlæggerens kulisse kan jeg ikke dy mig for i stikordsform.

Generelt er scenen præget af halvoffentlige instanser. De er bundet af et sæt regler om, hvad de må og ikke må, samt en del selvcensur og uskrevne regler. De opfører sig ofte snævertsynet, for de repræsenterer jo ikke det offentlige. De føler, at de skal varetage netop deres forbrugeres interesser. Meget ofte mener virksomhederne, at en ekspansion er den bedste måde af varetage forbrugernes interesse. En ekspansion vil ofte føre til billigere priser og evt. til større forsyningssikkerhed. At en større omsætning også medfører flere ansatte og større magt, spiller efter min overbevisning også en væsenlig rolle for en række personers handlinger. Denne ekspansionstrang er i det følgende omtalt som elefantasis.

Fjernvarmefolkene forsøger at skaffe billig varme, og, hvis de er kraftvarmeforsynde, har de ofte et ønske om at få indflydelse på elsidén. De er ofte præget af en vis portion elefantasis, særlig når nye net skal oprettes. Energibesparelser er et problem. Gennemføres en effektiv energibesparelse, vil prisen hos forbrugerne pr. energienhed stige. Det føler fjernvarmefolkene er et tilbageslag uanset, om forbrugerne måtte slippe billigere til opvarmningen af deres bolig. Desuden er takststrukturen mange steder således, at hvis kun nogle gennemfører energibesparelser, er det hovedsageligt de andre, der kommer til at betale for det. Det forsøges imødegået med høje faste afgifter til fjernvarmeselskaberne, således at det ikke privatøkonomisk kan betale sig at spare. Flere fjernvarmeselskaber har direkte forbud mod andre energikilder, fx brændeovne.

De store fjernvarmenet ved de store byer (typisk Århus og København) med billig kraftvarme og meget store net bliver typisk indfanget i en sådan prisstruktur, da der er meget store investeringer der skal betales af.

Ved anlæg af fjernvarmesystemer regnes altid med et stigende forbrug. Ingen har turdet gå hånd i hånd med energisparefolk og lavet et system, der regner med bedre og bedre isolering samt andre besparelsesaktiviter.

Kraft & fjernvarme-optimering

Elfolk forsøger at skaffe billig strøm. Der skal folketingsindgreb til at få dem til lade være med at købe sydafrikanske kul og til at rense røgen fra de kulfyrede kraftværker. Det forhindre dem nu ikke i, når de nu er blevet tvunget, at slå på tromme for, hvor gode de er, når de begynder at rense røgen og flytte kulindkøbene. (ELSAMS annonce-kampagne foråret 1985).

Elfolkene har bestemt ikke noget ønske om at lukke nye folk ind i kredsen, der bestemmer, så fjernvarmefolkene holdes ude. Varmen regnes næsten som et spildprodukt på linie med flyveaske og slagter. Der arbejdes efter devisen: billig og driftsikker. Og jo større elproducerende effekt, jo større driftsikkerhed. Elfolkene er ofte præget af elefantiasis.

Elfolkene er et glimrende eksempel på, at det er egne interesser, der styrer aktiviteten, og ikke ansvaret som halvoffentlig koncessioneret virksomhed. Kampagnerne for elvarme er et eksempel.

Gasserne, det vil sige DONG og de regionale naturgasselskaber, har haft elefantiasis tendenser lige fra starten. Naturgasprojektet er kæmpemæssigt, og de har været lige ved at forkøbe sig. Da de troede, at de havde forkøbt sig hos DUC, havde de politisk indflydelse til at proppe gas ned i halsen på elfolkene.

Det ser ud til, at problemerne er ved at løse sig for gasserne. (Eller er det blot reklamefup - sminket optimisme? Hvem vil købe gas af en taber? Det gælder om at stå som vinder i folks bevisthed.)

Opbygningen hos gasserne med et statsligt aktieselskab DONG (hvor arbejdet er lagt ud i en række datterselskaber) og kommunalt ejede regionale distributionsselskaber har vist sig dårlig. Disse halvoffentlige selskaber handler stærkt egoistisk, hvilket giver problemer.

Olieselskaberne har gennem de sidste ti-tyve år tabt store markedsandele for boligopvarmning. Markedet er gået til

kraftvarmen og naturgassen. Olieselskaberne forsøger at holde på deres markedsandel, fex. ved at dumpe priserne på fyrringsolie i områder, hvor naturgassen introduceres. Da naturgaspriserne ligger fast lidt under landsgennemsnittet for oliepriserne, kan det give gasserne problemer. Olie selskaberne holder iøvrigt ret lav profil for tiden. De slås i stedet indbyrdes om kunderne - særligt på transportenergiområdet.

Staten er i dette spil repræsenteret ved Energistyrelsen, svagt flankeret af energiministeriets departement. Når der er en svag minister, er styrelsen også svag. Den har ikke formået at udfylde rollen som overordnet planlægningskoordinator.

Styrelsen og departementet forsøger at samle trådene, men energiplanlægningen er lagt ud decentralt med styrelsen som godkendende organ. Det er al ære værd med en decentral struktur, men det er svært i denne sammenhæng at se, hvad positivt der er kommet ud af det.

De, der er stærke nok, kører da også blot deres eget løb. Københavns kommune fx (Men det gælder nu ikke specielt for energiplanlægningen).

Energiministeriet med styrelse er dog ikke de eneste i den statslige kulisse. Folketinget forsøger også at få indflydelse og gør sig fx gældende med stærkt svingende tilskud til vedvarende energi. Finansministeriet intervenerer også fra tid til anden, som i efteråret 1985, hvor finansministeriet mente, at energisektoren tog for meget arbejdskraft fra bygge- og anlægssektoren. Det ser dog ikke ud til at føre til væsenlige ændringer i anlægstakten. Det giver uro hos en række energiplanlæggere, når rygtet går, at finansministeriets budgetdepartement har taget en energisag op. Så ved man aldrig, hvad det næste bliver.

Miljø- og arbejdsministerierne har meget lidt at sige i energispørgsmål. Stort set spiller eksternaliteter som forurening og arbejdsløshed ingen rolle, når der energiplanlæg-

Kraft & fjernvarme-optimering

ges! Det er selskabsøkonomi og lokalpolitik, der er afgørende.

Lokalpolitikerne, som fx kommunalpolitikere, kan ikke se ud over næste valg. Det virker nogle gange som om, de ikke har forstået, hvad problemernes kerne er - eller også er det andre problemer af lokal- og regionalpolitisk art, der er afgørende for deres handlinger.

Lokalpolitikerne har ikke ønsket at benytte de tvangsmidler, som varmeplanloven giver dem. Tvangsmidlerne benyttes udelukkende overfor aftagere, der består af en stor gruppe forbrugere, så virker det ikke så tvangsaftigt på vælgerne.

Forbrugeren har ikke noget at skulle have sagt og har i følge alle de forgående ikke forstand på problemerne.

OOA & OVE forsøger at holdningspåvirke befolkningen til øget brug af vedvarende energi i energisystemet. Det har særlig været OOA, der er gået ind i debatten om den overordnede energiplanlægning. Her har de haft en stor betydning i befolkningens bevissthed. Nu er det spændende, om de fortsat kan spille en positiv rolle nu, hvor de har vundet deres mærkesag: *Atomkraft nej tak* Der er fortsat behov for organisationer som OOA og OVE, hvis de næste 35 år ikke skal føre til, at der opføres et dusin kæmpemæssige kulfyrede elværker.

Rådgivende ingeniørfirmaer har i stor udstækning kastet sig over varmeplanlægningen i en tid, hvor bygge- og anlægssektoren har kørt på lavt blus. Det er ikke fra denne kant, man skal vente sig et gennembrud i energidebatten. De er i lommen på rekvirenterne og har selv en klar interesse i at få projekter igennem, helst så store som muligt, for det giver ekstra arbejde.

Der er i de senere år gået virkelig mange penge fra offentlige kasser til rådgivende ingeniørfirmaer under betegnelsen varmeplanlægning. Planlægningen og opstarten af det køben-

Kraft & fjernvarme-optimering

havnske fjernvarmetransmissionssystem kostede her i efteråret 1985 millioner af kr. om måneden til rådgivende ingeniørfirmaer.

Forskerne er hovedsageligt placeret på de højere læreranstalter og Risø. I de senere år er der kommet en række prøvestationer for vedvarende energi til, senest folkecentret for vedvarende energi. Forskerne har hovedsageligt støttet kugler til andre i energidebatten. Deres indflydelse på dagens energisystem tør jeg ikke udtale mig om.

2. Endelig-tids termodynamik

Endelig-tids termodynamik er teorien om, hvordan varme omdannes til andre energiformer, idet der tages hensyn til den tid, som processerne tager. Det er således en teori mere om effekter, end om energier (Der er en række referencer bagerst til endelig-tids termodynamik. Fx B. Andresen: Finite-Time Thermodynamics)

2.1. Klassisk reversibel termodynamik

Den klassiske reversible termodynamik bygger på et ønske om at kende den teoretiske grænse for omsætning af varme til andre energiformer. Teorien har to hovedsætninger: 1. hovedsætning siger at energi ikke kan opstå eller forsvinde, den kan kun antage andre former. Sætningen udtaler sig om energi-kvantitet. 2. hovedsætning siger, at når der sker termodynamiske processer i et system, vil entropien S altid vokse i systemet plus omgivelser. Undtaget er reversible processer, hvor entropien er konstant. For entropiændringen dS af et system gælder:

$$dS > \frac{\partial Q}{T}$$

hvor ∂Q er den tilførte varmeenergi, og T er den absolute temperatur, ved hvilken varmen overføres. Ved reversible processer gælder lighedstegnet. 2. hovedsætning bruges til at udtale sig om energi-kvalitet. Teorien blev grundlagt i midten af forrige århundrede, hvor det erkendtes, at varme ikke er en substans, der kan vejes, men en energiform, der kan omsættes til andre energiformer. Arbejdet på den tid byggede blandt andet på et ønske om at optimere datidens dampmaskiner. Sadi Carnot opstillede i 1824 den velkendte grænse for en ideal tabsfri proces:

Kraft & fjernvarme-optimering

$$W_{\max} = \left(1 - \frac{T_v}{T_h}\right) Q$$

hvor Q er den energimængde, der tilføres ved den høje temperatur
 T_h er den høje temperatur, i kelvin
 T_v er den lave temperatur, i kelvin
 W_{\max} er den maksimale mekaniske energi

Nyttevirkningen, η defineres som:

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

Et af den reversible termodynamiks hovedresultater er, at nyttevirkningen bliver maksimal, når maskinen kører reversibelt:

$$\eta_{\max} = \eta_{rev}$$

Oftest ses opgivet en maskines nyttevirkning relativt til den reversible grænse:

$$\epsilon = \frac{\eta}{\eta_{rev}}$$

Således kommer ϵ til at ligge mellem 0 og 1. Typisk ses værdier af ϵ af størrelsesordenen 0,4 for kraftmaskiner.

I energiplanlægningen benyttes tit begrebet exergi. Det angiver hvor stor en del af systemets energi, der kan omsættes til mekanisk arbejde ved at bringe det i ligevægt med omgivelserne. Markeres omgivelsernes tilstand med fodtegn 0, defineres exergien E_x som:

$$E_x = U + P_0 V - T_0 S - \sum_i \mu_{0i} N_i$$

hvor U er den indre energi, P er trykket, V er voluminet, T temperaturen, μ det kemiske potential og N antal partikler. Den del af energien, der ikke er exergi, kaldes anergi.

Exergi giver en øvre grænse for, hvor stor del af systemets energi, der kan nyttiggøres som mekanisk arbejde. For en

Kraft & fjernvarme-optimering

given proces kan både energi, exergi og anergi strømmene følges, og de steder, der bidrager væsenligt til omsætning fra exergi til anergi, kan fastlægges, og processen kan forsøges optimeret.

Opskrives 2. hovedsætning ved hjælp af exergien, bliver den:

$$W \leq -\Delta E_x$$

hvor ΔE_x er systemets ændring i exergi.

Som vi skal se i det følgende, er sammenligningen med den reversible proces i mange tilfælde en urealistisk reference.

2.2. Endelig-tids termodynamik

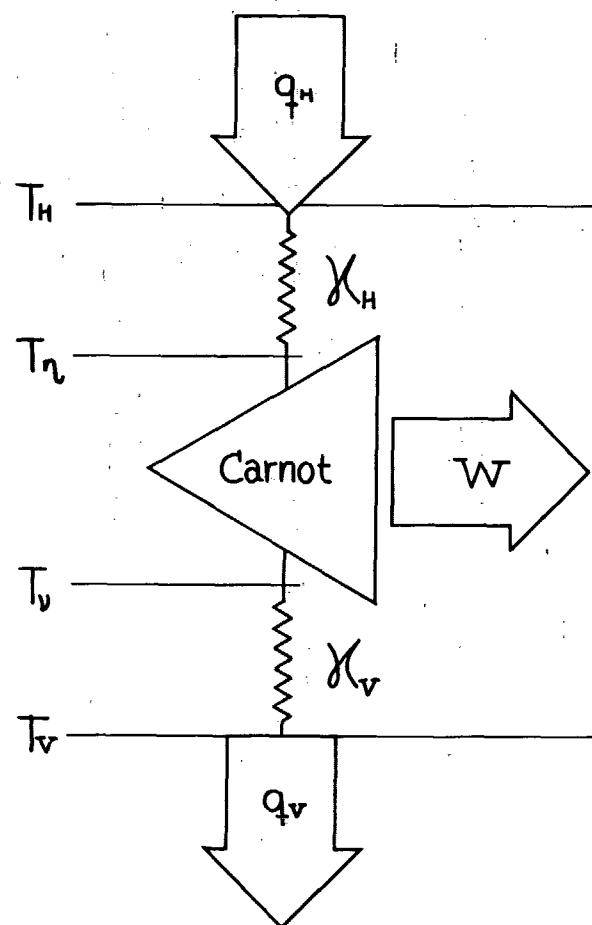
Forsøger man at køre en maskine efter den reversible termodynamiks ideal, nemlig reversibelt, kommer processen ofte til at tage uendelig lang tid. Det betyder at effekten bliver nul. Ønsker man at optimere effekten samt at inddrage fænomener som gnidning og endelig varmeledningsmodstand, må tiden indgå.

Det kan synes som en lille - og nærliggende - udvidelse af den klassiske termodynamik. Denne udvidelse viser sig dog at have vidtrækende konsekvenser. Dels kræver beskrivelsen flere empiriske informationer: fx varmeledningsmodstand, varmekapaciteter og relaksationstider; dels åbnes mulighed for at optimere forskellige størrelser, fx effekt, virkningsgrad, entropiproduktion og økonomi.

Endelig-tids termodynamik er ligesom den reversible termodynamik ikke et forsøg på detaljeret at beskrive en proces, men derimod et forsøg på at uddrage de væsenligste fysiske størrelser og derud fra kunne sige generelle ting om problemet. Lad os se på et eksempel (ref Curzon and Ahlborn).

2.2.1. Kraftmaskine med varmeledning

Vi har en temperaturforskelse mellem en høj temperatur, T_H , og en lavere T_V , til rådighed. Vores kraftmaskine består af en Carnot cyklus, hvor der er endelige varmeledningskoefficenter κ_H og κ_V fra den varme side til maskinen og fra maskinen til den kolde. Se figur 2.1.



Figur 2.1 Skematisk endoreversibelt kraftvarmeværk. Den reversible carnotmaskine arbejder ikke over temperaturerne T_H og T_V , men over de reducerede temperaturer T_η og T_ν . Reduktionen skyldes varmeledningskoefficenterne κ_H og κ_V . De reducerede temperaturer findes ved Fouriers varmeledningslov. q_H og q_V er varmeeffekter, mens W er en mekanisk effekt.

Vi antager, at maskinen arbejder som en reversibel Carnot kredsproces mellem de uspecifiserede isotermmer T_η og T_ν . Desuden antager vi at varmestrømmen mellem varmereservoiret og maskinen følger Fouriers varmeledningslov:

Kraft & fjernvarme-optimering

$$\frac{dQ}{dt} = q(t) = \kappa(T(t) - T_{ref})$$

hvor t er tiden

Store bogstaver som Q og W markerer energier, mens q og w er effekter. Forholdet mellem cyklens samlede varighed og isotermernes varighed kaldes γ .

Middeleffekten findes til

$$w = \frac{\kappa_H (T_H - T_v) t_H - \kappa_V (T_v - T_H) t_v}{(t_H + t_v) \gamma}$$

hvor t_H er varigheden af den varme isotherm og
 t_v er varigheden af den kolde isotherm.

Dette udtryk skal optimeres med hensyn til T_H , T_v , t_H og t_v . Kravet om, at kraftmaskinen er reversibel, fastlægger den ene af de fire variable som funktion af de andre. Da Fouriers varmeledningslov sammenkæder varigheden af en isotherm med den tilsvarende indre temperatur for begge κ 'er, bliver der kun een fri variabel tilbage.

Når optimeringen af effekten er foretaget kan nyttevirkningen af maskinen findes. Man får:

$$\eta_w = 1 - \sqrt{\frac{T_v}{T_H}}$$

hvor hverken materialekonstanterne κ_H og κ_V eller cyklustiden eller γ indgår. Ligningen er gyldig for enhver endoreversibel motor, dvs. hvor al irreversibilitet findes ved kobling til omgivelserne. η_w er lige så universel som den reversible carnot effektivitet:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_v}{T_H}$$

Desuden har η_w den samme egenskab som η_c , nemlig at sætter man to maskiner i forlængelse af hinanden, så ligner de een maskine af samme slags.

Det er denne form for endoreversibel maskine, der benyttes i de følgende kapitler. I beskrivelsen vil tiderne t_H og t_V samt γ ikke indgå, ligesom der vil blive regnet med varmemodstand $\rho=1/k$. I de kapitler regnes $q(t)$ og $T(t)$ som konstante i tiden. Tiden kommer ikke til at indgå eksplisit men kun i form af, at der regnes med effekter i stedet for energier. Se kapitlet om kraftvarmeverket.

2.2.2. Andre endelig-tids metoder

Endelig-tids termodynamikken indeholder flere metoder. De benyttes ikke her og skal kun kort omtales. Det allerede præsenterede er nok til at føre os igennem de næste kapitler.

Endelig-tids energi er ligesom almendelig energi et mål for, hvor meget mekanisk arbejde et givent system kan udføre, når systemet føres til ligevægt med omgivelserne. I modsætning til det reversible energibegreb tager endelig-tids energien hensyn til, at virkelige processer tager tid. Det giver mere realistiske resultater. 2. hovedsætning kan formuleres som en lighed (ref Tolman and Fine):

$$W = -\Delta E_x - T_0 \int \dot{S}_{tot} dt$$

og regnes energien som endelig-tids energi (ref Andresen, Rubin and Berry), kan energiforskellen regnes som

$$\Delta E_x = E_x(t_s) - E_x(t_b)$$

hvor $E_x(t)$ er energi, hvor der er taget hensyn til at procesen tager endelig tid og t_b og t_s er begyndelses- og sluttidspunktet. E_x kan udregnes ved formlen fra Tolman and Fine eller ved forskellige metoder, som nævnt nedenfor.

Endelig-tids potentialer angiver hvor meget arbejde en given proces kan give uden at specificere den konkrete vej, procesen gennemløber (ref Salamon, Andresen and Berry). Der er udviklet metoder til at konstruere eksakte differentialer

Kraft & fjernvarme-optimering

fra ikke-eksakte ud fra kendskabet til systemet. Det kan være en tilstandsaligning eller lignenede. På denne måde fåes termodynamiske potentialer for procesvariable, og systemets maksimale arbejdsevne kan bestemmes. Sådanne potentialer kan benyttes til bestemmelse af endelig-tids energi.

Termodynamisk længde benyttes i endelig-tids termodynamikken. En beskrivelse af termodynamikken med indførelse af en metrik og en termodynamisk længde har givet mulighed for at vurdere endelig-tids exergitabet for en lang række processer. Teorien har også vist sig nyttig andre steder, f.ex. indenfor informationsteori. Længden defineres i rummet $U(X_1, X_2 \dots)$, hvor U er den indre energi og X 'erne er de ekstensive variable (S, V og N). Som metrik anvendes $\partial^2 U / \partial X_i \partial X_j$ og længden kaldes ξ . Systemets relaksationstid kaldes ϵ og procestiden t . Så kan det vises at:

$$-\Delta E_x > \xi^2 \epsilon / t$$

hvilket giver en nedre grænse for exergitabet, der er mere realistisk end det reversible udsagn $-\Delta E_x > 0$.

Optimal vej bruges til at fastlægge den strategi, der giver det største udbytte. Denne fastlæggelse af en optimal vej er dog ofte svær. Variationsregning og optimal kontrolteori benyttes meget. Nogle gange er det nødvendigt med numeriske metoder.

Endelig-tids termodynamikkens force ligger i, at der er en lang række forskellige størrelser, det er muligt at optimere. Vi har set et eksempel på optimering af effekt, en anden mulighed er minimal entropiproduktion og, som vi skal se senere, er økonomiske funktioner også en mulighed.

3. Reference system

Udregningerne i det følgende er foretaget analytisk længst muligt, således at resultaterne kan stå generelle for en lang række systemer. For at kunne eksemplificere, samt for at kunne løse problemer numerisk, skal der dog fastlægges et reference system, således at der kan refereres til eet system overalt i det følgende, uden at der hver gang skal opremmes en mængde tal.

Der betragtes et gennemsnitligt varmebehov på 29 MW hos forbrugerne, svarende til knapt 3000 enfamiliehuse. Dette forbrug varierer i løbet af året. Denne variation er her tilnærmet til en spidsbelastning i 0,9% af året (svarende til knapt 80 timer) på 91 MW og et behov i resten af året på 28 MW (denne simple varighedskurve for årsvariationen i varmebehovet er undersøgt i Lillethorup og Pedersen p. 41f). Der skal benyttes rør svarende til 52 km mellem værk og forbruger i dimension 0,41 m. Isoleringen af rørene er med 0,06 m polyurethanskum. Varmeproduktionen foregår på et kraftvarmeverk, der kan producere max 33 MW el. Det betyder, at kraftvarmeverkets samlede varmeledningsmodstand ρ er på 3 K/MW.

Returtemperaturen fra forbrugerne er sat til 323 kelvin (50°C), uafhængig af årstid eller driftssituation.

Priserne på de forskellige former for energi er sat til 42 kr/GJ for varme ved 800 kelvin, 80 kr/GJ for elektricitet og 107 kr/GJ for strømmende vand, svarende til en pumpeeffektivitet på 75%. Prisen på varme fra kraftvarmeverket sættes i kapitel 4 til 20 kr/GJ. Det svarer stort set til delt kraft-varmefordel (Se Lillethorup og Pedersen p. 19 ff, afregningsform KV-II)

Disse talstørrelser er valgt, dels på baggrund af Lillethorup og Pedersen, dels på baggrund af teorierne der udledes i

Kraft & fjernvarme-optimering

de næste kapitler. Der er udviklet et EDB-program til analyse af kraft-fjernvarme systemer. Det er vedlagt i appendix. Det har været benyttet til at bestemme varmeledningsmodstanden ρ af værket og diameter D af fjernvarmerørerne.

Det er nødvendigt at kunne sammenligne udgifter pr. tidsenhed med investeringer. Til en sådan sammenligning skal der vælges over hvor lang tid man vil se problemet (systemets levetid t_1), samt en rente r til at sammenligne beløb over forskellige år. Der er ikke valgt en enkelt værdi af disse størrelser. Derimod betragtes området mellem en levetid på 20 år og rente på 5% pa og en levetid på 15 år og en rente på 7% pa. Disse størrelser bruges til at udregne annuitetsfaktoren A_n :

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

som så kommer til at ligge mellem 9,1 og 12,5. Problemerne med levetid og rente er nærmere diskuteret i Lillethorup og Pedersen p. 37 ff. Brugen af annuitetsfaktoren er vist i afsnit 6.2. Prisniveau er som i Lillethorup og Pedersen valgt til primo 1984.

4. Kraftvarmeverk

I denne stærkt simplificerede model af et kraftvarmeverk betragtes værket som bestående af en carnotmaskine forbundet med to varmereservoirer. Varmemodstanden i forbindelsen medregnes. (Maskinen behøver ikke være en Carnotmaskine, den skal blot være reversibel i det indre.)

Det er denne varmemodstand, der kommer til at gøre analysen til en endelig-tids termodynamisk analyse.

Målet for analysen er at optimere driften, således at den maksimale fortjeneste opnåes.

Givet prisen på varmen fra det varme reservoir, Π_H , prisen for arbejde, Π_w og prisen for varme til det kolde reservoir, Π_V . Π_H kan sættes til prisen på brændsel divideret med nyttevirkningen for et kedelfyr, η_F (typisk er η_F mellem 0,8 og 0,9). Temperaturen, der kan opnåes i det varmereservoir, er typisk 520°C. Denne temperatur kaldes T_H .¹⁾ Prisen på arbejde, Π_w , kan sættes til prisen på elektricitet ganget med effektiviteten af en dynamo, η_D . Temperaturen af det kolde reservoir kaldes T_V . Prisen for effekt ved denne temperatur, Π_V , kan eventuelt fastsættes efter hvilke andre varmekilder, den erstatter.

Overskudet pr tidsenhed, F er givet ved:

$$F = -\Pi_H q_H + \Pi_w w + \Pi_V q_V$$

hvor q_H er den tilførte effekt ved T_H ,

w er den producerede mekaniske effekt og

q_V er den producerede varmeeffekt ved T_V .

1. Begrænsningen af T_H til 520°C skyldes, at over denne temperatur bliver vand reaktivt og vil øtse rør, turbine, m.m.

Kraft & fjernvarme-optimering

Det er dette overskud F, der ønskes optimeret.

4.1. Optimering af overskudet

Beskrivelse af systemet:

Varmeledningsmodstanden mellem T_H og maskinen kaldes ρ_H medens den mellem T_V og maskinen kaldes ρ_V . Deres sum kaldes ρ :

$$\rho = \rho_H + \rho_V$$

Som vi senere skal se, er det ρ , der kommer til at indgå i ligningerne.

Idet maskinen regnes som en carnotmaskine, kan følgende ligninger opskrives:

$$\text{Energibevarelse: } q_H = w + q_V$$

$$\text{Varmeledning: } T_\eta = T_H - q_H \rho_H$$

$$T_V = T_V + q_V \rho_V$$

hvor T_η og T_V er de temperaturer carnotmaskinen arbejder mellem.

Entropiproduktionen i Carnotmaskinen er nul:

$$\frac{q_H}{T_\eta} - \frac{q_V}{T_V} = 0$$

Kombineres varmeledning og nul-entropiproduktion, fås

$$\frac{q_H}{T_H - q_H \rho_H} = \frac{q_V}{T_V + q_V \rho_V}$$

hvilket medfører, at

Kraft & fjernvarme-optimering

$$q_V = \frac{q_H T_V}{T_H - q_H \rho}$$

Kombineret med energibevarelse kan den producerede mekaniske energi skrives som

$$w = q_H - \frac{q_H T_V}{T_H - q_H \rho}$$

Indføres betegnelsen $\Delta T = q_H \rho$ fås overskudet som funktion af ΔT :

$$F(\Delta T) = \frac{\Delta T}{\rho} ((\Pi_W - \Pi_H) - \frac{(\Pi_W - \Pi_V) T_V}{T_H - \Delta T})$$

Optimeres $F(\Delta T)$, fås at F 's maksimum, $\max(F)$ er givet ved:

$$\max(F) = \frac{1}{\rho} (\sqrt{T_H(\Pi_W - \Pi_H)} - \sqrt{T_V(\Pi_W - \Pi_V)})^2$$

hvilket opnåes for

$$\Delta T = T_H - \sqrt{\left(\frac{\Pi_W - \Pi_V}{\Pi_W - \Pi_H} T_H T_V \right)}$$

Dette resultat ses illustreret på figur 4.1.

På figur 4.2 ses forløbet af effekterne. Bemærk at den økonominisk optimale drift ikke er den samme som den, der giver den maksimale effekt.

Den maksimale mekaniske effekt opnåes for et højere ΔT :

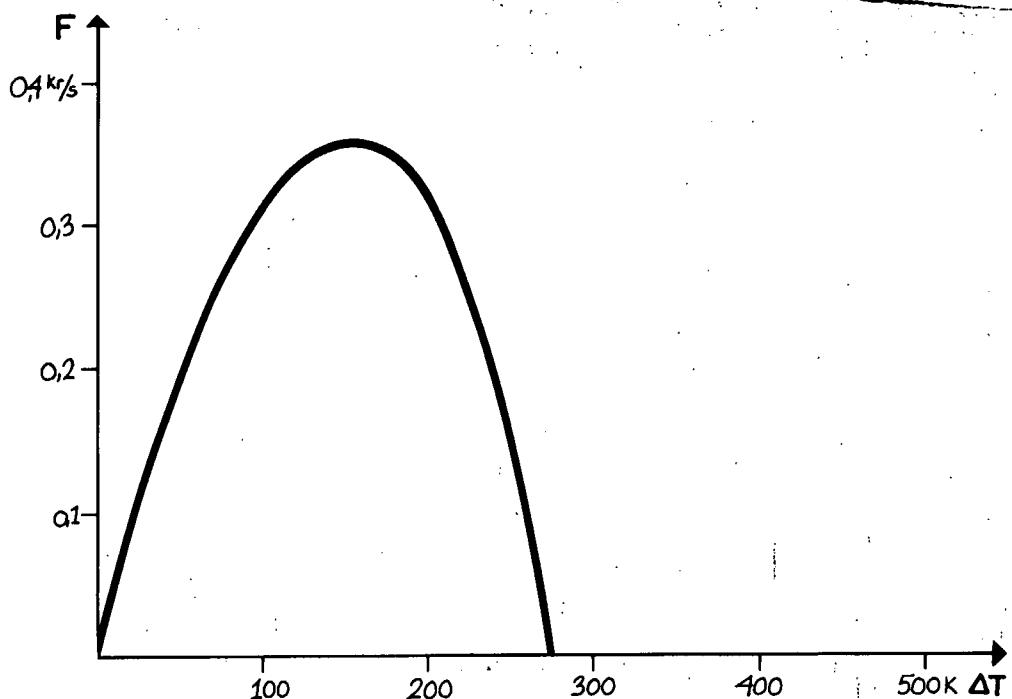
$$\Delta T_{opt. w} = T_H - \sqrt{T_H T_V}$$

hvilket giver en maksimal arbejdseffekt på:

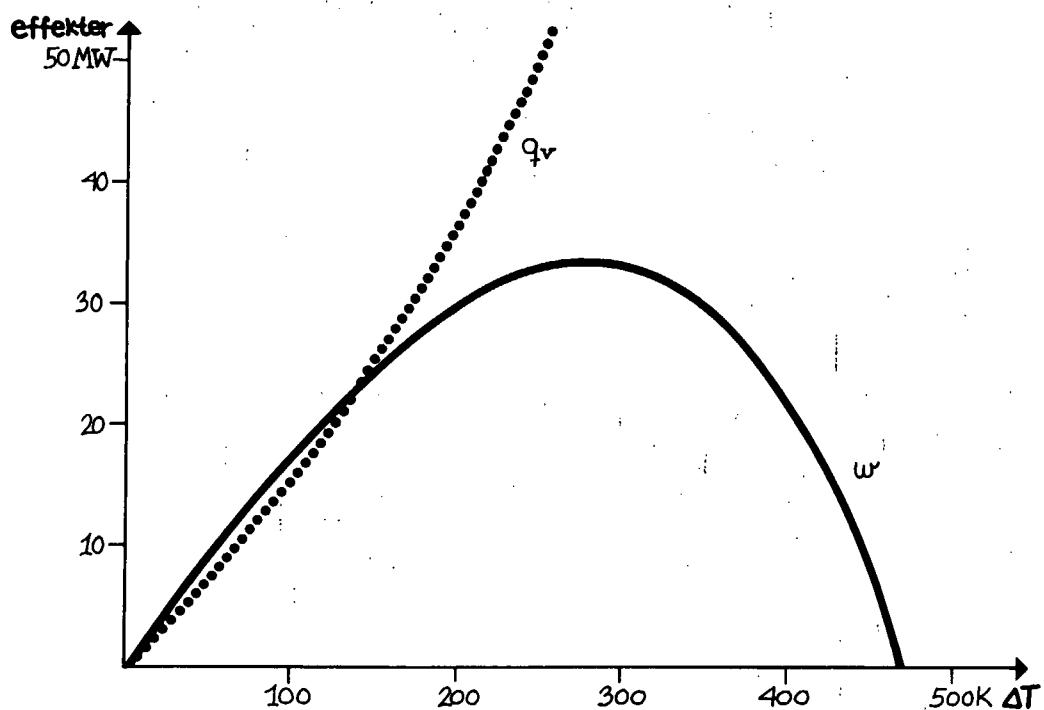
$$w_{opt.} = \frac{1}{\rho} (\sqrt{T_H} - \sqrt{T_V})^2$$

Forløbet af q_V fremgår også af figur 4.2. Desuden fremgår effektiviteten η af figur 4.3.

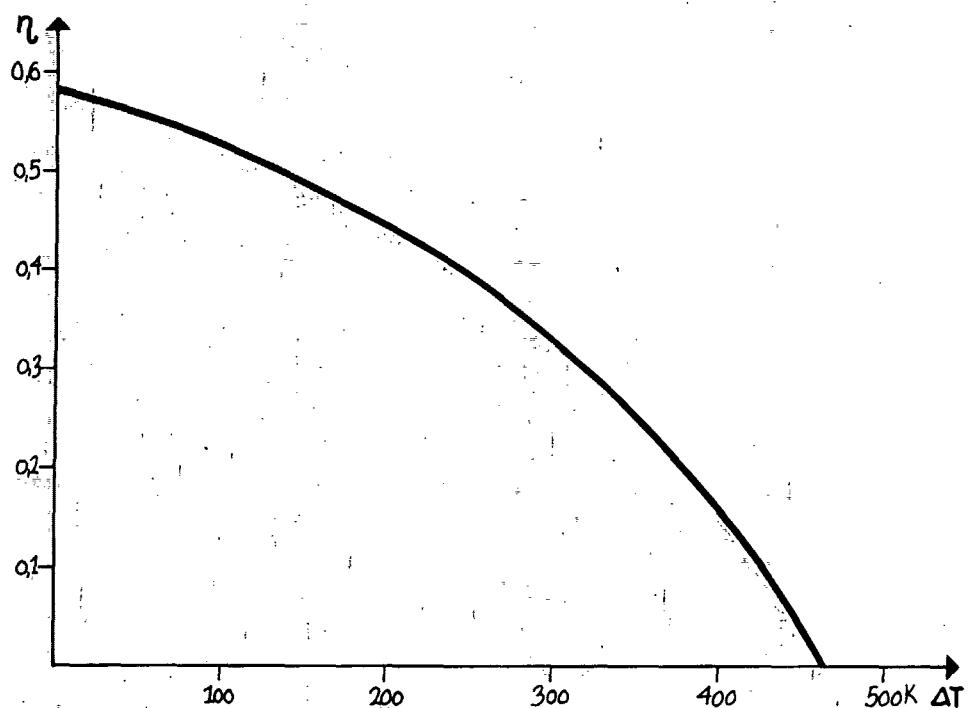
Kraft & fjernvarme-optimering



Figur 4.1 Overskudet F 's variation med ΔT . ΔT er udtryk for, hvor meget der er skruet op for gashåndtaget. Der er netop et ΔT , der giver maksimalt overskud.



Figur 4.2 De to effekter, der indgår som funktion af ΔT . Varmeproduktionen stiger, jo mere der skrues op for gashåndtaget, altså stigende ΔT . Den mekaniske effekt w har et maksimum. Bemærk at det falder for en højere værdi af ΔT end den, der giver det maksimale overskud.



Figur 4.3 Nyttevirkningen som funktion af ΔT (gashåndtaget). Effektiviteten har sit maksimum for $\Delta T=0$, altså i den reversible grænse. Her er effektivitetet, η givet ved $1-T_V/T_H$. Maksimal w svarer til $\eta=1-\sqrt{T_V/T_H}$, medens maksimalt overskud svarer til $\eta=1-\sqrt{\Delta \pi T_V/T_H}$, hvor $\Delta \pi$ er forskellen mellem prisen på mekanisk effekt og varmeeffekt ved den høje temperatur divideret med prisforskellen mellem mekanisk og varmeeffekt ved lav temperatur.

Nyttevirkningen η er defineret som:

$$\eta = \frac{w}{q_H}$$

Nyttevirkningen opnår sit maksimum for $\Delta T = 0$, et maksimum der er det klasiske Carnot-udtryk:

$$\eta_{opt} = 1 - \frac{T_V}{T_H}$$

Den nyttevirkning, der opnåes ved maksimal mekanisk effekt, $\eta_{opt,w}$ er som tidligere vist:

Kraft & fjernvarme-optimering

$$\eta_{opt. w} = 1 - \sqrt{\frac{T_v}{T_h}}$$

Hermed er en strækt simplificeret udgave af et kraftvarmeværk beskrevet. Men selv om modelen er simpel, udviser den en række interessante træk, som afviger klart fra de resultater, en normal termodynamisk analyse giver.

Nyttevirkningen, når værket køres, så overskudet bliver maksimalt, er givet ved:

$$\eta_{opt. F} = 1 - \sqrt{\frac{(\Pi_w - \Pi_h) T_v}{(\Pi_w - \Pi_v) T_h}}$$

4.2. Konklusion

Denne endelig-tids beskrivelse af et endoreversibelt kraftvarmeværk er meget forenklet, men sit ringe antal systemparametre til trods viser den de væsenligste sider ved et kraftvarmeværk, der kører i modtryksdrift, samt et kraftvarmeværk, der presses til en højere varmeydelse, på bekostning af elproduktionen, end der normalt betragtes. Der opnåes helt enkle udtryk for den økonomisk optimale drift. Nyttevirkningen, η er endda uafhængig af ρ . ρ fastlægger systems størrelse. Udtrykket for η er således universelt for maskiner, der kan beskrives som endoreversible. Bemerk også at det kun er varmepriserne relativt til prisen på mekanisk arbejde, der indgår i udtrykkene. Der er således kun to frihedsgrader for de tre prisers indflydelse på den optimale drift og overskudets størrelse.

Systemmets kobling til elnettet og prisfastsættelsen på el er diskuteret i afsnit 6.1.3.

5. Fjernvarmesystem

Opbygningen og driften af et fjernvarmesystem er grundigt beskrevet og simuleret i *Fjernvarmeoptimering - eksempel på effektiv energiplanlægning* af Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen. (IMFUFA-tekst nr. 89, 1984). Heri er prisfunktioner for anlæg og drift af fjernvarmesystemer opskrevet, forbrugerens radiatorareals indflydelse er medtaget, ligesom afkølingen i radiatorsystemet er gennemgået, således at returntemperaturen hos forbrugeren er fundet som funktion af driftssituationen. Hele fjernvarmesystemet er optimeret over driftsforhold, der varierer med tiden, og betydningen af valg af kalkulationsrente og levetid er belyst. Alt dette skal derfor ikke gentages her. Der skal blot gøres brug af enkelte udtryk fra rapporten, og de vil ikke blive kommenteret særligt her.

5.1. Optimal strømningshastighed

Betrægt et transmissions-fjernvarmesystem fastlagt ved rørenes indvendige diameter, D , isoleringens tykkelse, H og systemets længde, L .¹⁾ De variable udgifter ved at drive et fjernvarmesystem er køb af varme, både det der skal sælges videre til forbrugerne, og det der går tabt som tab fra ledningerne. Pumpning af vandet er endnu en udgift, mens salg til forbrugerne er en indtægt. Kalder vi i dette kapitel udgifterne pr. tidsenhed for U , kan følgende udtryk skrives op:

1. L regnes som afstanden fra værk til forbrugerne. Den samlede længde rør er således $2L$, når både frem- og returløb regnes med.

Kraft & fjernvarme-optimering

$$U = \Pi_V (q_F + q_{tab}) + \Pi_p w_p$$

hvor Π_V er prisen for varme købt på værket
 q_F er den effekt forbrugerne modtager
 q_{tab} er effekttabet fra fjernvarmenettet
 Π_p er prisen for pumpning
 w_p er den nødvendige effekt til pumpning

Problemet er at minimere udgiferne for det givne fjernvarmesystem ved at variere strømningshastigheden J . Inden de formler, der indgår, opskrives, indføres et par nye betegnelser, der kan lette skrivearbejdet

$$j = J c_v \rho_v \text{ [W/K]}$$

hvor J er strømningshastigheden [m^3/s]
 c_v er vands specifikke varmefylde
(4190 J/kg K)
 ρ_v er vands massefylde ($977,8 \text{ kg/m}^3$)

$$\theta = L/R_{iso} \text{ [W/K]}$$

hvor R_{iso} er varmemodstanden for rørene

$$R_{iso} = \frac{\log(1 + \frac{2H}{D})}{2\pi\lambda}$$

hvor λ er isoleringsgraden ($0,027 \text{ W/K m}$)

$$T_r = T_R - T_0$$

hvor T_R er returtemperaturen fra forbrugerne
 T_0 er jordens temperatur (281 K)

$$T_v = T_V - T_0$$

hvor T_V er fremløbstemperaturen fra værket

$$q_V = q_F + q_{tab}$$

hvor q_V er effekten produceret på værket.

Kraft & fjernvarme-optimering

Det antages, at forbrugeren altid returnerer fjernvarmevænget med samme temperatur, T_R , uafhængig af forbrug og strømningshastighed. Det er naturligvis ikke tilfældet i virkeligheden, men det er en approximation, der ikke flytter resultatet væsenligt. Desuden ligner den virkeligheden for nogle typer forbrugerindstallationer²⁾ - og det letter analysen væsenligt.

De to effekter, der indgår i udtrykket for U , kan ud fra Lillethorup og Pedersen opskrives som:

$$q_{tab} = j(T_r + T_v)(1 - \exp(-\frac{\theta}{j}))$$

$$w_p = (0,0028 + \frac{0,025}{(\frac{4\rho_v J}{\pi \eta_v D})^{0,32}}) \frac{16}{\pi^2} \cdot \frac{J^3}{D^5} \rho_v L$$

hvor

ρ_v er vands massefyldte ($977,8 \text{ kg/m}^3$)

η_v er vands dynamiske viskositet ($0,404 \text{ kg/m s}$)

D er rørenes diameter

L er rørenes længde fra værk til forbruger

Sammenhængen mellem T_v og j gives ved:

$$q_F = j(T_r + T_v \exp(-\frac{\theta}{j}))$$

hvor q_F er den effekt, forbrugerne modtager

Indføres sammenhængen mellem T_v og j , fås følgende udtryk for T_v som funktion af j og q_F :

$$T_v = (\frac{q_F}{j} + T_r) \exp(\frac{\theta}{j})$$

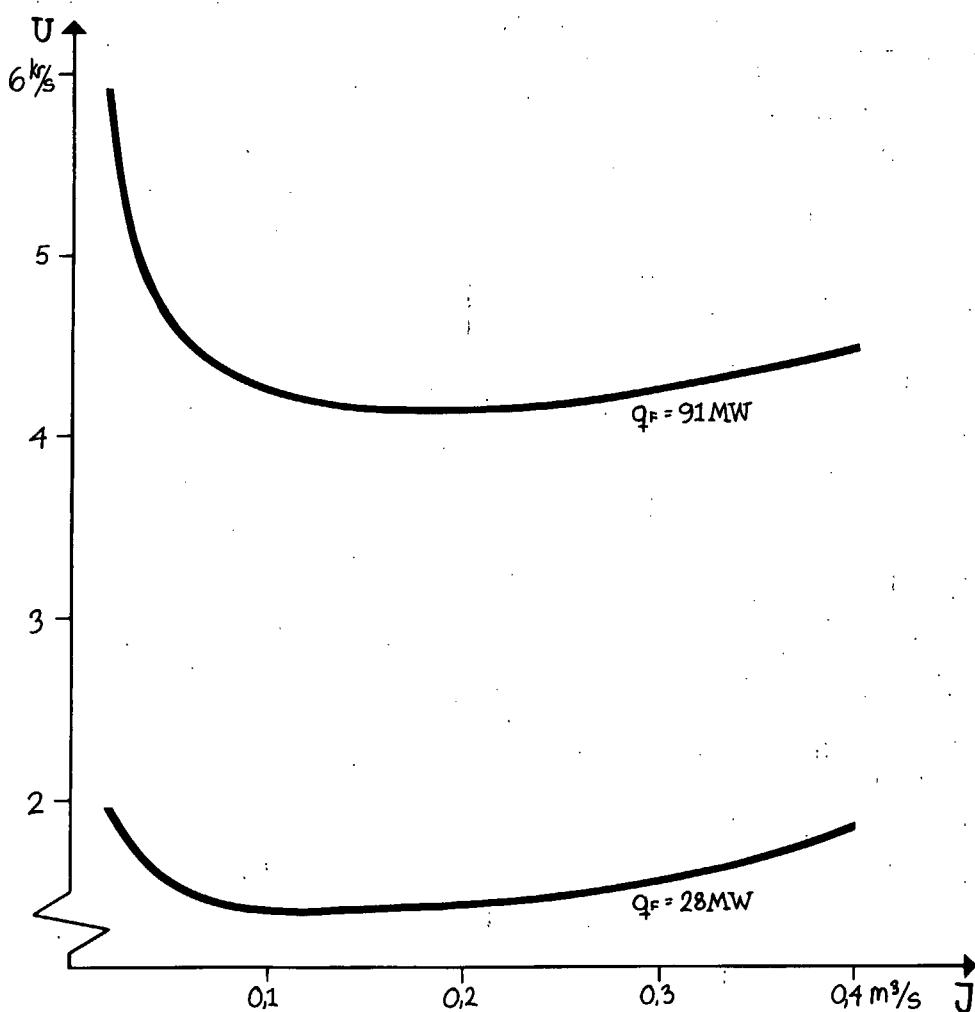
Herefter kan $g_v = q_{tab} + q_F$ findes som funktion af j og q_F :

2. En konstant T_R vil fx. forekomme ved gennemstrømningsvarmere. Indrettes disse smart, kan en ret lav returtemperatur opnåes, hvorimod visse gamle konstruktioner giver en meget høj returtemperatur konstant over året på f.ex. 60°C .

Kraft & fjernvarme-optimering

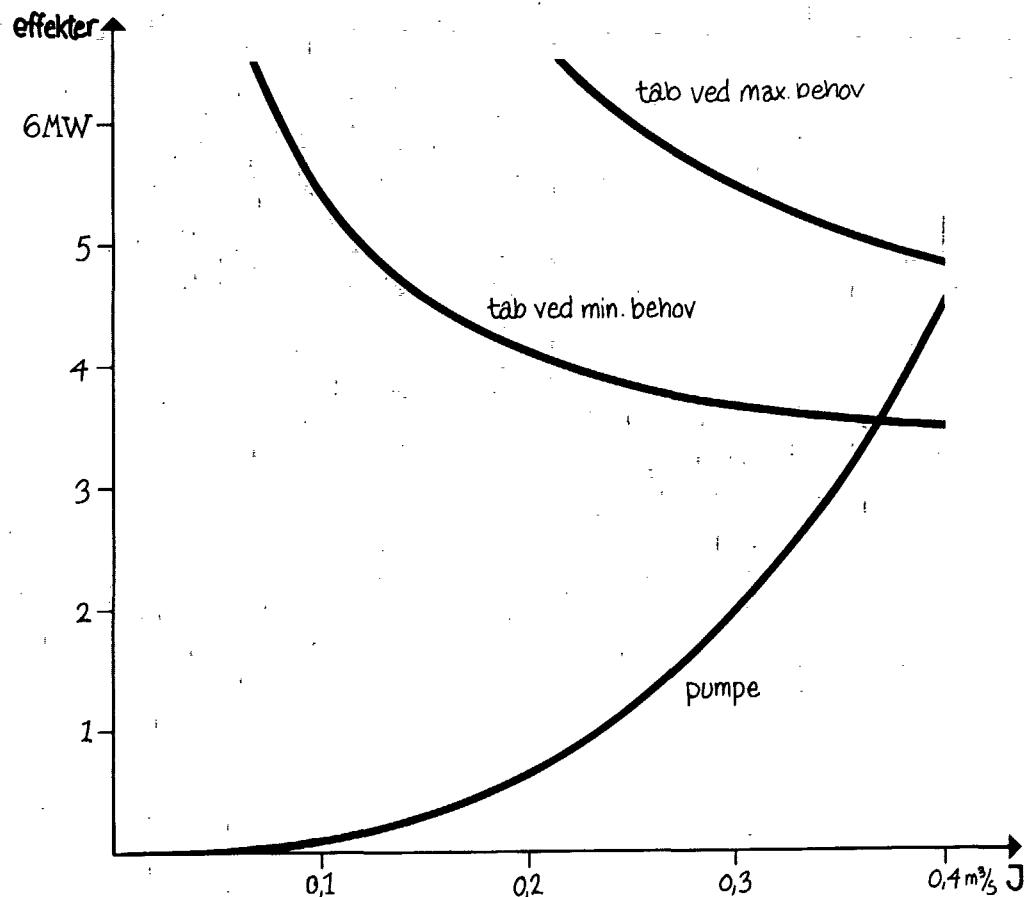
$$q_V = q_F \exp\left(\frac{\theta}{j}\right) + 2jT_r \sinh\left(\frac{\theta}{j}\right)$$

Det er ikke muligt analytisk at besvare spørgsmålet: *Hvilken strømningshastighed, j, giver de minimale udgifter?* for hvis man differentierer U med hensyn til j, sætter lig nul og forsøger at finde j, får man en ligning hvor der forekommer j i en positiv potens, $j \exp(1/j)$, $1/j * \exp(1/j)$ og konstant led. Det er en transcendent ligning. Problemet kan naturligvis løses numerisk, men det vil vi ikke. Derimod vil vi i næste afsnit foretage en lavtids approximation. På figur 5.1 ses U's variation med J.



Figur 5.1 Udgifterne i fjernvarmesystemet som funktion af strømningshastigheden. Der er optegnet udgiftsforløb for to forskellige belastninger, svarende til maksimalbelastningen på 91 MW og på belastningen i resten af året på 28 MW. Bemerk at udgifterne har et minimum.

På figur 5.2 ses, hvordan de effekter, der indgår i udtrykket for U , varierer med J .



Figur 5.2 De to effekter til pumpning og tab fra fjernvarmenettet som funktion af strømningshastigheden. Tabet er optegnet for de to belastninger fra figur 5.1. Pumpeforbruget er uafhængigt af varmebehovet.

5.2. Lavtab-approximation

For mange systemer vil der gælde, at argumentet til den eksponialefunktion, der indgår i U , er lille:

$$\frac{\theta}{J} \ll 1$$

Denne betingelse svarer til, at tabet i systemet er lille. Derfor kaldes approximationen for lavtab-approximation. En tyk isolering gør R_{iso} stor og θ lille. Et kort system gør

Kraft & fjernvarme-optimering

tabet lille og θ ligeså. Er lavtabs betingelsen opfyldt, kan eksponentialfunktionen rækkeudvikles til en endelig orden som en rimelig approximation. Her vil vi rækkeudvikle til første orden. Desuden bliver approximationen bedre, jo større J er. Bemærk at q_{tab} i denne approximation bliver uafhængig af j , hvilket jo stemmer smukt overens med det område vi er interesseret i på figur 5.2.

5.2.1. 1.ordens lavtab

Udtrykkene for produktionen på værket bliver for $\frac{\theta}{J} \ll 1$:

$$q_v \approx q_F \left(1 + \frac{\theta}{J}\right) + 2T_r \theta$$

Var vi gået til anden orden i vores rækkeudvikling, havde vi også fået et led i udtrykket for q_{tab} af formen $-\frac{1}{2}(T_v + T_r)\theta^2/J$, men som vi kan se af figur 5.2 er et led med $1/J$ først nødvendigt for meget lave værdier af J .

Udtrykket for w_p approximeres med:

$$w_p \approx A J^3$$

Som vi så, var w_p af formen $Bj^3 + CJ^{2.68}$, men det er muligt at lave en god approximation af den nævnte form. Konstanten A er valgt således:

$$A = (0.0028 + \frac{0.025}{(\frac{4\rho_v J^*}{\pi \eta_v D})^{0.32}}) \frac{16}{\pi^2} \cdot \frac{1}{D^5} \rho_v L \quad [\text{kg/m}^7]$$

hvor

ρ_v er vands massefylde ($977,8 \text{ kg/m}^3$)

η_v er vands dynamiske viskositet ($0,404 \text{ kg/m s}$)

J^* er en gennemsnits strømningshastighed

D er rørenes diameter

L er rørenes længde fra værk til forbruger

5.2.2. Lavtab-optimering af overskudet

I lavtab-approximationen har udtrykket for U en form, hvor det er let at arbejde med.

$$\begin{aligned} U(j) &= \Pi_V q_V + \Pi_p w_p \\ &\approx \Pi_V (q_F (1 + \frac{\theta}{j}) + 2T_r \theta) + \Pi_p a j^3 \end{aligned}$$

hvor $a = A/(c_v \rho_v)^3 [K^3/W^2]$

Differentieres denne ligning og sættes lig nul, fås et udtryk, hvoraf j let findes som:

$$j_{approx} = (\frac{\Pi_V}{3a\Pi_p} q_F \theta)^{0.25}$$

Dette er et simpelt udtryk for den approximative optimale strømningshastighed, som giver de minimale udgifter:

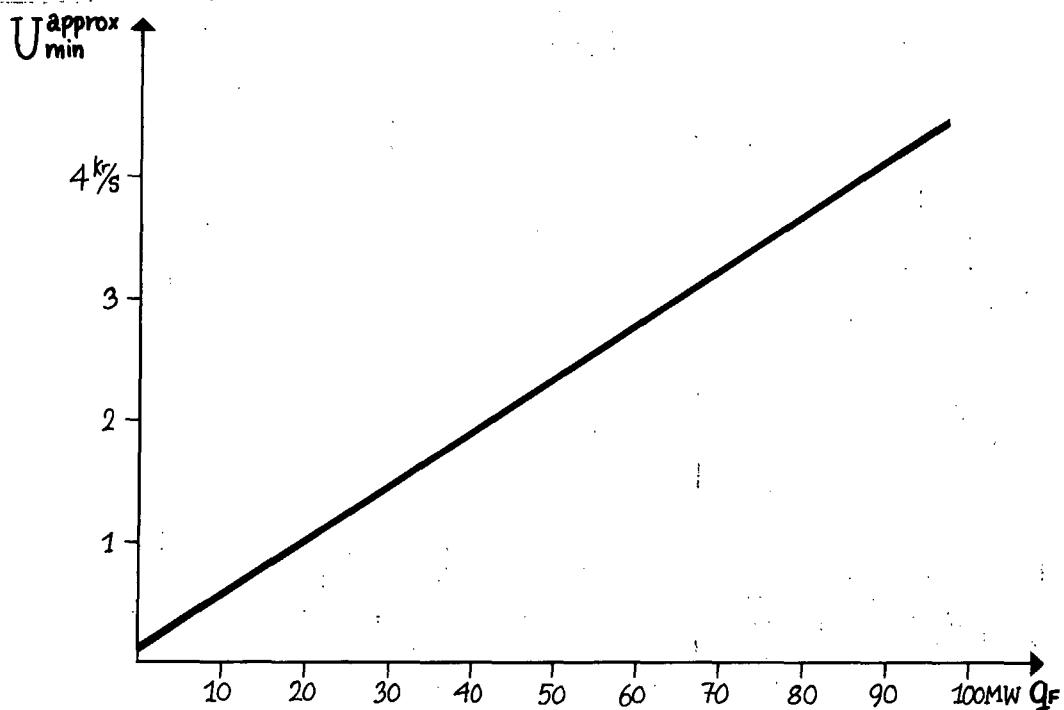
$$U_{approx} = \Pi_V (q_F + 2T_r \theta + 4(\frac{\Pi_p}{27\Pi_V} a q_F^3 \theta^3)^{0.25})$$

På figur 5.3 ses U_{approx} 's variation med varmebehovet, q_F . Variationen af U_{approx} er domineret af det lineære led i dette system. Ledet med q_F i % er her ihvertfald en størrelsesorden mindre.

Variationen af strømningshastigheden, j_{approx} , med q_F er afbilledet i figur 5.4. Det ses ved sammenligning med figur 5.1 at approximationerne er gode for dette system.

Variationen af fremløbstemperaturen fra værket, T_v , er optegnet i figur 5.5.

Det ses at den optimale drift er således at både strømningshastighed og fremløbstemperatur stiger med belastningen i varmebehovet.

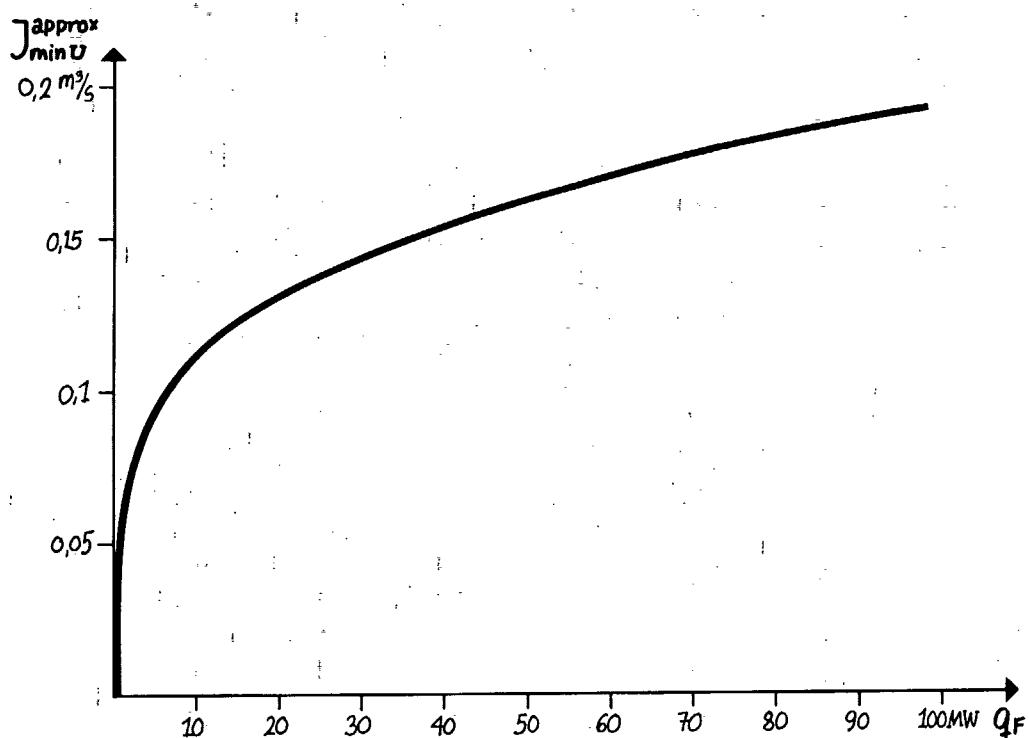


Figur 5.3 De minimale udgifter som funktion af behovet. Det er det approximative udtryk for de minimale udgifter der er tegnet op. Ved sammenligning med figur 5.1 ses at approximationen er god i dette system. Det ses, at det er det lineære led, der er det dominerende. De minimale udgifter pr. leveret energienhed er optegnet i figur 7.3.

5.3. Konklusion

En beskrivelse af driftsituationen og driftøkonomi for et fjernvarmesystem er vist at kunne gøres matematisk simpel ved en antagelse om fast returtemperatur fra forbrugerne. En antagelse om at $\frac{q}{j} \ll 1$ (lavtab-approximation), giver for mange systemer en god tilnærmelse, og denne antagelse giver mulighed for en analytisk løsning til problemet om økonomisk optimal drift. Der fåes et simpelt og operativt udtryk for den optimale strømningshastighed.

Udtrykket for U_{min}^{approx} kan også bruges til at fastlægge den økonomisk optimale diameter af fjernvarmerørerne. Det er muligt direkte at differentiere udtrykket for U_{min}^{approx} med hensyn til diametren D. Så skal denne differentialkoefficient svare til, hvor meget det koster at investere i større diameter. Nu bør der dog tages hensyn til, at der er skif-



Figur 5.4 Den strømningshastighed, der giver de minimale udgifter, som funktion af behovet. Sammen med figur 5.5 angiver figuren den optimale driftstrategi for fjernvarmesystemet. Hvis der var valgt en driftstrategi hvor behovsændringer udelukkende besvaredes med ændring i strømningshastigheden, ville der være en lineær sammenhæng mellem behov og strømningshastighed. Dette fænomen er illustreret i figur 7.2, hvor der tages højde for, at fremløbstemperaturen ikke må blive for høj.

tende belastninger i forbrugerbehovet hen over året. Det er således ikke U_{min}^{approx} der skal benyttes, men derimod \bar{U}_{min}^{approx} . \bar{U}_{min}^{approx} er gennemsnitsværdien over året af U_{min}^{approx} og er defineret ved

$$\bar{U}_{min}^{approx} = \frac{1}{\tau} \int U_{min}^{approx}(q_F(t)) dt$$

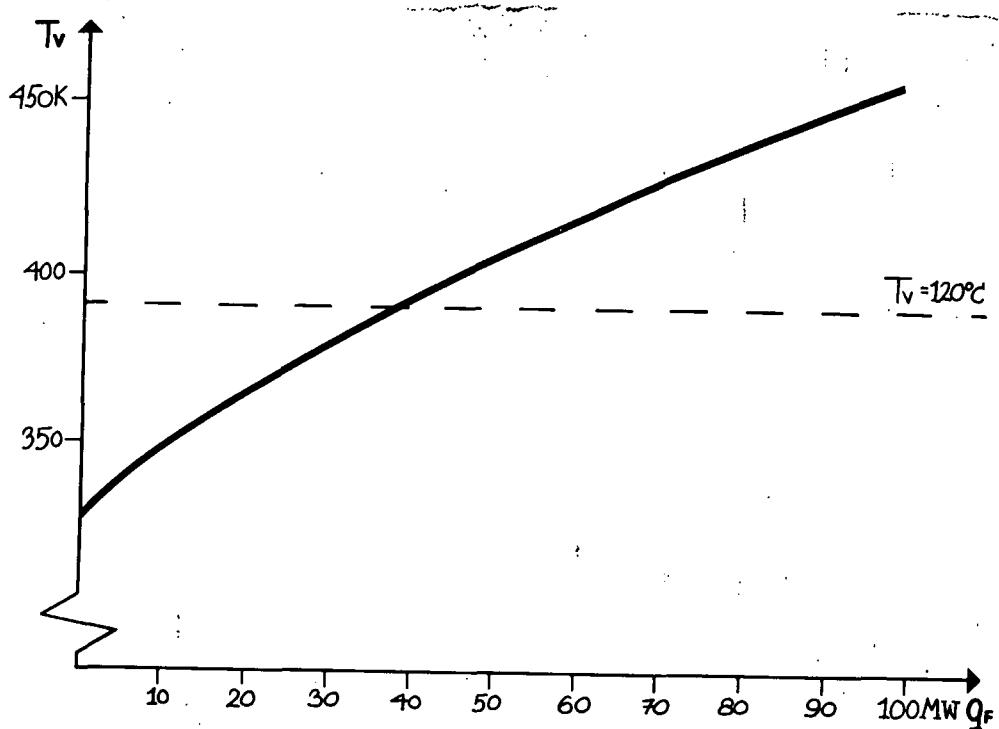
hvor der integreres over et år

τ er et år

t er tiden

$q_F(t)$ er variationen i
forbrugerbehovet over året

Kraft & fjernvarme-optimering



Figur 5.5 Fremløbstemperaturen fra værket som funktion af behovet ved optimal driftstrategi. Temperaturen får lov til at vokse, også ud over det, der normalt er acceptabelt. Dette er diskuteret i kapitel 7.

Behovet $q_f(t)$ kan tilnærmes til en trappefunktion, og integralet kan erstattes af en summation. I den tilnærmede til variationen i behovet, der benyttes her, bliver integralet blot en sum med to led. Metoden er nærmere beskrevet i afsnit 6.2.

Der er dog et væsenligt problem ved denne beskrivelse. Der er ikke fastsat nogle regler for, hvor stor fremløbstemperaturen ved værket, T_v må blive. Det vil der i praktisk være. En øvre grænse på 120°C er det almendeligste, og en sådan grænse overskrides i dette system, når belastningen er 40% af den maksimale. Det vil belastningen være i 40% af året. Når temperaturen, som den økonomisk optimale drift foreskriver, når 120°C , må der overgås til en driftstrategi, hvor T_v holdes fast, og strømningshastigheden skal regulere hele stigningen i behovet. Det betyder, at strømningshastigheden stiger lineært med behovet.

Kraft & fjernvarme-optimering

Dette temperaturforhold vil spille en rolle for optimeringsforsøg af diameteren, som nævnt ovenfor. Der vil komme et knæk på $U_{\text{upper}}(t)$ der, hvor temperaturgrænsen nåes.

6. Kraftvarme-fjernvarme system

I dette kapitel kombineres metoden fra de to foregående kapitler til en beskrivelse af et sammenhængende kraftvarmeverk og fjernvarmenet. For værket er det den endeligtids-beskrivelse, vi benyttede i kapitel 4, der benyttes. Det betyder, at varmeledningsmodstanden ρ kommer til at indgå. Koefficienten var summen af varmeledningskoeficenterne før og efter Carnot-cyklen. For fjernvarmenettet vil det som i foregående kapitel være strømningshastigheden, J , der skal være den frie variabel. Nu skal der betragtes en situation med en given efterspørgsel på varmeeffekt hos forbrugerne, q_F . Denne efterspørgsel skal efterkommes med et minimum af udgifter. Det skal den ved at variere på strømningshastigheden J i fjernvarmesystemet og den temperatur, som værket leverer med, T_V .

6.1. Systembeskrivelse

Systemet består af et kraftvarmeverk, som det er beskrevet i kapitel 4, det vil sige en Carnotmaskine der er forbundet med et koldt og et varmt reservoir via endelig varmeledninger. Der er et gashåndtag, og i kapitel 4 fandt vi det økonomske udbyttes maksimum. Vi skal senere benytte en række udtryk fra dette kapitel. Her er den kolde side af kraftvarmeverket forbundet med et fjernvarmesystem, som skal opfylde et effektbehov hos forbrugerne. Det kræver en produktion på værket, samt at fjernvarmeverket pumpes rundt. Der er dog en frihed i valg af strømningshastighed, og, som vi skal se, kan hele systemets drift fastlægges som afhængig af strømningshastigheden, J .

6.1.1. Udgifterne

Udgifterne til at forsyne forbrugerne med effekten, q_F , består af flere dele:

Brænslet til indfyring i kraftvarmeverket

Pumpningen til at cirkulere fjernvarmevandet

og endelig en enkelt indtægt

Elektriciteten produceret af værket

Indtægten fra salg af fjernvarme regner vi ikke med, da vores mål er at fastlægge de minimale udgifter og hermed forbundet optimal driftstategi for givent behov hos forbrugerne. Indtægten fra salg til forbrugerne er konstant og derfor uinteressant. De tre bestanddele i vores udgiftsfunktion U er:

$$U = \Pi_P w_P + \Pi_H q_H - \Pi_W w$$

Alle betegnelser er tidligere defineret. Det er denne udgiftsfunktion der ønskes minimeret ved at variere J . Først må vi opskrive formlerne for effekterne, så deres afhængighed af J kan undersøges. Vi går over til j , ℓ , T_r og T_v som variable; de er defineret i kapitel 5.

For givent effektforbrug, q_F kan fremløbstemperaturen fra værket skrives som funktion af j :

$$T_v = \left(\frac{q_F}{j} + T_r \right) \exp\left(\frac{\ell}{j}\right)$$

Produktionen på værket, q_V kan skrives som:

$$q_V = q_F \exp\left(\frac{\ell}{j}\right) + 2jT_r \sinh\left(\frac{\ell}{j}\right)$$

Kraft & fjernvarme-optimering

Nu er T_V og q_V kendt som funktioner af j , og da T_H regnes som givet, kan effekten til værket, q_H findes, idet vi tidligere har fundet, at:

$$q_V = \frac{q_H T_V}{T_H - q_H \rho}$$

eller, hvis vi genindfører betegnelse $\Delta T = \rho q_H$:

$$q_V = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta T T_V}{T_H - \Delta T}$$

Da ΔT nu kan findes til

$$\Delta T = \frac{\rho q_V T_H}{T_V + \rho q_V}$$

kan også w findes idet der gælder at:

$$w = \frac{1}{\rho} (\Delta T - \frac{\Delta T T_V}{T_H - \Delta T})$$

Som funktion af T_V og q_V bliver w :

$$w = q_V \frac{T_H - T_V - \rho q_V}{T_V + \rho q_V}$$

For pumpearbejdet benyttes samme approximation som i det forrige kapitel:

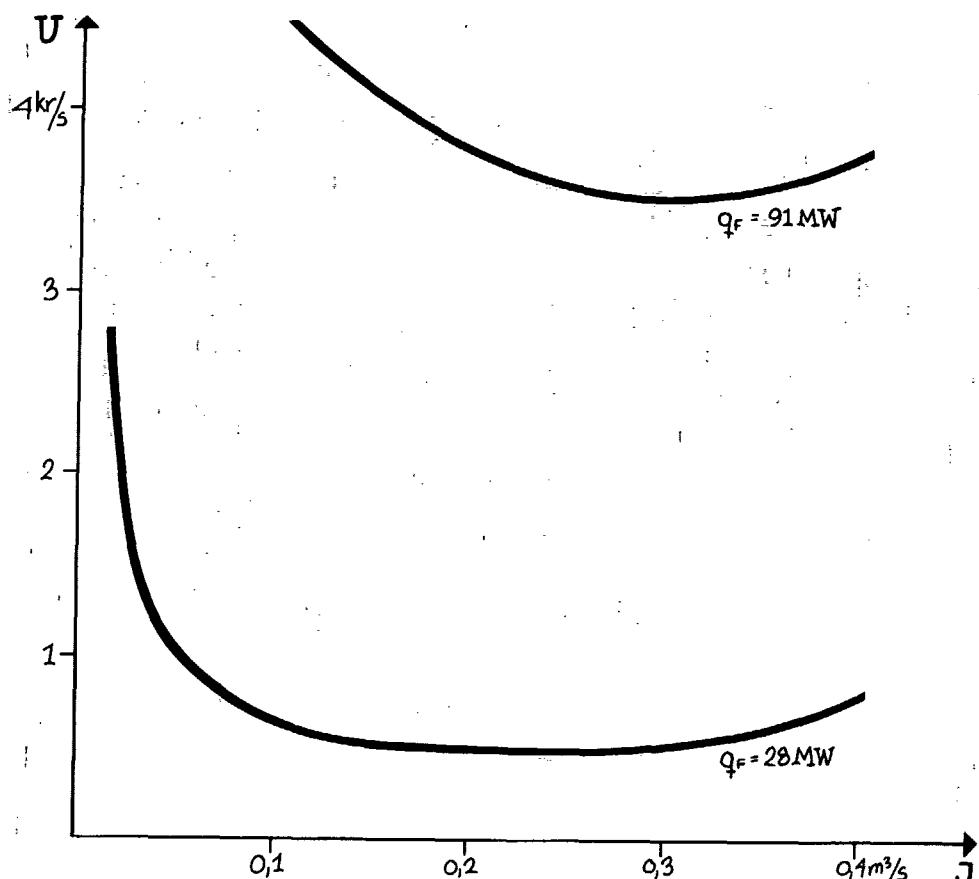
$$w_p = a j^3$$

De samlede udgifter ved at leve effekten q_F kan således skrives:

Kraft & fjernvarme-optimering

$$U = \Pi_P a_j^3 + \Pi_H \frac{a_V T_H}{T_V + \rho q_V} - \Pi_W a_V \frac{T_H - T_V - \rho q_V}{T_V + \rho q_V}$$

Udgifterne som funktion af J er optegnet i figur 6.1.

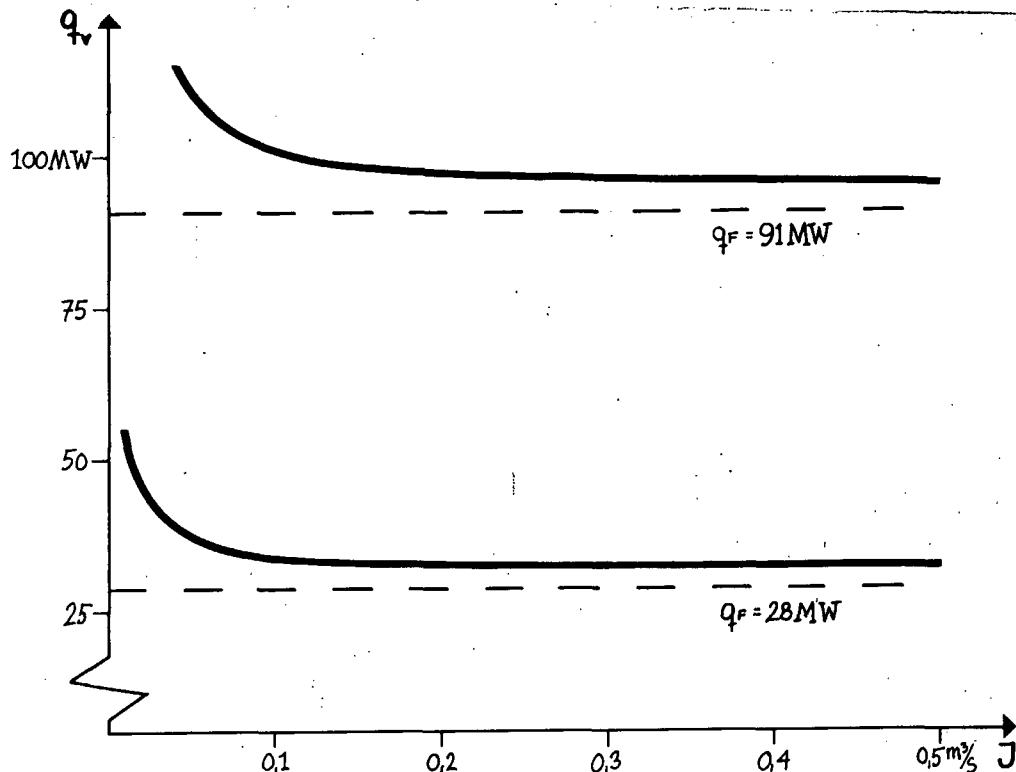


Figur 6.1 Udgifterne i kraft-fjernvarmesystemet som funktion af strømningshastigheden. De ses at have et minimum. Der er optegnet udgifter for to belastninger.

Udgifterne har et minimum, og det er dette minimum og den værdi af J , der giver det, der er emnet for det næste afsnit.

Produktionen på værket som funktion af J er optegnet på figur 6.2.

Problemet er nu at minimere U som funktion af J .



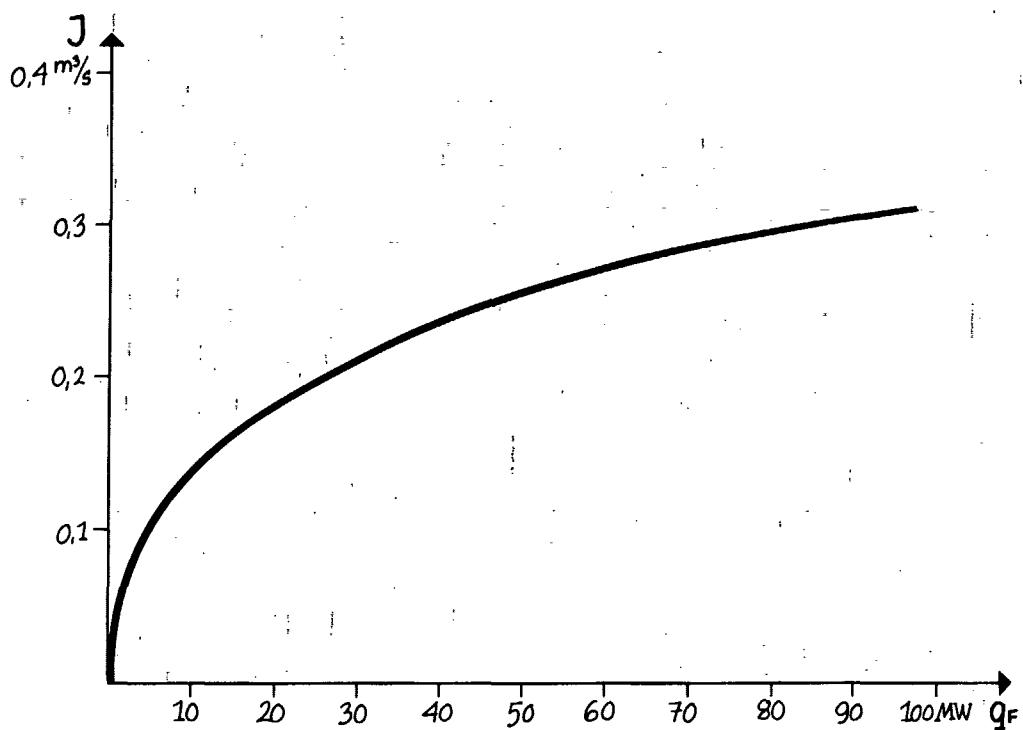
Figur 6.2 Produktionen på værket som funktion af strømningshastigheden. Værket køres således, at denne efterspørgsel på effekt kan opfyldes. Forbrugernes effektbehov er optegnet med stiplede linier.

6.1.2. Udgiftsminimering

Det kan ikke lade sig gøre analytisk at minimere $U(J)$. Der opstår problemer som de i forrige kapitel med transcendentale ligninger. Lavtabs approximationen er nu ikke nok til at sikre en analytisk løsning, men numerisk kan det naturligvis lade sig gøre. På figur 6.3 vises den strømningshastighed, der minimerer U for varierende behov q_F .

Fremløbstemperaturen fra værket, T_v , som funktion af q_v er vist i figur 6.4.

De samlede udgifters variation med q_F er tegnet op i figur 6.5. De har et lidt anderledes forløb end for det selvstændige fjernvarmenet i forrige kapitel, da der nu også er indtægterne fra salget af elektricitet. Denne forskel vil blive diskuteret i kapitel 7.



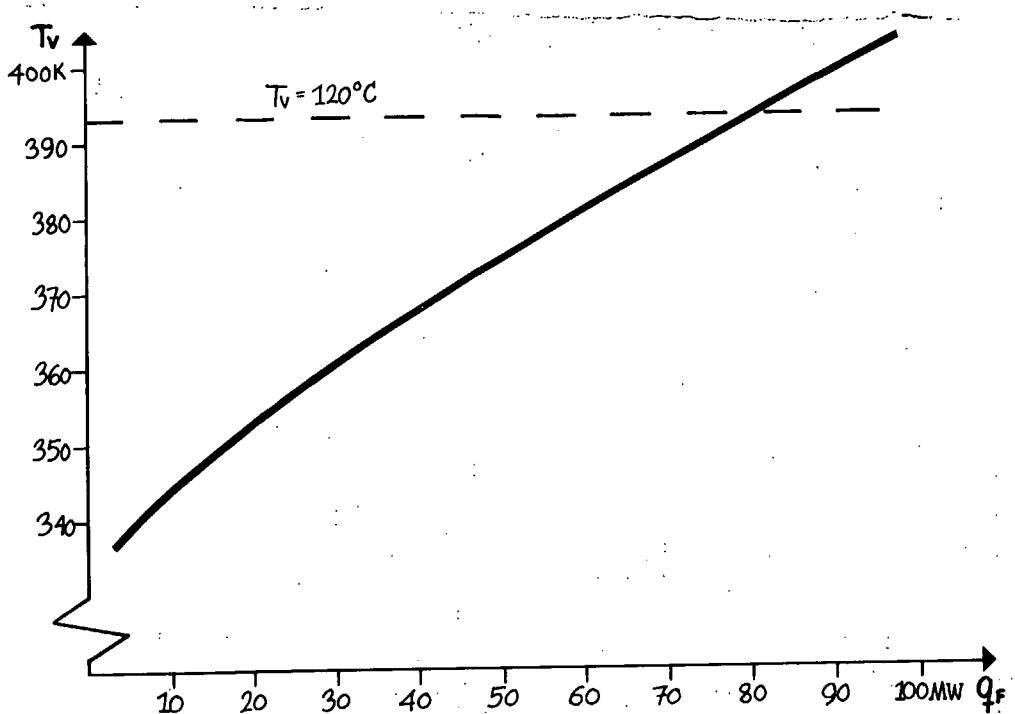
Figur 6.3 Den strømningshastighed, der minimerer udgifterne, som funktion af varmebehovet. Svarer til figur 5.4 for fjernvarmenettet. Der vælges i den optimale drift af kraftfjernvarmesystemet en højere strømningshastighed, da det er blevet dyrere at have høj fremløbstemperatur.

For fremløbstemperaturen og strømningshastigheden er der også forskelle i forhold til forrige kapitel. Dette kapitels system belønner lave temperaturer med højere elproduktion, hvilket tydeligt ses. Temperaturgrænsen omtalt i forrige kapitel på $120^\circ C$ nåes således først ved en belastning på godt 80% af den maksimale, og en så høj belastning forekommer normalt kun i 50 timer om året. Svarende til den lavere fremløbstemperatur er strømningshastigheden selvfølgelig blevet højere.

6.1.3. Kobling til el-nettet

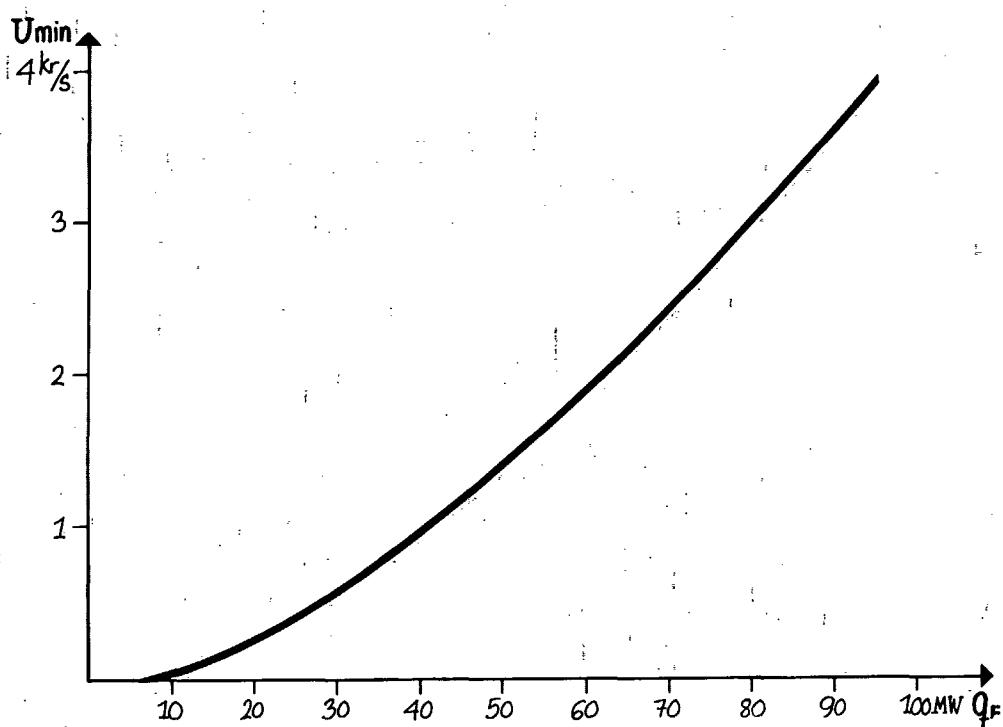
Koblingen til el-nettet er ikke beskrevet i denne rapport, men det er forudsat at strømmen kan afsættes, og til en pris, der er konstant over året. I virkeligheden afregnes

Kraft & fjernvarme-optimering



Figur 6.4 Den optimale driftstrategis fremløbs-temperatur for kraftfjernvarmesystemet. Temperaturene er lavere end den tilsvarende i figur 5.5 for fjernvarmenettet. Det skyldes, at høje fremløbstemperaturer her går ud over den indtægtsgivende elektricitetsproduktion. Det betyder, at der i dette system er langt mindre problemer med for høje fremløbstemperaturer. Se kapitel 7, specielt figur 7.2.

elektricitet således, også selvom marginalpriserne på elektricitet varierer med belastningen. Der er i den model, der her beskrives, benyttet et ret lille kraftvarmeverk. Derfor bliver produktionen af el ved højt varmebehov meget lav, som fremgår af figur 7.1 i næste kapitel. Derfor vil systemets elproduktion nok være dårligt korreleret med elbehovet, som er nogenlunde korreleret med varmebehovet på årsbasis, men varierer meget kraftigere på dagsbasis (særlig uden for week-ends). Problemet ved samkøring af varme- og elproduktion opstår for stigende kraftvarmebinding først i nogle forårs og efterårs week-ends, hvor den bundne elproduktion vil blive større end el-behovet. En fastlæggelse af kraftvarmeenhedens størrelse er således afhængig ikke blot af varmesiden men også af elsiden. Da elnettet er sammenhængende på landsdelsplan, kommer hele landsdelens øvrige el-



Figur 6.5 De minimale udgifter som funktion af behovet. Kurven ligner ved første øjekast figur 5.3, men som det fremgår af figur 7.3, er der væsenlige forskelle.

produktionskapacitet til at spille ind på det lokale valg af kraftvarmeenhed, hvis overordnede hensyn skal tages ved planlægningen. Byrden med spidslast lægges således meget over på elværkerne.

6.2. Konklusion

Der er opstillet en model bestående af et endelig-tids kraftværk koblet med et fjernvarmenet. Den præcise beskrivelse, hvor kun de absolut vigtigste led er medtaget giver en matematisk simpel beskrivelse.

En nem numerisk optimering giver den økonomisk optimale driftstrategi.

Som beskrevet i afsnit 5.3 kan kendskabet til de minimale udgifter for givet q_F bruges til at optimere systempara-

Kraft & fjernvarme-optimering

metrene. Hvis ξ er en systemparameter (D , H eller ρ), og prisen for den er Π_ξ , ønsker vi at bestemme ξ således at:

$$\frac{-1}{\tau A_n} \frac{\partial \Pi_\xi}{\partial \xi} = \frac{\partial \bar{U}_{min}}{\partial \xi}$$

hvor τ er antal sekunder i et år

$$\sim 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$$

A_n er annuitetsfaktoren

defineret i kapitel 3

\bar{U}_{min} er gennemsnit af U_{min}

defineret i afsnit 5.3

En sådan optimering er foretaget for både D og ρ . For D er $\partial \Pi_\rho / \partial D$ taget fra Lillethorup og Pedersen til at være $2L(17000H+701)$ kr/m, og for ρ er $\partial \Pi_\rho / \partial \rho$ fundet til at være 5 kr/W i den størrelse værker, der her er tale om (ref. Hovedstadsregionens Naturgas).

Det er en sådan optimering der ligger til grund for valget af parametre nævnt i kapitel 3. Programmet, der foretager optimeringen, er vedlagt i appendix.

Problemet omtalt i afsnit 5.3 med, at temperaturen i fremløbet kommer over 120°C , er som nævnt ikke aktuelt her, da det er så få timer om året, der skal bruges højere strømningshastigheder end dem, teorien forskriver. Se også figur 7.2 i næste kapitel.

7. Konklusion

Der er foretaget en endelig-tids beskrivelse af et endoreversibelt kraftvarmeverk og dets driftøkonomiske maksimum er bestemt.

Der er foretaget en matematisk simpel beskrivelse af et fjernvarmenet og en velbegrundet approximation er foretaget. Således at nettets optimale drift kan fastlægges.

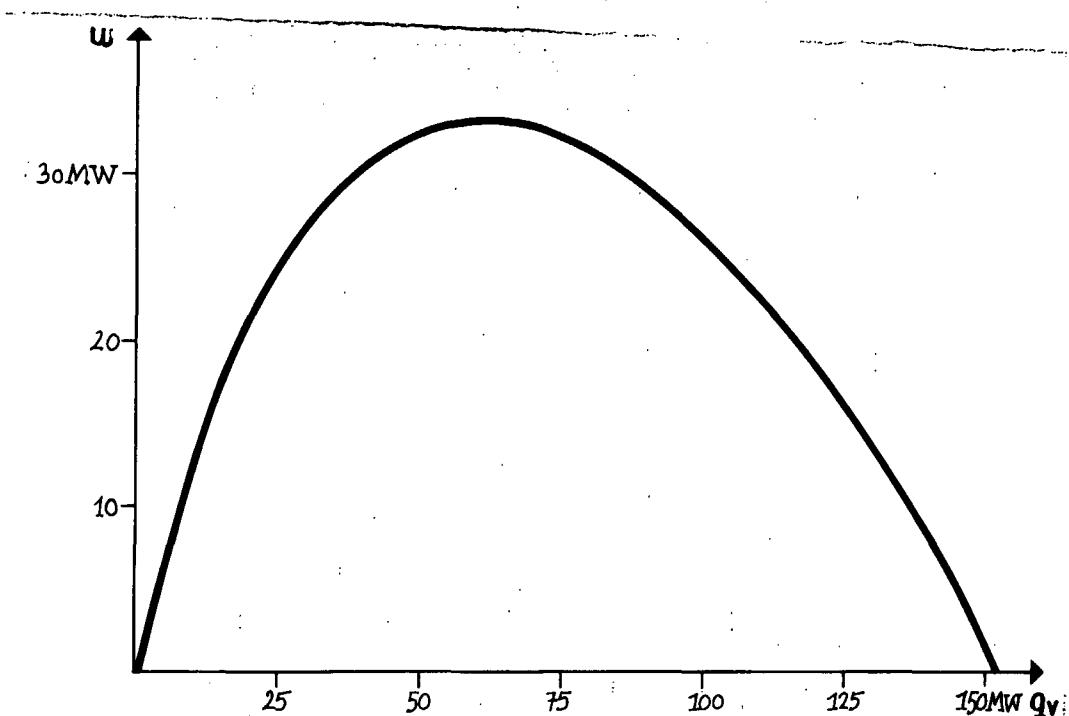
Der er foretaget en analyse af disse to systemer koblet sammen til et sammenhængende kraft-fjernvarmesystem.

Styrken ved beskrivelsen ligger til dels samme sted som svaghederne: i den meget enkle beskrivelse. Det endoreversible kraftværk indeholder ikke den bredde i opførsel, som et kraftvarmeverk har. Det har kun mulighed for een værdi af w for givet q_v . Se figur 7.1.

Den venstre del af kurven i figur 7.1, indtil lidt før topunktet, svarer til den sædvanlige modtrykskurve. Normalt antages kraftvarmeverker at producere strøm som det primære, og ikke som her, hvor det er varmebehovet, der er styrende. Med denne driftsfilosofi er den begrænsede beskrivelse helt tilfredsstillende, og den er et stort fremskridt frem for den parametrering, der benyttes i beskrivelsen i Lilletørup og Pedersen samt andre steder.

Fjernvarmesystemet er også stærkt forenklet. Det er ikke den fastlåste returtemperatur hos forbrugerne, der er det væsentligste problem, men derimod den totale mangel på stikledninger. Systemet er beskrevet som et rør frem og et tilbage. Det problem, det giver, er, at den isoleringstykke. H. der er valgt ikke får ret meget med en realistisk isolering at gøre. Det er nemlig i de små stikledninger, hvor overfladen pr enhed fjernvarme er stor, at et væsentligt varmetab sker. Derfor er der heller ikke gjort noget forsøg på at

Kraft & fjernvarme-optimering



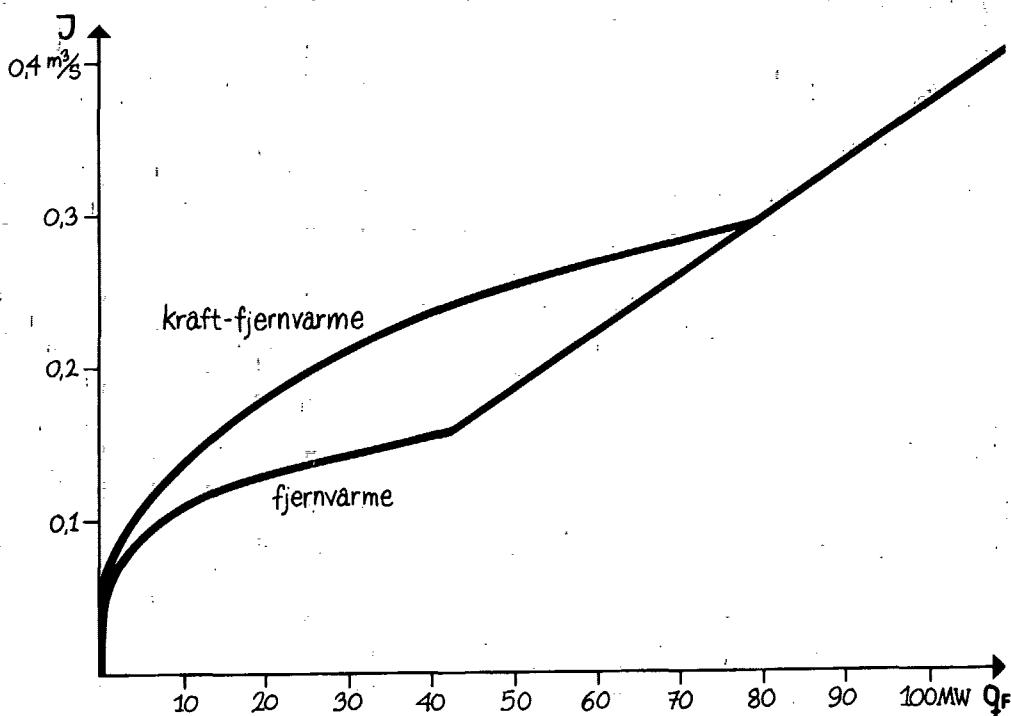
Figur 7.1 Den mekaniske effekt som funktion af varmeleverencen for et kraftvarmeværk. Normalt køres kraftvarmeværker efter elproduktionen, hvilket betyder at man kun er interesseret i den venstre del af kurven, hvor elproduktionen er stigende. Den svarer til modtryksdrift.

optimere isoleringstykken. Til det må der en anden model af fjernvarmesystemet til. Med dette forbehold må fjernvarmemodellen siges at tilnærme en optimal driftstrategi i et fjernvarmenet godt.

Problemet med et manglende loft over fremløbstemperaturen fra værket lader sig let løse. Enten ved en numerisk analyse eller grafisk som i figur 7.2.

Når T_V når loftet, fortsættes med en regulering, der akne bygger på strømningshastigheden J . Derfor bliver J lineær med q_F i dette område. På figur 6.6 ses, hvordan forløbet bliver både for kedel- og kraftvarmesystemet. Husk at de høje effekter forekommer meget sjældent.

Beskrivelsen af det samlede kraft-fjernvarmesystem viser tydeligt effekten af en temperaturafhængig varmekilde: Fremløbstemperaturen sænkes, mens der pumpes mere, så strømningshastigheden øges.

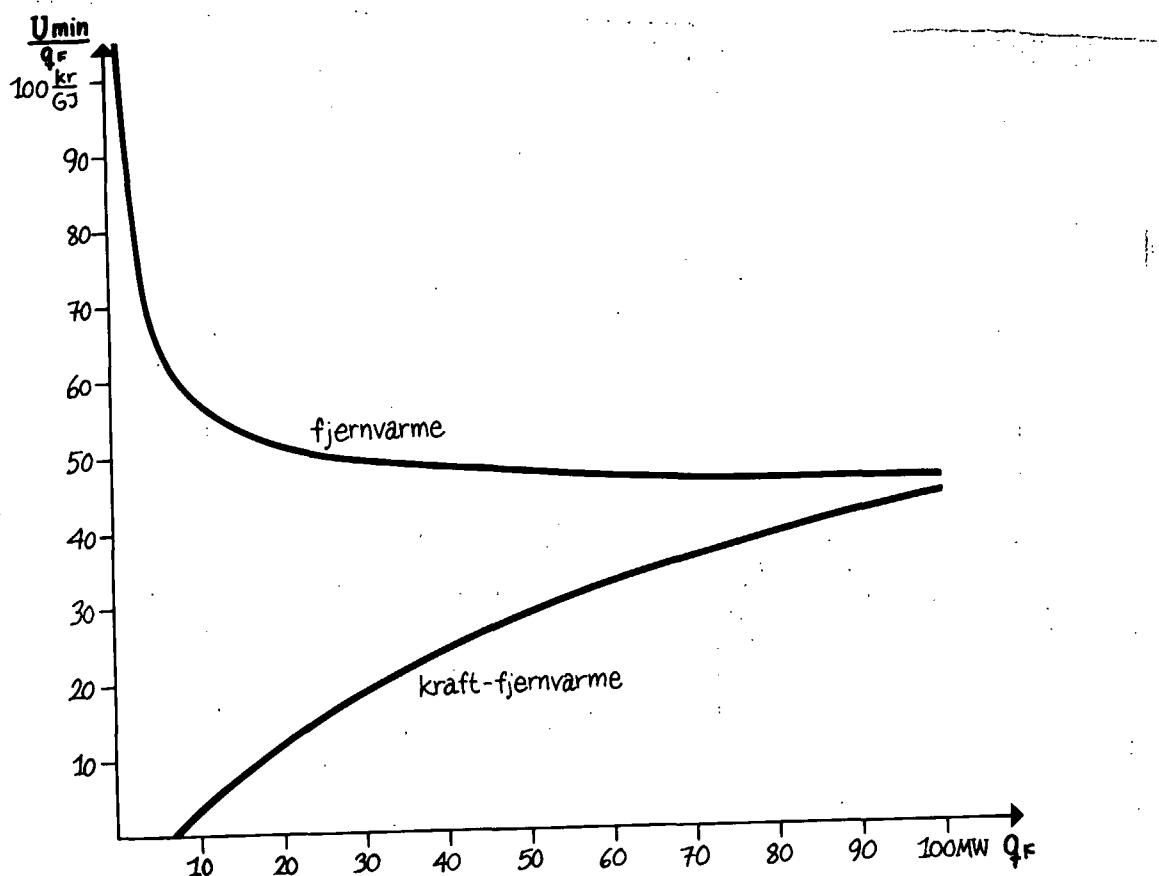


Figur 7.2 Strømningshastigheden som funktion af behovet ved optimal drift i både fjernvarmenettet og kraftfjernvarmesystemet. Der er taget hensyn til at fremløbstemperaturen ikke må blive over 120 °C. Dette sted er fundet ud fra figur 5.5 og 6.4. Over dette behov holdes fremløbstemperaturen fast, hvorfor strømningshastigheden stiger lineært med behovet.

Betrages udgifterne som funktion af varmebehovet fra fjernvarmesystemet i figur 5.3 og den tilsvarende for kraftfjernvarmesystemet i figur 6.1. ser de ret ens ud. Det er de ikke. Der er en væsenlig forskel på dem. Det ses lettest, hvis vi går over til at se på de samlede udgifter pr. produceret varmeenhed, U/q_V , vist i figur 7.3.

Figur 7.3 øverste kurve viser, hvordan prisen pr. energienhed falder i fjernvarmesystemet for stigende varmebehov for at flade ud for store behov. Derimod har kraft-fjernvarmesystemet den stik modsatte opførsel: Når behovet stiger, stiger ikke blot de samlede udgifter som vi så i figur 6.1, men også prisen pr. energienhed. Det skyldes, at når behovet stiger, skal der i begge systemer pumpes mere, men i kraftfjernvarmesystemet bliver der desuden produceret mindre elektricitet, så systemets indtægter går ned. Dette er en

Kraft & fjernvarme-optimering



Figur 7.3 Den minimale udgifter pr leveret varmeenhed som funktion af behovet. Kurven øverst er for fjernvarmenettet mens den nederste er for kraftfjernvarmesystemet. Det ses tydeligt at der er væsenlig forskel. Hvor en besparelse hos en forbruger i fjernvarmenettet betyder dyrere opvarmning hos dem der intet gør, giver en besparelse i kraftfjernvarmesystemet billigere varme til alle forbrugerne.

væsenlig forskel på de to systemer. Der er i kraft-fjernvarmesystemet et meget større incitament til at nedsætte varmebehovet, enten ved at foretage energibesparende foreanstaltninger hos forbrugerne, installere supplerende vedvarende energi som solvarme eller halm/flis-afbrænding eller forsøge at omlægge forbrugsmønsteret til større energibevidsthed. Når der spares i systemet, får alle forbrugerne glæde af det.

De udgifter, der diskutes her, er variable udgifter. Det er udgifter til indkøb af varme ved 800 K, pumpeudgifter og

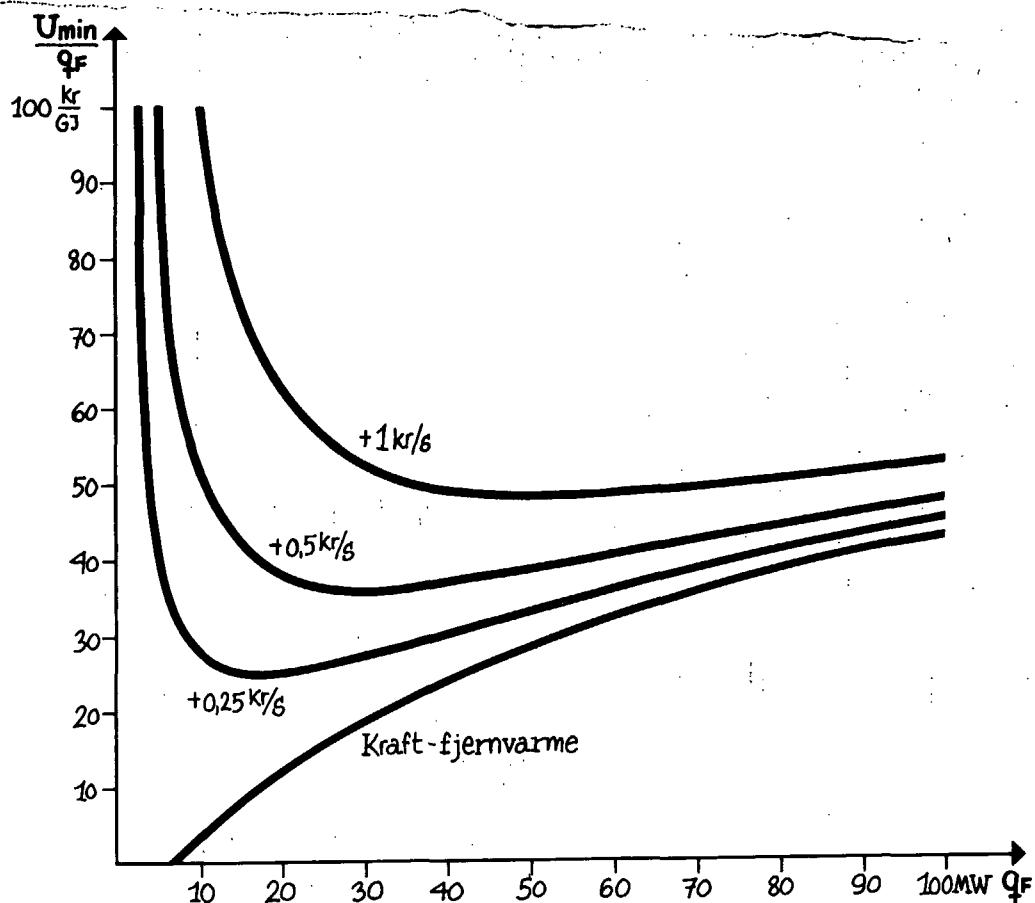
tab fra ledningsnettet, samt indtægter fra elsalget. Tabet fra ledningsnettet så vi i kapitel 5 (fx figur 5.2) er stort set uafhængigt af forbruget. Det er også baggrunden for afgørelser i Gas- og varmeprisudvalget, der siger, at 5-10% af det, der her betegnes som variable udgifter, må tillægges de faste udgifter i fjernvarmesystemet.

Opdelingen i faste og variable udgifter er vigtig for diskussionen her. Driftøkonomer holder på, at opdelingen mellem faste og variable afgifter overfor forbrugerne bør være så tæt på den kostægte opdeling af udgifterne som muligt. Ved en sådan opdeling bliver udgifterne pr. energienhed som funktion af behovet til en vandret linie i figur 7.3. Det er en sådan opdeling, der fremmer den optimale adfærd hos forbrugerne, siger de. Det er også rigtigt for en verden bestående kun af fjernvarmesystem og forbruger, men så enkelt er det ikke. Hvis man fx ønsker at fremme energibesparelser af overordnede hensyn (som betalingsbalance og forureningshensyn), bør den variable afgift hos forbrugerne være højere. Så får man en kurve, der minder om den øverste i figur 7.3. Det giver så problemer for fjernvarmeselskabet, når forbrugerne sparar. Varmeprisen må sættes op, og forbrugerne, der har sparet, får ikke den fordel, som prisstrukturen havde lovet ham. Og forbrugerne, der ikke har gjort noget, får pludselig dyrere varme.

En af forskellene mellem det kedelfyrede fjernvarmenet og kraft-fjernvarmesystemet, hvis udgiftsfunktioner er optegnet i figur 7.3, er, at kraft-fjernvarmesystemet har større anlægsudgifter og dermed højere fast afgift. Ekstra investeringen ved at lave kraftvarmeanlæg i denne størrelse er af størrelsesordenen 100 mio. kr. (ref Hovedstadsregionens naturgas), hvilket svarer til godt 0,25 kr/s. Dette beløb kunne tænkes lagt oveni de variable udgifter for kraft-fjernvarmesystemet. Denne mulighed, samt effekten af at lægge yderligere henholdsvis 0,5 kr/s og 1 kr/s oven i den variable omkostning er afbilledet i figur 7.4.

Det ses af figur 7.4, at kraft-fjernvarmesystemet godt kan bære ekstrainvesteringen til kraftvarme-fyringen på de

Kraft & fjernvarme-optimering



Figur 7.4 Den minimale udgift pr. leveret varmeenhed som funktion af behovet, som figur 7.3. Kurverne viser prisfunktionerne for kraft-fjernvarmesystemet for forskellig overførsel fra faste til variable udgifter. Den nederste kurve er den samme som i figur 7.3. Den lige over er der tillagt varmeprisen 0,25 kr/s, svarende til meromkostningen på ca 100 mio. kr. til kraftvarmeenheden. I de to øverste kurver er der pålagt 0,5 kr/s og 1 kr/s. I den øverste er en god del af fjernvarmesystemets investeringer pålagt de variable udgifter.

variable omkostninger. Går man videre ad dette spor, bliver udgiffunktionen fladere og fladere for store behov, men får negativ hældningskoeficient for små behov. Tillægget på 1 kr/s kan dække en god del af fjernvarmeinvesteringen.

Kraft-fjernvarmesystemets udgiffsfunktion er robust overfor

Kraft & fjernvarme-optimering

overførsler fra faste til variable omkostninger. Funktionen har den store fordel, at det er muligt at have relativt høje variable omkostninger - der opfordrer forbrugerne til en samfundsmæssig fornuftig opførsel - uden at det ændrer fjernvarmeselskabets prisstruktur uheldigt.

Kraft & fjernvarme-optimering

Referencer

Andresen, Bjarne

Finite-Time Thermodynamics

Physics Laboratory II, University of Copenhagen, 1983

Andresen, Bjarne og Mølgaard Poulsen, Finn

Elementer af endelig-tids termodynamik

Fysisk Tidsskrift, 81, 49, 1983, no. 2

Andresen, B., Rubin, M.H. and Berry, R.S.

Availability for Finite-Time Processes

General Theory and a Model

J. Phys. Chem. 87 2704 1983

Bøhm, Benny og Jensen, Peter Tørslev:

Energiøkonomisk drift af eksisterende fjernvarmenet

Fjernvarme 2 projektrapport. Energiministeriet og

Teknologirådet . November 1981.

Curzon, F.L. og Ahlborn, B.

Effeciency af a Carnot Engine at Maximum Power Output

Amarican Journal of Physics 43, 22 1975

Dansk Ingeniørforening:

Norm for fordelingsledninger til fjernvarme

Teknisk forlag, København .Juli 1982.

Danske Fjervarmevarkers Forening:

Statistik 1982, 24. årgang

Kraft & fjernvarme-optimering

Den regionale arbejdsgruppe for varmeplanlægning
i Storstrøms Amtskommune:
Byundersøgelse. Pilotprojekt vedrørende videreførelsen af den generelle varmeplanlægning
Juni 1983.

Dürotan

Dürotan Håndbogen
April 1985

ELKRAFT (1980):

Enhedspriser til brug for planlægning af fjernvarmedistributionsnet. 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 tredie delbetænkning fra

Energiministeriets varmeplanudvalg:

Vedvarende energi, elvarme m.v. i varmeforsyningensplanlægningen. April 1980.

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

Anvendelse af samfundsøkonomisk samt lokal- og regionaløkonomiske konsekvensvurderinger i varmeplanlægningen Økonomisk Institut, KU, 1984.

Forsuringsudvalget:

Miljø og energi Miljøministeriet. 1984.

Kraft & fjernvarme-optimering

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.

Hovedstadsregionens Naturgas

*Indledende teknisk og samfundsøkonomisk
undersøgelse af naturgasfyret kraftvarmeværk
i Køge Bugt området*

GG80 august 1984

Illum, Klaus:

*Kraftvarmesystemer. Et analytisk bidrag til den
politiske energiteknologi*

Aalborg Universitetsforlag. 1981.

Johansen, 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.

Larsen, Helge V.

Simulachron

*A simulation model for combined heat
and power production system*

Risø-R-508 Februar 1984

Kraft & fjernvarme-optimering

Lillethorup, Bjarne:

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

Lillethorup, Bjarne og Jacob Mørch Pedersen:

*Fjernvarmeoptimering -
eksæmpel på effektiv energiplanlægning
Specialearbejde ved IMFUFA, Roskilde Universitets-
Center. IMFUFA tekst nr 89. August 1984.*

I.C. Møller:

Manual og prisliste 15. februar 1984.

Nielsen, Lars Henrik, 1981:

*En model for fælles solvarmesystemer tilknyttet
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.*

Kraft & fjernvarme-optimering

Salamon, P., Andresen, B. and Berry, R.S.

Thermodynamics in finite time

II. Potentials for finite-time processes

Phys. rev. A 15 2094 1977

Salamon, Peter og Nitzan, Abraham

Finite time optimization of a Newton's law Carnot cycle

Journal of Chemical Physics 74, 3546, 1981

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.

Tolman, R.C. and Fine, P.C.

On the irreversible production af entropi

Rev. Mod. Phys. 20 51 1948

Kraft & fjernvarme-optimering

Appendix

Programmet, der optimerer driften af kraft-fjernvarmesystemet samt foretager økonomisk optimering af systemet, første med hensyn til rørernes diameter, derefter med hensyn til kraftvarmeværkets størrelse, følger her. Først kørsellementet, så det oversatte program og til sidst udskrift fra programmet.

```
VINDENERGI*OPTIMERING(1).RUNMIN(0)
1   @prt,s optimering.runmin
2   @ftn,sc
3   @add optimering.rovar
4   @add optimering.menu
5   @add optimering.diamin
6   @add optimering.ekstrem
7   @add optimering.ud
8   @add optimering.qv
9   @add optimering.tv
10  @add optimering.p
11  @add optimering.con
12  @add optimering.albert2
13  @EOF
14  ' Model: Albertslund -- NYE PRISER --    OPTIMERING.runmin  #'
15  'istep
16  250
17  'iramax'
18  3000
19  'id
20  1
21  'idmax '
22  50
23  'idmin '
24  30
25  'xxxxx'
```

```
1. c
2. c
3. c
4. c
5. c
6. c
7. c
8. c
9. c      EXTERNAL diamin
10. c
11. c      COMMON /pier/ pip, pih, piw
12. c      COMMON /par/ th, tr, ro, qf, dia, l, hiso
13. c      COMMON /effekt/ pumpa, varme, el, qvaerk, tvaerk
14. c      COMMON /diamin/ dmax, dmin, note, idmax, idmin, id
15. c      COMMON /an/ anmax, anmin
16. c      COMMON /ro/ drodw, iromax, iromin, istep
17. c      COMMON /tq/ qmax, qmin, tqmax, tqmin
18. c
19. c      REAL jmax, jmin, l
20. c      CHARACTER*8 dato, tid
21. c      CHARACTER*16 note
22. c      CHARACTER*72 titel
23. c      LOGICAL flag1
24. c
25. c      DATA iromax, iromin, istep /10000, 2000, 1000/
26. c      DATA idmax, idmin, id /100, 25, 5/
27. c      DATA anmax, anmin /12.46, 9.11/
28. c      DATA drodw /5.1/
29. c      DATA qmax, qmin, tqmax, tqmin /3.13, 0.98, .0091, .9909/
30. c
31. c      CALL ADATE(dato, tid)
32. c
33. c      flag1=.FALSE.
34. c
35. c      read*, titel
36. c
37. c      CALL menu
38. c
39. c
40. c
41. c      Ud fra formlerne i "Fjernvarmeoptimering" kan beregnes
42. c      hvor meget anlægsprisen p> fjernvarmerir varierer med
43. c      diameteren. Efter valg af rente og levetid kan det omregnes
44. c      i enheden kr/s, den samme enhed som vores udgifter i
45. c      programmet UD beregnes i.
46. c      Her skal der ikke ligges fast p> en bestemt rente og levetid,
47. c      men benyttes et interval mellem 5% over 20 >r og 7% over 15 >r.
48. c      De to tilfælde giver anuitatsfaktorer p> 9.11 og 12.46.
49. c      De afledede anlægspriser med hensyn til diametren kaldes
50. c      dmax og dmin.
51. c
52. c      dmax=2.*l/anmin/3.15E7*(17000.*hiso+701..)
53. c      dmin=dmax*anmin/anmax
54. c
55. c
56. c      Tilsvarende kan den ikonomiske h1dnning for anlægsprisen for
57. c      kraftvirket omregnes til enheden: (kr/s)/(GW/s).
58. c      Det antages at den ikonomiske h1dnning for et kraftvirk
59. c      af gasmotor-typen er 5 kr/W. Fastsat i data-sitning.
60. c
61. c      romax=drodw/anmin/3.15E7*1.E9
62. c      romin=romax*anmin/anmax
63. c
64. c
65. c      Om sitningen fra grader kelvin pr. Gwatt til Gwatt sker via
66. c      variablen delt, som er en funktion af de indgående temperaturer:
67. c
68. c      delt=(SGRT(800.)-SGRT(334.))**2
69. c
70. c      (ca. lig 100)
71. c
72. c      Det gælder således at ro/delt er virkets maksimale elektriske
73. c      effekt, når en temperaturforskell p> 530 C til 70 C udnyttes.
74. c
75. c
76. c
77. c      print*, /
78. c      print*, /
79. c      print*, /
80. c      print*, '#####
81. c      &, '######
82. c      print*, '#'
83. c      print*, '#', titel
84. c      print*, '#'
85. c      &, '#'
86. c      print*, '#'
87. c      &, '#'
88. c      print*, '#'
89. c      &, '#'
90. c      print*, '#'
91. c      &, '#', ' rovar #####'
92. c      print*, '#'
93. c      &, '#'
94. c      print*, '#'
95. c      &, '#'          benyttede variable
96. c      print*, '#'
97. c      &, '#'          -----
98. c      print*, '#'
99. c      &, '#'
100. c      print*, '#' Priser: pip='pip,' kr/GJ
101. c      &, '#'           pih='pih,' kr/GJ
102. c      &, '#'           piw='piw,' kr/GJ
103. c      &, '#'
104. c      print*, '#' Parametre: TH='th,' grader Kelvin
105. c      &, '#'           TR='tr,' grader Kelvin
106. c      &, '#'
107. c      print*, '#' RO= varieres
108. c      &, '#'
109. c      print*, '#' GF='qf,' Gwatt i gennemsnit
110. c      &, '#'
111. c      print*, '#' QFmax='qmax*qf,' Gwatt i ', tqmax,
112. c      &, '#'           & 'af tiden'
113. c      &, '#'
114. c      print*, '#' QFmin='qmin*qf,' Gwatt i ', tqmin,
115. c      &, '#'           & 'af tiden'
```

```

125.      prints, '#'
126.      & prints, '#      Diam bptimeres mellem ',FLOAT(idmax)/100,
127.      & og ',FLOAT(idmin)/100, '#,
128.      prints, '#      med skritt p> ',FLOAT(id)/100,
129.      & meter, '#      L=1. meter
130.      & prints, '#      Hiso=hiso, meter
131.      & prints, '#      #
132.      & prints, '#      ikonomiske holdninger:
133.      & prints, '#      #
134.      & prints, '#      dmax=dmax, kr/ms
135.      & prints, '#      dmin=dmin, kr/ms
136.      & prints, '#      #
137.      & prints, '#      romax=romax, kr/J
138.      & prints, '#      romin=romin, kr/J
139.      & prints, '#      #
140.      & prints, '#      #
141.      & prints, '#      #
142.      & prints, '#      #
143.      & prints, '#      #
144.      & prints, '#      #
145.      & prints, '#      #
146.      & prints, '#      #
147.      & prints, '#      #
148.      & prints, '#      #
149.      & prints, '#      #
150.      & prints, '#      #
151.      & prints, '#      #
152.      & prints, '#      #
153.      & prints, '#      Kirsebsdato: den ',dato(3:4), '/',dato(1:2),
154.      & og ',19',dato(5:6),
155.      & prints, '#      #
156.      & prints, '#      #
157.      & prints, '#      Kirsebstidspunkt: ',tid(1:2), '/',tid(3:4),
158.      & prints, '#      #
159.      & prints, '#      #
160.      & prints, '#      #
161.      & prints, '#      #
162.      & prints, '#      #
163.      & prints, '#      ###### rovar version:051085 #####
164.      & prints, '#      #####
165.      c
166.      c
167.      c
168.      PRINT*, '/'
169.      PRINT*, '/'
170.      PRINT*, '/'
171.      PRINT*, '/'
172.      PRINT*, '/ ro-variation'
173.      PRINT*, '/'
174.      c
175.      c
176.      ro=FLOAT(iromin-istep)
177.      diaopt=diamin(jmax,jmin,uialt)
178.      PRINT*, '/'
179.      PRINT*, '    ro', ro, ' Diam', diaopt,
180.      & prints, '#      give U(',jmax,jmin,')=',uialt.note
181.      PRINT*, '/'
182.      & prints, '#      ====='
183.      PRINT*, '/'
184.      c
185.      DO 100 i=iromin,iromax,istep
186.      oldro=ro
187.      oldu=uialt
188.      c
189.      ro=FLOAT(i)
190.      diaopt=diamin(jmax,jmin,uialt)
191.      c
192.      dro=oldro-ro
193.      du=oldu-uialt
194.      c
195.      wmax1=delt/oldro
196.      wmax2=delt/ro
197.      dw=wmax2-wmax1
198.      c
199.      IF(du/dw.GE. romin. AND. du/dw.LE. romax) flag1=.TRUE.
200.      c
201.      PRINT*, '
202.      & ' dU/dR0= ',du/dro, ' kr/QJ/grad',
203.      & ' => dU/dW = ',du/dw, ' kr/QJ'
204.      PRINT*, '/'
205.      c
206.      IF(flag1) THEN
207.      PRINT*, '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$'
208.      & '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$'
209.      & PRINT*, '$'
210.      & PRINT*, '$          \konomisk passende ro'
211.      & PRINT*, '$'
212.      & PRINT*, '$'
213.      & PRINT*, '$'
214.      & PRINT*, '$'
215.      & IF(note.NE.'ingen optimal D.') note='      $'
216.      & ENDIF
217.      PRINT*, '    ro', ro, ' Diam', diaopt,
218.      & prints, '#      give U(',jmax,jmin,')=',uialt.note
219.      PRINT*, '/'
220.      & prints, '#      ====='
221.      & IF(flag1) THEN
222.      PRINT*, '$'
223.      & qf=qf*qmax
224.      dummy=ud(jmax)
225.      PRINT*, '$ Maximalbelastning:'
226.      & PRINT*, '$      pumpe.varme.el.qvaerk.tvaerk: ',
227.      & pumpe.varme.el.qvaerk.tvaerk,'$'
228.      & PRINT*, '$'
229.      & PRINT*, '$      eta-el: ',el/varme,''
230.      & PRINT*, '$'
231.      & PRINT*, '$'
232.      & qf=qf/qmax/qmin
233.      dummy=ud(jmin)
234.      PRINT*, '$ Minimbelastning:'
235.      & PRINT*, '$      pumpe.varme.el.qvaerk.tvaerk: ',
236.      & pumpe.varme.el.qvaerk.tvaerk,'$'
237.      & PRINT*, '$'
238.      & PRINT*, '$      eta-el: ',el/varme,''
239.      & PRINT*, '$'
240.      & PRINT*, '$'
241.      & PRINT*, '$'
242.      & PRINT*, '$'
243.      & PRINT*, '$'
244.      & PRINT*, '$'
245.      & PRINT*, '$'
246.      & PRINT*, '$'
247.      & PRINT*, '$'
248.      & PRINT*, '$'
249.      & PRINT*, '$'

```

```

251.     flag1=.FALSE.
252.     ENDIF
253.     PRINT*, ''
254. 100  CONTINUE
255.     PRINT*, ''
256.     PRINT*, '' // <<<<<<< ro-variation slut >>>>>>>>
257.     PRINT*, '' // rovar version 051085 >>>>>>>
258.     PRINT*, ''
259.     PRINT*, ''
260.     PRINT*, ''
261.     end
262.

```

```

263. SUBROUTINE menu
264. c
265. c
266. c
267. c
268. c
269. c
270. c
271. COMMON /pier/ pip,pih,piw
272. COMMON /par/ th,tr,ro,qf,dia,l,hiso
273. COMMON /effekt/ pumpe, varme, el, qvaerk, tvaerk
274. COMMON /diamin/ dmax,dmin,note,idmax,idmin,id
275. COMMON /an/ anmax,anmin
276. COMMON /ro/ drodw,iromax,iromin,istep
277. COMMON /tq/ qmax,qmin,tqmax,tqmin
278. c
279. REAL 1
280. CHARACTER*6 order
281. CHARACTER*16 note
282. LOGICAL flag2
283. c
284. flag2=.TRUE.
285. c
286. c
287. c
288. 100 READ*,order
289. c
290. IF(order.EQ.'pip') THEN
291.   READ*,pip
292. ELSE IF(order.EQ.'pih') THEN
293.   READ*,pih
294. ELSE IF(order.EQ.'piw') THEN
295.   READ*,piw
296. ELSE IF(order.EQ.'dmax') THEN
297.   READ*,dmax
298. ELSE IF(order.EQ.'dmin') THEN
299.   READ*,dmin
300. ELSE IF(order.EQ.'qmax') THEN
301.   READ*,qmax
302. ELSE IF(order.EQ.'qmin') THEN
303.   READ*,qmin
304. ELSE IF(order.EQ.'tqmin') THEN
305.   READ*,tqmin
306. ELSE IF(order.EQ.'tqmax') THEN
307.   READ*,tqmax
308. ELSE IF(order.EQ.'idmax') THEN
309.   READ*,idmax
310. ELSE IF(order.EQ.'idmin') THEN
311.   READ*,idmin
312. ELSE IF(order.EQ.'id') THEN
313.   READ*,id
314. ELSE IF(order.EQ.'anmax') THEN
315.   READ*,anmax
316. ELSE IF(order.EQ.'anmin') THEN
317.   READ*,anmin
318. ELSE IF(order.EQ.'drodw') THEN
319.   READ*,drodw
320. ELSE IF(order.EQ.'iromax') THEN
321.   READ*,iromax
322. ELSE IF(order.EQ.'iromin') THEN
323.   READ*,iromin
324. ELSE IF(order.EQ.'istep') THEN
325.   READ*,istep
326. ELSE IF(order.EQ.'th') THEN
327.   READ*,th
328. ELSE IF(order.EQ.'tr') THEN
329.   READ*,tr
330. ELSE IF(order.EQ.'ro') THEN
331.   READ*,ro
332. ELSE IF(order.EQ.'qf') THEN
333.   READ*,qf
334. ELSE IF(order.EQ.'dia') THEN
335.   READ*,dia
336. ELSE IF(order.EQ.'l') THEN
337.   READ*,l
338. ELSE IF(order.EQ.'hiso') THEN
339.   READ*,hiso
340. ELSE
341.   flag2=.FALSE.
342. ENDIF
343. c
344. IF(flag2) go to 100
345. RETURN
346. END
347.

```

```

348. REAL FUNCTION diamin(jmax,jmin,uialt)
349. c
350. c
351. c
352. c
353. c
354. c
355. c
356. c
357. c
358. COMMON /pier/ pip,pih,piw
359. COMMON /par/ th,tr,ro,qf,dia,l,hiso
360. COMMON /effekt/ pumpe, varme, el, qvaerk, tvaerk

```

```

361.      COMMON /diamin/ dmax, dmin, note,idmax, idmin, id
362.      COMMON /tq/ qmax, qmin, tqmax, tqmin
363.
364.      REAL jmax, jmin, l
365.      LOGICAL stoppe
366.      CHARACTER*16 note
367.
368.
369.      stoppe=.FALSE.
370.      note=' '
371.      q=qf
372.
373.
374.      c
375.      x=0.5
376.      y=x
377.      xaf=-0.05
378.      jmin=x
379.      jmax=y
380.
381.
382.      dd=FLOAT(id)/100.
383.      qf=qf*qmax
384.
385.      dia=FLOAT(idmax+id)/100.
386.      umin=fild(ud, jmax, xaf)
387.      uialt=tqmax*umin
388.
389.
390.      qf=qf/qmax*qmin
391.      xaf=-0.05
392.      umin=fild(ud, jmin, xaf)
393.      uialt=uialt+tqmin*umin
394.
395.      DO 100 i=idmax, idmin, -id
396.
397.      oldu=uialt
398.
399.      xaf=-ABS(jmax-y)
400.      y=jmax
401.
402.      qf=qf*qmax/qmin
403.      dia = float(i)/100.
404.      umin=fild(ud, jmax, xaf)
405.      uialt=tqmax*umin
406.
407.
408.      qf=qf/qmax*qmin
409.      xaf=-ABS(jmin-x)
410.      x=jmin
411.      umin=fild(ud, jmin, xaf)
412.      uialt=uialt+tqmin*umin
413.
414.
415.      du=uialt-oldu
416.
417.      IF(du/dd.GE. dmin. AND. du/dd. LE. dmax) THEN
418.          stoppe=.TRUE.
419.      ELSE
420.          IF(stoppe) THEN
421.              dia=dia+dd
422.              diamin=dia
423.              uialt=oldu
424.              jmax=y
425.              jmin=x
426.              qf=qf/qmax*qmin
427.              dummy=ud(jmax)
428.              IF(dummy.LE. 0.0) note='w er negativ!!!!'
429.              qf=q
430.
431.          RETURN
432.
433.      ENDIF
434.  ENDIF
435.  100 CONTINUE
436.
437.      note='ingen optimal D.'
438.      qf=q
439.
440.      RETURN
END

```

```

441.      SUBROUTINE dummy
442.
443.
444.
445.
446.
447.      #####
448.      c
449.          programpakken EKSTREM
450.
451.          Version 220885-1629
452.
453.      #####
454.
455.
456.      Pakken indeholder funktionerne zoom, scan og fild.
457.
458.      Zoom skal have to punkter givet, samt et fortegn der angiver om
459.      det er et max. eller min. der siges. +1 for max. og -1 for min.
460.
461.      Scan skal have et begyndelses- og slutpunkt opgivet samt antallet
462.      af punkter derimellem der inskes undersigt. Den sidste parameter
463.      skal være plus en for max. og minus en for min.
464.      Når scan har kirt, kalder det zoom, der finder ekstremet.
465.
466.      Fild skal have et gift og en cirka afstand til ekstremet.
467.      Denne afstand skal være positiv for max. og negativ for min.
468.      Når fild har kirt, kalder det zoom, der finder ekstremet.
469.
470.
471.      Hver af funktionerne har sin force. Zoom benyttes når ekstremets
472.      placering er velkendt, scan når der kan være forstyrrende lokale
473.      ekstremer i nærheden og fild hvis der fx er overflow problemer,
474.      i forbindelse med den undersigte funktion.
475.
476.
477.
478.      Program pakken er udviklet i samarbejde med Eigil Rechnitzer.

```

```

479. c   i for>ret 1985.
480. c   En stor del af programmeringen og programmetestningen er
481. c   foretaget af ER i COMAL p> ER's Comandore.
482. c
483. c   d=0
484. c
485. c   END
486. c
487. c   ****
488. c
489. c
490. REAL FUNCTION zoom(f,xstart,xslut,sgn)
491. c
492. c
493. c
494. c
495. c
496. c
497. c
498. c
499. c   DATA xfin /1.E-9/
500. c
501. c   sgn bestemmer om der er et max. eller min.
502. c   er sgn plus en er det max, minus en betyder min.
503. c
504. c   xmildt=(xslut+xstart)/2.
505. c   n=0
506. c
507. c   Det følgende er et loop der zoomer ind p> ekstremet
508. c   variablen n tiller antallet af loop's
509. c
510. c   100 CONTINUE
511. c
512. c
513. c   n=n+1
514. c   xkvart=(xstart+xmildt)/2.
515. c   x3kvar=(xmildt+rslut)/2.
516. c
517. c   Når afstanden mellem x'erne bliver lille, er programmet færdigt
518. c   Eller funktionsværdierne bliver ens.
519. c
520. c   IF(ABS(xmildt-xkvart).LT.xfin
521. & OR.f(xmildt).EQ.f(xkvart)) GO TO 200
522. c
523. c   IF-block til at afgøre hvilket punkt der skal være det
524. c   det nye xmildt.
525. c
526. c   IF(f(xkvart)*sgn.GT.f(xmildt)*sgn) THEN
527.   IF(f(xkvart)*sgn.GT.f(x3kvar)*sgn) THEN
528.     xmildt=xmildt
529.     xmildt=xkvart
530.   ELSE
531.     xstart=xmildt
532.     xmildt=x3kvar
533.   END IF
534.   ELSE IF(f(xmildt)*sgn.GT.f(x3kvar)*sgn) THEN
535.     xstart=xkvart
536.     xslut=x3kvar
537.   ELSE
538.     xstart=xmildt
539.     xmildt=x3kvar
540.   END IF
541.   IF (n.GT.100) STOP 'over hundrede iterationer'
542.   GO TO 100
543. c
544. c   loopet slut
545. c
546. c   200 zoom=f(xmildt)
547. c
548. c   xstart=xmildt
549. c
550. c
551. c   RETURN
552. c
553. c
554. c
555. c   ****

```

```

556. REAL FUNCTION scan(f,xstart,xslut,npunkt,sgn)
557. c
558. c
559. c
560. c
561. c
562. c
563. c
564. c   EXTERNAL zoom
565. c   xmax=xstart
566. c   xint=(xslut-xstart)/FLOAT(npunkt)
567. c
568. c   DO 100 i = 1,npunkt+1
569.   x=xstart+FLOAT(i)*xint
570.   IF(f(xmax)*sgn.LT.f(x)*sgn) xmax=x
571. 100 continue
572. c
573. c   Her efter kaldes zoom
574. c
575. c   xslut=xmax+xint
576. c   xstart=xmax-xint
577. c
578. c
579. c   scan=zoom(f,xstart,xslut,sgn)
580. c   RETURN
581. c
582. c
583. c
584. c   ****

```

```

804.     real lambda, l, J,
805.     X=J
806.     P=(0. 0028+0. 25/((x*ROVAND/. 7854/VISKO/DIA)**0. 32))
807.     & *x**3/0. 6169/DIA**5*ROVAND*L*2./1. E9
808.     RETURN
809.     END

```

```

810.      SUBROUTINE CON
811.      COMMON /CON/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
812.      REAL LAMBDA
813.      C
814.      C   I dette delprogram indlaegges de fysiske konstanter
815.      C   der skal bruges til beregningerne.
816.      C
817.      C   Foerst kommer der en listning af de variable, der
818.      C   benyttes i programmet.
819.      C
820.      C
821.      C   CVAND: vands varmefylde (GJ/kg. grad)
822.      C   LAMBDA: fjernvarmeroerernes isoleringsparameter (GJ/grad m)
823.      C   ROVAND: vands massefylde (kg/m3)
824.      C   TJORD: jordens temperatur (grad)
825.      C   VISKO: vands viskositet
826.      C
827.      C
828.      C
829.      C
830.      C
831.      C
832.      C
833.      C   DATA CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
834.      C   & /4190. E-9, 977. 8, . 404E-3, . 027E-9, 281. /
835.      C
836.      C
837.      C   RETURN
838.      C

```

```

839.      subroutine albert
840.      C
841.      C   ALBERT2
842.      C
843.      C   programmet leverer default værdier til fex. programmet UD
844.      C
845.      C   Programmet er pøbegyndt 20. aug 1985.
846.      C
847.      C   #####
848.      C   #
849.      C   # Version: 300885-140B #
850.      C   #
851.      C   #####
852.      C
853.      C
854.      C
855.      C   Der indgår følgende priser i programmet:
856.      C   PIP: prisen for pumpning i kr/Gwatt
857.      C   PIH: prisen for højtemperaturvarme pø virket i kr/Gwatt
858.      C   PIW: prisen som den mekaniske effekt kan sælges til kr/Gwatt
859.      C
860.      C   real l
861.      C
862.      C   common /pier/ PIP,PIH,PIW
863.      C   common /PAR/ TH, TR, RO, GF, DIA, L, HISD
864.      C
865.      C   Konstanter skal defineres og fastsættes her:
866.      C   Den højtemperatur pø virket, TH
867.      C   Returtemperaturen fra forbrugeren, TR, varmedleddningskoeficienten
868.      C   for virket, RO, forbrugereffekten, GF samt de fysiske parametre
869.      C   for fjernvarmenettet: DIA, L og HISD.
870.      C
871.      C   Tallene overføres i common-blokken PAR
872.      C
873.      C   ##### data #####
874.      C   #
875.      C   # data PIP,PIH,PIW / 107.,42.,80. /
876.      C   # data TH,TR,RO,GF /800.,323.,5000.,29.E-3/
877.      C   # data DIA,L,HISD / 5.52000.,0.06/
878.      C   #
879.      C   #####
880.      C
881.      C   Bemerk at effekter regnes i GW og lengder i meter.
882.      C   Temperaturer regnes i Kelvin.
883.      C   J regnes i m**3/s.
884.      C   RO regnes i grader kelvin/Gwatt
885.      C
886.      C
887.      C
888.      C
889.      C   Parametrerne er fastsat sør de stemmer med model ALBERTSLUND i
890.      C   "Fjernvarmeoptimering".
891.      C   Ro er fastsat ved at gitte!
892.      C
893.      C   Priserne er indret.
894.      C   Oprindeligt var det pip,pih,piw = 140,42,105
895.      C   Men det gav negative underskud, hvorfor elprisen blev sat ned,
896.      C   og pumpes udgiften fulgte med.
897.      C
898.      C
899.      C   return
900.      C

```

END FTN 1328 IBANK 2127 DBANK 39 COMMON

ENTERING USER PROGRAM

```

#####
# Model: Albertslund -- NYE PRISER -- OPTIMERING.runmin #
#
```

```

#####
# rovar #####
# benyttede variable
#
# Priser: pip= 107.00000 kr/GJ
#         pih= 42.00000 kr/GJ
#         piw= 80.00000 kr/GJ
#
# Parametre: TH= 800.00000 grader Kelvin
#             TR= 323.00000 grader Kelvin
#
# RO= varieres
#
# GF= .29000000-001 Gwatt i gennemsnit
# GFmax= .90770000-001 Gwatt i .91000000-002 af tiden
# GFmin= .28420000-001 Gwatt i .99090000 af tiden
#
# Dia= optimeres mellem .50000000 og .30000000
# med skridt p= .99999999-002 meter
# L= 52000.000 meter
# Hiso= .60000000-001 meter
#
# Ekonomiske hældninger:
# dmax= .62371369 kr/ms
# dmin= .43602180 kr/ms
#
# romax= 17.423727 kr/J
# romin= 12.739178 kr/U
#
# Kørselsdato: den 28/11 1985
# Kørselstidspunkt: 15153
#####
# rovar version: 051085 #####

```

ro-variation

ro= 1750.0000	Dia= .45000000	giver U(.37112708 .24261921)= .29421493
		dU/dRO= .21848927-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 7.6339818 kr/GJ
ro= 2000.0000	Dia= .44000000	giver U(.35392002 .23380713)= .34883725
		dU/dRO= .20938428-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 9.4060991 kr/GJ
ro= 2250.0000	Dia= .43000000	giver U(.33798742 .22570370)= .40118331
		dU/dRO= .20100503-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 11.287101 kr/GJ
ro= 2500.0000	Dia= .41999999	giver U(.32256911 .21711570)= .45143457
		dU/dRO= .16815926-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 11.541079 kr/GJ
ro= 2750.0000	Dia= .41999999	giver U(.31819996 .21636425)= .49347439
		dU/dRO= .18575686-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 15.298602 kr/GJ

\konomisk passende ro

ro= 3000.0000	Dia= .41000000	giver U(.30377805 .20839548)= .53991360
Maximalbelastning: pumpe, varme, el, qvaerk, tvaerk:	.20373000-002 .11189970 .15701785-001 .96197912-001 399.15013	
eta-el:	.14032017	
Minimalbelastning: pumpe, varme, el, qvaerk, tvaerk:	.69582344-003 .58359030-001 .24664671-001 .33694359-001 360.80752	
		dU/dRO= .33402750-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 32.511709 kr/GJ
ro= 3250.0000	Dia= .41000000	giver U(.30347944 .21024229)= .62342048
		dU/dRO= .18131947-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 20.589642 kr/GJ
ro= 3500.0000	Dia= .39999999	giver U(.28974684 .20241243)= .66875035
		dU/dRO= .17510569-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 22.943124 kr/GJ
ro= 3750.0000	Dia= .39000000	giver U(.27676290 .19462732)= .71252677
		dU/dRO= .14389774-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 21.547564 kr/GJ
ro= 4000.0000	Dia= .39000000	giver U(.27375056 .19337100)= .74850120
		dU/dRO= .16335475-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 27.722582 kr/GJ
ro= 4250.0000	Dia= .38000000	giver U(.26197067 .18584808)= .78933989
		dU/dRO= .13318542-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 25.427934 kr/GJ
ro= 4500.0000	Dia= .38000000	giver U(.25941590 .18536359)= .82263625
		dU/dRO= .15301722-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 32.651217 kr/GJ
ro= 4750.0000	Dia= .37000000	giver U(.24795924 .17798002)= .86089055
		dU/dRO= .12360939-003 kr/GJ/grad => dU/dW = 29.306780 kr/GJ
ro= 5000.0000	Dia= .37000000	giver U(.24590207 .17724406)= .89179290

```

702. c & PIWsel
703. c =====
704. c RETURN
705. c END
706.
707. c

708. real function qv(j)
709. c
710. c QV
711. c Endeligtids-kraftvarmevirkets produktion som funktion af
712. c strømningshastigheden, J for givet effektbehov hos forbrugeren.
713. c
714. c Programmet er påbegyndt den 4. april 1985.
715. c
716. c #####
717. c # version: 140785-1535 #
718. c #
719. c #####
720. c
721. c
722. c
723. c
724. c real L,LAMBDA,J
725. c common /PAR/ TH, TR, RO, GF, DIA, L, HISQ
726. c COMMON /CON/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
727. c ===== kontrol udskrift =====
728. c ikke i brug
729. c
730. c
731. c
732. c print*, 'J= ', J, ' L= ', L
733. c print*, 'PAR', TH, TR, RO, GF, DIA, L, HISQ
734. c print*, 'CON', CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
735. c
736. c =====
737. c
738. c
739. c
740. c X=J*ROVAND*CVAND
741. c
742. c
743. c 1/j:
744. c Y = L/alog(1.+2.*HISQ/DIA)*2.*3.14159*LAMBDA/X
745. c ===== kontrol udskrift =====
746. c ikke i brug
747. c print*, 'X= ', X, ' Y= ', Y
748. c
749. c =====
750. c
751. c
752. c
753. c QV = GF*exp(Y)
754. c & + 2.*X*(TR-TJORD)*SINH(Y)
755. c
756. c
757. c RETURN
758. c END
759. c
760. c

```

```

761. real function tv(j)
762. c
763. c TV
764. c
765. c Endeligtids-kraftvarmevirkets fjernvarme temperatur som funktion af
766. c strømningshastigheden, J for givet effektbehov hos forbrugeren.
767. c
768. c Programmet er påbegyndt den 4. april 1985.
769. c
770. c #####
771. c # version 140785-1545 #
772. c #
773. c #####
774. c
775. c
776. c
777. c real L,LAMBDA,J
778. c common /PAR/ TH, TR, RO, GF, DIA, L, HISQ
779. c COMMON /CON/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
780. c
781. c
782. c X=J*ROVAND*CVAND
783. c
784. c 1/j:
785. c Y = L/alog(1.+2.*HISQ/DIA)*2.*3.14159*LAMBDA/X
786. c
787. c TV=TJORD
788. c & +(GF/X+TR-TJORD)*EXP(Y)
789. c
790. c
791. c RETURN
792. c END

```

```

793. real function P(j)
794. c
795. c Dette program udregner, hvor stor effekt der bruges til
796. c pumpning som funktion af strømningshastigheden, J.
797. c Der regnes i QJ's.
798. c
799. c Programmet er påbegyndt den 6. marts 1985
800. c Rettet til i version P den 4. april 1985.
801. c
802. c COMMON /CON/ CVAND, ROVAND, VISKO, LAMBDA, TJORD
803. c common /PAR/ TH, TR, RO, GF, DIA, L, HISQ

```

- 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 Kreinoe 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-bond-graph formalismen.
Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVILTING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinarioum".
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 Kreinoe.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen

- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography".
Else Høyrup.
Nr. 14 er p.t. udgået.
- 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 KRAEFTFORSKNINGEN".
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 realitivity".
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSER HOS 2.G'ERE".
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.
Nr. 24 a+b er p.t. udgået.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/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 Kreinøe.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentia.ligningsmodeller".
Projektrapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 30/80 "FUSIONENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
Oluf Danielsen.
Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".
Projektrapport af Troels 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 IMPEDANSMALINGER OG MOSSBAUER-EFFEKTMALINGER".
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-NATURVIDENSKA-BELIGE UDDANNELSER. I-II".
Arne Jakobsen.
Nr. 34 er udgået.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".
ENERGY SERIES NO.1.
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 MØNINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO.2.
Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - opslag til en teknologisk givurdering".
Projektrapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.
Nr. 40 er p.t. udgået
- 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 FORUDSETNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERSØGELSE 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 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHËLD".
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.
En bibliografi.
Else Høyrup.
- Vedr. tekst nr. 55/82:
Se også tekst 62/83.
- 56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET" -
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- Nr. 57 er udgået.
- 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 "ELIPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?"

Projektrapport af Lone Biilmann 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 1.g med kommentarer.

Albert Chr. Paulsen

70/83 "INDLÆRINGS- OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU"

Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Age 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 Bleaga, Birthe Olsen, Jette Reich & Mette Vedelsby

72/83 "VERDEN IFØLGJE 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 videnkabeliggjort teknologi og nutten af at lære fysik

Projektrapport af Bodil Harder og Linda Szko-tak Jensen.

Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen

75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"

- Case: Lineær programmering

Projektrapport af Morten Blomhøj, Klavs Fris-dahl, 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 Age Houmann, Keld Niel-sen, Susanne Stender

Vejledere: Jørgen Larsen & Jens Bjørneboe

78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I
AMORFT GERMANIUM"

Specialerapport af Hans Hedal, Frank C. Lud-
vigsen og Finn C. Physant
Vejleder: Niels Boye Olsen

79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE"

Projektrapport af Henrik Coster, Mikael Wenner-
berg 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 AUTOMA-
TISEREDE 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" nr. 83 er p.t. udgået

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

91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET"

1. Lærervejledning

Projektrapport af: Birger Lundgren, Henning
Sten Hansen og John Johansson

Vejleder: Torsten Meyer

92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET
2. Materiale

Projektrapport af: Birger Lundgren, Henning
Sten Hansen og John Johansson

Vejleder: Torsten Meyer

93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM-NON-LOCALITY"

af Peder Voetmann Christiansen

94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren
og ånden"

Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl
og Frank M. Olsen

Vejleder: Mogens Niss

95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE"

Peace research series no. 3
af Bent Sørensen

96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING"
af Bjarne Lillethorup

Vejleder: Bent Sørensen

97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY"

Jeppe C. Dyre

98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSALDEREN"
af Bent Sørensen

99/85 "Der er langt fra Q til R"

Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp
Vejleder: Andur Pedersen

100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING"
af Mogens Niss

101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS
IN PERTURBATIVE FORM"
af Ganesh Sengupta

102/85 "OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED
MODELLER OVER KØERS FODEROPTAGELSE OG - OMSÆTNING!"

Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn
og Susanne Stender
Vejleder: Klaus Grünbaum

103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE & VIDENSKABENS LYSE IDEER"
Projektrapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen
Vejleder: Bent Sørensen

104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER"
af: Jens Jæger

105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT AT THE GLASS
TRANSITION"

af Tage Christensen

"A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY"

af Jeppe C. Dyre

Contributions to the Third International Conference on the
Structure of Non-Crystalline Materials held in Grenoble
July 1985

106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES"

af Bent Sørensen

107/85 "ÉN MYG GØR INGEN EPIDEMI"

- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et
epidemiologisk problem.

Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, Carsten

- Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen
Vejleder: Jesper Larsen
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM"
- state and trends -
af Mogens Niss
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN"
- Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger
fra RUC
Projektrapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Kattler
og Torben J. Andreasen
Vejleder: Jørgen Larsen
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY"
af Bent Sørensen
- 111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT"
Projektrapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og
Jimmy Staal
Vejleder: Mogens Niss
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION
FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER!"
Projektrapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal, Frank
C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11"
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF
KONTIGENSTABELLER"
Projektrapport af: Lone Biilmann, Ole R. Jensen
og Anne-Lise von Moos
Vejleder: Jørgen Larsen
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENÆSSANCEN"
af: Mogens Niss
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-
NELDEL RULE"
af. Jøppe C. Dyre
- 117/85 "kRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING"
af: Jacob Mørch Pedersen
Vejleder: Bent Sørensen