

TEKST NR 96

1985

*Aspekter ved
kraftvarmeforsyning*

eksempel på effektiv energiplanlægning

af

Bjarne Lillethorup

Specialearbejde ved
IMFUFA, Roskilde Universitets Center

Vejleder: Bent Sørensen

August 1984

TEKSTER fra

IMFUFA

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

ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING

af Bjarne Lillethorup

IMFUFA tekst nr. 96/85

70 sider.

ISSN 0106-6242

Abstract:

Der gøres i denne tekst rede for nogle af de muligheder, der er for en udbygning af kraftvarmesystemer i Danmark.

Der indledes med en termodynamisk beskrivelse af energikonvertering. Dette fører frem til nogle principper for hvordan et energisystem, der er baseret på fossile brændsler, skal opbygges, således at disse brændsler udnyttes mest effektivt.

Der undersøges dernæst hvordan forskellige grader af udbygning af kraftvarmeforsyning kan udnyttes i et system, hvor den kraftvarmebaserede energiforsyning er henholdsvis koblet til det norske vandkraftbaserede elsystem henholdsvis med varmelagre i systemet.

I tilfældet med koblingen til det norske vandkraftbaserede elsystem bestemmes krav til overførelseskapaciteten mellem de to systemer, hvilke energimængder og -tab der udveksles og påvirkningen af udvekslingen på det norske elsystem.

I tilfældet med varmelager i systemet bestemmes hvilke lagerkapaciteter dette kræver.

Der afsluttes med at se på muligheden for at lade et kraftvarmeanlæg indgå i et slagteris energisystem.

Indholdsfortegnelse

Indledning.....	3
Energikonvertering.....	6
Varmemarkedet for kraftvarme i Danmark.....	21
De tidlige variationer i el- og varmeforbrug.....	26
Kobling mellem et kraftvarmebaseret el- system og et vandkraftbaseret elsystem....	29
Kraftvarmesystem med et varmelager.....	47
Kraftvarme i den industrielle sektor, eksemplificeret ved et slagteri.....	53
Reference-liste.....	62
Appendiks.....	64
Bilag 1	65
Bilag 2	68

Indledning.

Betydningen af de fossile brændsler i det danske energisystem, i dag og i fremtiden.

Det danske energiforbrug er for langt overvejende baseret på de fossile brændsler, så som kul, olie og naturgas. 95 % af bruttoenergiforbruget dækkes i dag af disse (se tabel 1.1). Det øvrige forbrug dækkes af vedvarende energikilder (først og fremmest affaldsforbrænding og norske vandkraftproduceret el).

Også i det fremtidige danske energisystem vil de fossile brændsler antage en dominerende rolle (se ref: 1).

Tab el 1.1

Bruttoenergiforbrug (i PJ)

år	1972	1982	2000 (ref: 1)
kul	54	240	388
olie	718	466	419
naturgas	-	10	86
vedvarende energikilder	-	6	29
total	772	720	916

Dog må det tilstræbes at der sker en reducereing af brugen af de fossile brændsler. Af følgende grunde:

- i) forsyningssikkerhed.
Så længe betydningen af olie og kul er så stor på verdensbasis, så vil de kunne anvendes i en afpresningssituation, politisk såvel økonomisk. Denne sikkerhed kan opnås ved en øget grad af selvforsyning og en spredning på mange energikilder.
- ii) miljømæssige.
Afbrændingen af fossile brændsler skaber miljøproblemer, såvel regionale som globale. Forurening på grund af svovludslip forårsager skovdød og CO₂-udslip kan give klimatiske ændringer.

iii) økonomiske.

De fossile brændsler er en handelsvare, og der kan ske prisstigninger.

iv) langsigtet perspektiv.

De fossile brændsler er endelig ressourcer, hvilket betyder, at der skal ske en overgang til vedvarende energikilder.

Den danske energipolitik har siden den første energikrise i 1974 tilstræbt en reducere af olieforbruget ud fra økonomiske og forsyningsmæssige hensyn. Dette har først og fremmest betydet en omlægning fra olie til kul og senere også naturgas. Altså omlægning fra et fossilt brændsel til andre fossile brændsler.

Reduceringen af brugen af de fossile brændsler kan ske på (tre) forskellige måder:

i) besparelser i energiforbrug.

Det kan være tekniske besparelser (eksempelvis kraftigere isolering, mindre energiforbrugende maskiner), men også omlægning af forbrug til mindre energikrævende (eksempelvis mindre huse, individuel til kollektiv transport).

ii) benytte vedvarende energikilder.

Vedvarende energikilder i sin brede betydning, d.v.s. de egentlige energikilder som vind, sol, biomasse, og energikilder som et biprodukt fra anden samfundsaktivitet (eksempelvis affald, halm, industri spildvarme).

iii) omlægning af energisystemet til et effektivt energisystem.

Det er muligt ud fra nogle termodynamiske sammenhænge, at opstille nogle principper for hvordan energisystemets struktur skal være, for at opnå en effektiv udnyttelse af energikilderne (disse principper vil blive beskrevet senere).

Der skal i dette speciale ses på den tredje mulighed.

Der ses på nogle aspekter ved kraftvarmeforsyning.

Først er der en termodynamisk argumentation for hvordan et effektivt energisystem skal opbygges. Derefter behandles mulighederne for udbygning af kraftvarmeforsyning. Der ses på et kraftvarme-system tilkoblet et vandkraft-baseret elsystem og på et kraftvarmesystem med et varmelager. Der ses også på et eksempel på indpasning af kraftvarme i den industrielle sektor.

Energikonvertering

Afsnittet indeholder en termodynamisk beskrivelse af energikonvertering, og eksempler på hvordan den teknisk-økonomiske realisation af energikonverteringen er og brude være.

En termodynamisk beskrivelse af energiforbrug.

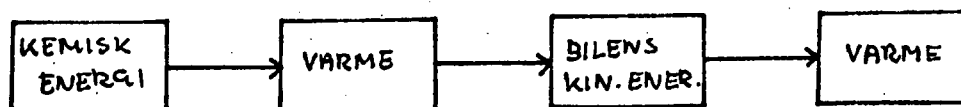
De forskellige opgaver, hvortil der er knyttet et energiforbrug, har nogle specifikke krav, der resulterer i, at der anvendes forskellige energiformer.

Tilsvarende vil de energikilder, der er til rådighed, eksistere i forskellige energiformer.

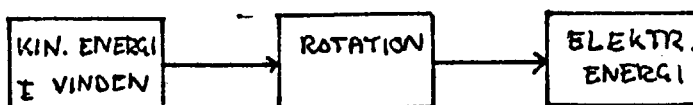
For at tilpasse energikilder og -forbrug, må der ske en energikonvertering, som sker på termodynamiske maskiner.

Eksempel på energikonvertering:

Olie til transport:



Vindenergi til el:



Det teoretiske grundlag for energikonvertering er beskrevet i termodynamikken; nærmere betegnet energetikken.

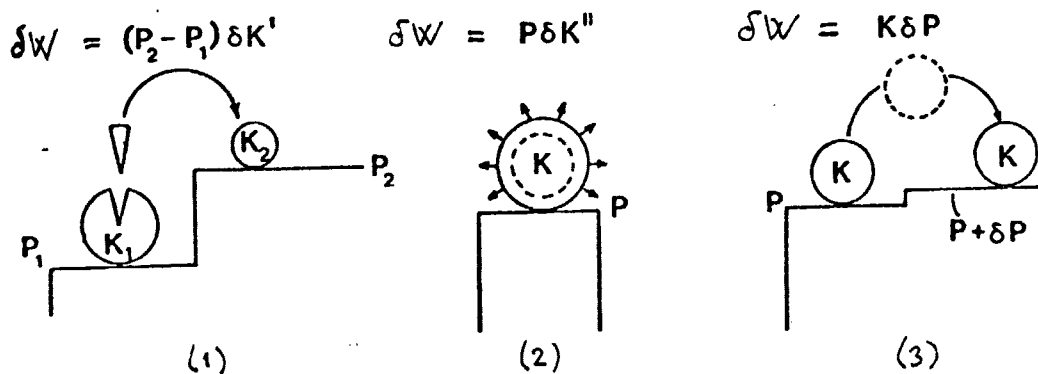
Energetikken kan give nogle principper for hvorledes udformningen og indpasningen af konverteringsprocesserne i energisystemet skal ske. Den konkrete udformning af dette sker ved en økonomisk optimering plus andre krav fra energipolitikken (eks. sikkerhed, miljø). Energisystemet skal opfattes som et termo-økonomisk system.

Ved en energikonvertering er det arbejdsvevnen af de systemer, som indgår, der er den interessante størrelse. Det er den størrelse, der gør flere processer kommensurable. Det er da også den størrelse, der forbruges i energisystemet i modsætning til energi, der er en bevaret størrelse.

Arbejdsvevne eksisterer, når der er en uligevægt i det termodynamiske system.

For at kunne beskrive et systems arbejdsvevne indføres begreberne energetiske kvantiteter K , og deres konjugerede potentialer P (ref: 3). Et systems tilstand kan da beskrives ved et sæt af energetiske kvantiteter og deres konjugerede potentialer: (\bar{K}, \bar{P}) .

Flytning af kvantiteter mellem potentialer er forbundet med udført arbejde. Sker dette reversibelt vil det udførte arbejde fremgå af figuren.



Processerne (1) og (3) kan opbygges af proces (2), så det udførte arbejde kan beskrives ved:

$$\delta W_{\text{udført}} = -\sum_i P_i \delta K_i$$

hvor δK_i er positiv, når det skabes.

De vigtigste kvantiteter og deres konjugerede potentialer indenfor termodynamikken er:

P	K
negativ tryk	flyttet volumen
absolut temperatur	entropi
kemisk potentiale	antal mol

Se iøvrigt app. 1, hvor der er en liste over potentialer og kvantiteter.

Arbejdsevnen af et system karakteriseret ved (\bar{K}, \bar{P}) er da den mængde arbejde, der kan udføres ved reversibelt at lade systemet komme i ligevægt med omgivelserne, der er karakteriseret ved potentialerne \bar{P}_0 . Ligevægt vil sige, at

$$\bar{P}_{\text{system}} = \bar{P}_0$$

Systemets kvantiteter vil være \bar{K}_0 ved ligevægt. Systemets arbejdsevneindhold kan skrives på formen:

$$A = - \int_{(\bar{P}, \bar{K})}^{(\bar{P}_0, \bar{K}_0)} \sum_i P_i \cdot \delta K_i$$

Systemets arbejdsevneindhold betegnes exergi-indholdet og dette vil blive benyttet fremover. Betegnes E_x .

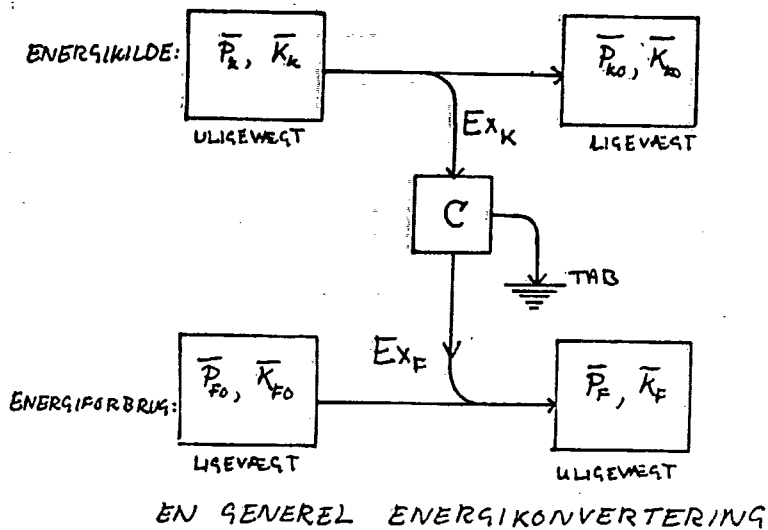
I praksis er processerne irreversible, hvilket betyder at der tabes exergi, og at der skabes entropi. Sammenhængen mellem disse er givet ved:

$$\delta A_{\text{tab}} = T_0 \cdot \delta S_{\text{prod}} \quad (\geq 0)$$

hvor T_0 er omgivelsernes temperatur. Dette er et virkeligt tab, i modsætning til energi, som genvindes i omgivelserne.

Et energiforbrug kan opfattes som en uligevægt i et termodynamisk system, og som skal tilføres arbejde for at opretholde denne uligevægt. Tilsvarende er en energikilde en uligevægt, som kan udnyttes ved at føre denne til ligevægt med omgivelserne.

En energiomdannelse kan beskrives ved følgende proces :



Eksempler på exergi-indhold/-forbrug

I det følgende skal gives nogle vigtige eksempler på exergi-indhold/-forbrug.

Et elektrisk eller mekanisk energiforbrug.

Elektrisk og mekanisk energi er rene exergiforbrug.

Er E den brugte energi er:

$$E_x = E$$

Rene exergiforbrug betegnes også entropi-fri energi.

Et varmemeforbrug, der opretholder en temperatur T .

Der tilføres varmen ΔQ for at opretholde temperaturen T . Omgivelsernes temperatur er T_0 . Med $(\bar{K}, \bar{P}) = (S, T)$ fås at den nødvendige tilførte exergi er:

$$\Delta Ex_{tilf} = (T - T_0) \Delta S'$$

og da

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

$$\Delta Ex_{tilf} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \Delta Q$$

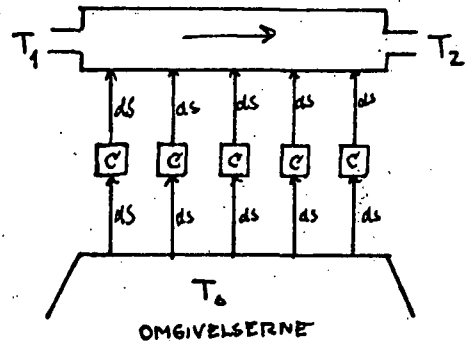
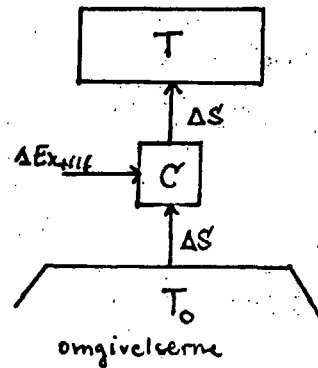
Tilsvarende udtryk fås for en varmekilde ved temperatur T . $(1 - T_0/T)$ er den velkendte Carnot-faktor.

Et varmemeforbrug, der opvarmer et medium fra temperaturen T_1 til T_2 .

Der tilføres varmemængden ΔQ til opvarmnings-processen.

$$\Delta Ex_{tilf} = \int_{T_1}^{T_2} (T - T_0) \cdot dS'$$

$$= \left(1 - T_0 \frac{\ln T_2/T_1}{T_2 - T_1}\right) \cdot \Delta Q$$



En vigtig størrelse, når energikonvertering skal analyseres, er effektiviteten.

Effektiviteten af en proces er defineret ved:

$$\hat{\eta} = \frac{Ex_{out}}{Ex_{in}}$$

eller med betegnelser fra ovenstående figur: $\hat{\eta} = \frac{Ex_F}{Ex_K}$

Denne går også under navnet 2. lovs effektivitet.

Tit i analyse af energisystemer benyttes en 1. ordens effektivitet, defineret ved:

$$\eta_t = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

hvor E er systemets energi, som defineres ved, når der benyttes begreberne kvantiteter og konjugerede potentialer:

$$E = - \int_0^{K_i} \sum_i P_i \delta K_i$$

η_t betegnes også den termiske effektivitet.

Fordele ved at benytte $\hat{\eta}$ fremfor η_t er, at $0 \leq \hat{\eta} \leq 1$, med optimum for $\hat{\eta} = 1$, og når den samlede effektivitet af flere processer skal bestemmes er:

$$\hat{\eta}_{total} = \frac{\sum_i E_{x_{out},i}}{\sum_i E_{x_{in},i}} = \frac{\sum_i \hat{\eta}_i E_{x_{in},i}}{\sum_i E_{x_{in},i}}$$

hvorimod for η_t 's vedkommende er der ingen mening i at bestemme en total effektivitet, og der kan ikke siges noget generelt om η_t 's størrelse.

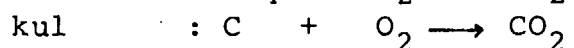
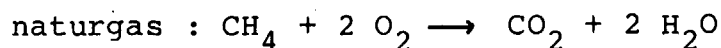
En anden nyttig størrelse er begrebet energikvalitet. Det defineres som forholdet mellem udvekslet arbejde og energi:

$$q = \frac{\Delta E_x}{\Delta E}$$

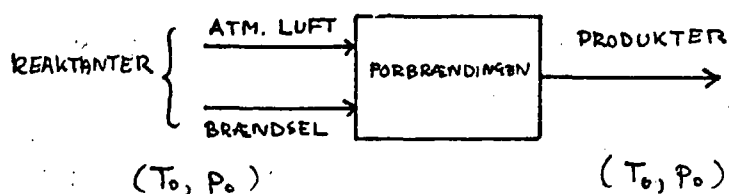
Exergiindhold i fossile brændsler.

De fossile brændsler udnyttes ved en forbrænding. Forbrændingen er en kemisk reaktion, hvor brændslet reagerer med ilt:

Eksempel:



Forbrændingen kan anskueliggøres ved følgende figur:



Reaktanter og produkter er ved omgivelsernes temperatur og tryk: (T_0, P_0) . Processen foregår ved konstant tryk. Den udviklede varme ved forbrændingen er givet ved:

$$\Delta Q = \Delta H_f = H_r - H_p$$

hvor H_r , H_p er enthalpien af reaktanter henholdsvis produkter.

Exergiindhold (betegnes også den øvre brændværdi) er bestemt ved:

$$\Delta E_{x,f} = H_r - H_p - T_0 (S_r - S_p) = \Delta H - T_0 \Delta S$$

hvor S_r og S_p er entropi af reaktanter henholdsvis produkter.

stof	ΔH_f	$\Delta E_{x,f}$
	kJ/mol	
CH ₄ , methan	802.3	800.8
C , kul	393.5	394.4

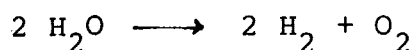
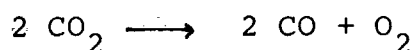
Det bemærkes at de to værdier ligger tæt ved hinanden, så de fossile brændsler er næsten entropi-frie energikilder.

De fossile brændsler udnyttes ved, at de opvarmes til en høj temperatur. De kan derfor opfattes som en varmekilde med varmeindholdet ΔH_f ved en temperatur T_{\max} , og exergiindholdet er da

$$\Delta E_x = \left(1 - \frac{T_0}{T_{\max}} \right) \cdot \Delta H_f$$

Temperaturen T_{\max} bestemmes ud fra ligevægtskonstanter for de kemiske reaktioner, der sker når reaktionstemperaturen stiger.

Eksempelvis vil:



Der vælges $T_{\max} = 2500 \text{ K}$ for alle de fossile brændstoffer.

Da det danske energisystem næsten udelukkende er baseret på fossile brændsler, kan det derfor i stedet opfattes baseret på en varmekilde med en temperatur $T = 2500 \text{ K}$, og dermed bliver

$$\Delta E_x = 0.88 \cdot \Delta H_f$$

Effektiviteten af det danske energisystem.

For at kunne bestemme den nødvendige exergimængde til at opretholde det samlede danske energiforbrug er det nødvendigt at opdele energiforbrugerne efter de forskellige energiformer. Dét er gjort i ref: 6 . Tallene er fra 1978.

Energiform	Energi (PJ)	Exergi (PJ)
Elektrisk energi	59.0	57.0
Transport (mekanisk energi)	52.1	52.1
Varme, $T > 500 \text{ }^\circ\text{C}$	31.5	23.3
Varme, $100 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 500 \text{ }^\circ\text{C}$	27.4	11.0
Varme, $50 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$	12.2	3.05
Varme, $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$	244.0	12.2
		<hr/>
		158.7

Der er ingen mening i at summere første kolonne, jævnfør tidligere.

Ved udregningen er benyttet at elektrisk og transport-energi er ren exergi. Ved varmemeforbrugene ganges energiforbruget med Carnot-faktoren $(1 - T_0/T)$, og der er benyttet temperaturerne 800°C , 200°C , 100°C , 25°C , og som omgivelsernes temperatur $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

De energikilder, der er benyttet er:

Energikilde	Energi (PJ)	Exergi (PJ)
Olie	619.0	544.7
Kul	148.0	130.2
Affald, træ, importeret el	10.0	10.0
		<hr/>
		684.9

Effektiviteten af det danske energisystem bliver da:

$$\hat{\eta}_{DK} = \frac{158.7}{684.9} = 0.23$$

Principper for Energisystems struktur.

Energisystemet skal opbygges således, at der ikke sker unødigt exergitab. Der skal i det følgende beskrives, hvordan det ideale tilfælde ser ud. Dette bliver samtidig de principper, der skal følges, for at opbygge et effektivt energisystem.

Det danske energisystem opfattes baseret på en varmekilde med temperaturen $T_k \approx 2500\text{ K}$, nemlig den maksimale temperatur, der opnås ved forbrænding af de fossile brændsler (jævnfør det foregående).

Energiforbruget opdeles i følgende:

- i) el-energi, mekanisk energi
(entropi-frie energiforbrug)
- ii) varme ved forskellige temperaturer

Desuden udgør omgivelserne et varme- og volumen-reservoir med temperatur og tryk: T_0 , P_0 .

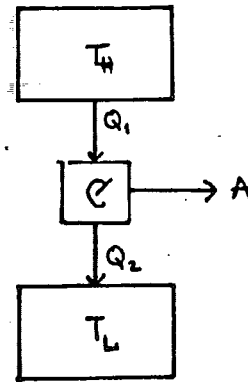
Energiforsyning til de enkelte forbrug skal ske på følgende måder:

Det entropi-frie energiforbrug produceres på varmemaskiner. Disse arbejder mellem to varmereservoirer med temperaturer T_H og T_L ($T_H > T_L$). Den mængde arbejde, der fås er givet ved:

$$A = \left(1 - \frac{T_L}{T_H} \right) Q_1$$

hvor Q_1 er afgivet varme fra varmereservoiret med høj temperatur. Varmen som tilføres varmereservoiret med temperatur T_L er givet ved:

$$Q_2 = Q_1 - A = \frac{T_L}{T_H} Q_1$$



Et varmemeforbrug med temperaturen T_V skal ske ved enten

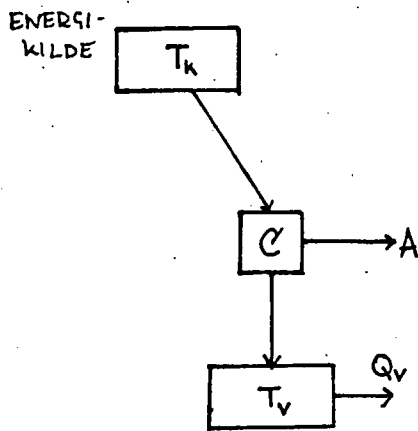
fra en varmekilde med samme temperatur eller

hvis der som energikilde benyttes entropi-fri energi, en "omvendt" varmemaskine; en varmepumpe.

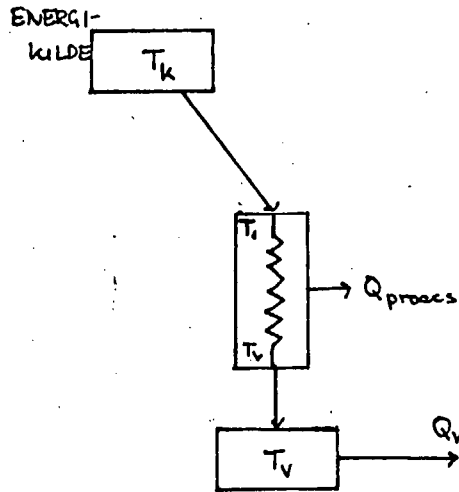
Varmekilde med temperatur T_V kan fås ved at lade varmemaskinen, der producerer entropi-fri energi, have temperaturen T_V på sekundær-siden. Dette betyder, at der skal ske en kombineret produktion af entropi-fri energi (f.eks. el) og varme. Det er dét, som går under betegnelsen kraftvarme. En varmekilde med temperaturen T_V kan også fås, hvis man har en proces, f.eks. en industriel proces, som har T_V på sin sekundære side. Se figurene næste side.

Disse forsyningsmåder er da principperne for hvordan et effektivt energisystem skal opbygges.

Dét betyder også, at omkostningerne ved at dække et energiforbrug er knyttet til den exergimængde, der forbruges.



PRINCIPPET I KRAFTVARME



VARMEUDTAG FRA EN PROCES

Eksempler på effektiviteter, der opnås i dagens energisystem.

Brugs- og rum-opvarmning ved brug af kedelfyr.

Det samlede opvarmningsbehov betegnes Q_V . Heraf udgør rumopvarmning $Q_{rum} = 0.75 Q_V$ og brugsvandsopvarmning $Q_{vand} = 0.25 Q_V$.

Rumtemperaturen $T_{rum} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Brugsvandet opvarmes fra $T_K = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ til $T_V = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Omgivelsernes temperatur $T_O = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Det samlede exergibehov er

$$Ex_F = \left(1 - \frac{T_O}{T_{rum}}\right) Q_{rum} + \left(1 - T_O \frac{\ln T_V/T_K}{T_V - T_K}\right) Q_{vand}$$

$$= 0.068 Q_{rum} + 0.095 Q_{vand} = 0.075 Q_V$$

Kedelfyrets termiske effektivitet $\eta_{t,F} = 0.80$

$$Q_V = \dot{\eta}_{t,F} Q_B$$

hvor Q_B er brændslets brændværdi, og da exergiindholdet i brændslet er $0.88 \cdot Q_B$ fås den forbrugte exergi:

$$Ex_K = \frac{0.88}{\eta_{t,F}} Q_V = 1.10 Q_V$$

Systemets effektivitet bliver da:

$$\hat{\eta}_v = \frac{Ex_F}{Ex_K} = 0.068$$

Elproduktion på store elværker.

Elværkerne i Danmark består udelukkende af damp-turbine-anlæg. I disse opnås der i dag en middeltemperatur i varme-optaget på $\bar{T}_R = 650 \text{ K}$ og i kondensatoren på $\bar{T}_K = 293 \text{ K}$. Dette ville give, hvis anlægget var indre reversibelt, en termisk effektivitet på:

$$\eta_t = \frac{\bar{T}_R - \bar{T}_K}{\bar{T}_R} = 0.55$$

Der forekommer dog tab i turbiner, i skorsten og der bruges energi til f.eks. kedelblæsere og kulmøller, så elværkets samlede termiske effektivitet bliver:

$$\eta_t = W_{el}/Q_B = 0.40$$

Da elenergi er en entropi-fri energikilde er

$$Ex_F = W_{el}$$

og da $E_{x,\kappa} = 0.88 \cdot Q_B$ bliver et elværks effektivitet:

$$\hat{\eta}_{el} = 0.45$$

Kombineret el- og varme-produktion på et kraftvarme-værk.

Kraftvarmeværket er den tekniske løsning, der er tættest på at følge de principper, som er opstillet i afsnittet: "principper for energisystemets struktur".

Kraftvarmeværket leverer til et givet elforbrug, W_f og et varmeforbrug, Q_v , som er opdelt på rum- og brugsvands-opvarmning, som under kedelfyrs-effektivitets-beregningerne. Varmen leveres gennem et fjernvarmenet.

De følgende data, som benyttes er hentet fra rapporten: "Fjernvarmeoptimering", af Jacob Mørch Pedersen og Bjarne Lillethorup. Her er der foretaget en økonomisk optimering af et fjernvarmesystem i forbindelse med et kraftvarmeværk. Der henvises dertil for en nærmere beskrivelse af systemet og hvordan optimeringen foretages. Grunden til at der benyttes data derfra, er at temperatur-niveauet indgår i optimeringen.

Når et elværk benyttes til kraftvarme ændrer det ikke effektiviteten af elproduktionen. Exergiforbruget til at dække elbehovet, W_f , bliver da:

$$Ex_{el} = \frac{0.88}{0.40} (W_f + W_{tab})$$

heri er indregnet et nettab, W_{tab} , der her sættes til 8 % af W_f (ifølge ref. 4). Så

$$Ex_{el} = 2.38 \cdot W_f$$

og effektiviteten på elværkssiden bliver:

$$\hat{\eta}_{el} = 0.42$$

For varmesiden gælder, at på grund af varmeleverence fra værket, hæves temperaturen på kondenseringssiden. Dette betyder, at der tabes noget eleffekt, som er bestemt ved:

$$C_V = \frac{\Delta W}{Q_V}$$

hvor C_V afhænger af temperaturen. Her benyttes det lineære udtryk (ref: omtalte rapport)

$$C_V = 0.0013 T_{FV} + 0.00057 T_{RV} - 0.022$$

hvor T_{FV} og T_{RV} er frem- og returløbstemperaturer for fjernvarmesystemet ved værket. Enheder i $^{\circ}\text{C}$.

Ved fjernvarmesystemet er der et varmetab, Q_{tab} , og en pumpeeffekt, W_p , til at cirkulere vandet. Det samlede varmeproduktion bliver $Q_{\text{prod}} = Q_V + Q_{\text{tab}}$.

Exergiforbruget ved produktionen af varmen er:

$$\text{Ex}_V = \frac{1}{\hat{\eta}_{el}} C_V \cdot (Q_V + Q_{\text{tab}})$$

dertil kommer exergiforbrug ved pumpeeffekt:

$$\text{Ex}_P = \frac{1}{\eta_u} \frac{1}{\eta_p} W_P$$

hvor η_p er pumpens effektivitet. $\eta_p = 0.75$.

Der er valgt at se på systemet KV-II, model Albertslund (se nærmere beskrivelse i omtalte rapport). Dette er etkraftvarmeværk, hvor kraftvarmefordelen i forhold til kedelanlæg er delt mellem el og varmesiden.

Varmeforbruget er opdelt i fire perioder, svarende til forskellige belastninger, og der er forskellige temperaturer i systemet i perioderne.

I nedenstående tabel findes dataene til beregning af den leveredes varme exergiforbrug.

Tabel til bestemmelse af effektiviteten ved kraftvarme.

Periode	Q_V	Q_{tab}	$Q_{i,alt}$	W_P	T_{FV}	T_{RV}	C_V	$C_V Q_{i,alt}$
1	26.2	2.4	28	1.8	98.9	37.3	0.128	9.2
2	159	19.9	179	8.5	73.8	28.7	0.093	16.2
3	596	102.0	698	23.9	69.4	28.4	0.0844	58.9
4	134	49.6	184	2.6	61.5	27.3	0.0735	13.5
	916	174	1090	36.9				97.7

Elforbruget af pumpen: $1/0.75 \cdot 36.9 = 49.5$

Den samlede beslaglagte mængde el ved varmeleveringen bliver: $97.7 \text{ TJ} + 49.5 \text{ TJ} = 147.2 \text{ TJ}$

Og da elproduktionen sker med en termisk effektivitet på 0.40, bliver exergiforbruget ved varmeleveringen:

$$Ex_{V,i,alt} = 323.8 \text{ TJ}$$

Ifølge det foregående er

$$\begin{aligned} Ex_F &= 0.075 \cdot Q_V \\ &= 68.7 \text{ TJ} \end{aligned}$$

Dette giver en effektivitet på varmesiden af et kraftvarmeværk på:

$$\hat{\eta}_V = \frac{Ex_F}{Ex_{V,i,alt}} = 0.21$$

Dette tal kan sammenlignes med den effektivitet, der opnås ved opvarmning med kedelfyr.

De to sidste udregnede effektiviteter er de bedst opnåelige i dagens energisystem.

Varmemarkedet for kraftvarme i Danmark.

I det foregående er argumenteret for, at der opnås et effektivere energisystem og dermed et energibesparende system ved at lade varmen produceres på et kraftvarmeanlæg.

Dette betyder to ting:

- i) der sker en kobling mellem el- og varmeproduktionen.
- ii) varmen leveres til forbrugerne gennem fjernvarmenet.

I det følgende ses kun på varme til rumopvarmning og brugsvandsopvarmning.

På kraftvarmeværket sker produktionen af el \dot{W}_{KV} og varme \dot{Q}_{KV} i et bestemt forhold; afhængig af hvilken type anlæg og hvilken temperatur varmen produceres ved.

$$\alpha_{KV} = \frac{Q_{KV}}{W_{KV}}$$

Da elproduktionen er fastlagt ved elforbruget betyder det, at den årlige mængde varme, som maksimalt kan være til rådighed er:

$$Q_{KV,max} = \alpha_{KV} \cdot W_{F,år}$$

hvor $W_{F,år}$ er det årlige elforbrug i Danmark.

I tabel 3.1 fremgår forholdet mellem el- og varmebehov i Danmark og de potentielle muligheder for kraftvarmeforsyning.

Tabel 3.1

Det danske elforbrug		86.8 PJ	(ref: 24)
Det danske nettovarmebehov		213.4 PJ	(ref: 1,6)
incl. 15 % fjernvarmenettab		245.0 PJ	
Maksimal kraftvarme:	$\alpha_{KV} = 2.0$	173.6 PJ	
	$\alpha_{KV} = 1.5$	130.2 PJ	
	$\alpha_{KV} = 1.0$	86.8 PJ	
Dagens kraftvarmeforsyning		33.6 PJ	
incl. besluttede udbygningsplaner		62.4 PJ	(ref: 14,20)

Kommentarer til Tabel 3.1:

Nettvarmebehovet er bestemt ved, at 164 PJ til rum- og brugsvandsopvarmning (excl. industri og landbrug) plus 33 % af procesvarme i industri og landbrug er varme ved lave temperaturer 49 PJ (ref: 6).

Nettabet på 15 % fra fjernvarmenettet inkluderes i varmeforbrug, da fjernvarmenet er forudsætningen for kraftvarme.

Udbygningsplaner er: Herning-værk, Studstrup-værk, Amagerværk-3, Avedøre-værk, HC-Ørsted blok 7.

Det ses at varmebehovet er noget større end en mulig kraftvarmeproduktion.

At varmen fra kraftvarmeanlægget skal leveres til forbrugerne gennem fjernvarmerør betyder at:

- i) varmeforbrugstæthed^{en} skal være på et vist niveau.
- ii) afstand mellem værk og forbruger må ikke være for stor.

Elproduktionen leverer el til et landsdækkende net, hvor alle forbrugere er tilkoblet. Hvis elproduktionen foregik på 'rene' elværker, ville størrelsen af disse blive 600 MW (ref: 1). Men en benyttelsesfaktor på 0.65 giver det en elproduktion på 12.2 TJ/år, svarende til at dække elforbruget hos 700.000 indbyggere.

Kravet om en vis varmeforbrugstæthed betyder, at det realistiske varmemarked for kraftvarme vurderes til at være områder af bymæssig bebyggelse, som defineret af Danmarks Statistik, d.v.s. sammenhængende bebyggelse med mere end 200 indbyggere og mindre end 200 m mellem de enkelte huse.

På figur 3.1 ses antal indbyggere/varmeforbrug henholdsvis gennemsnits befolkningstæthed/varmeforbrugstæthed, begge som funktion af bystørrelse. Det er antaget, at varmeforbruget pr. indbygger er uafhængigt af bystørrelsen, idet større byer har højere lejlighedsfrekvens, men til gengæld også højere erhversfrekvens (se også ref: 25).

Befolkningstæthed og den deraf bestemte varmeforbrugstæthed er ikke det bedste mål for afgørelse af om fjernvarmeforsyning er fordelagtigt. Ifølge ref: 7 viser en detailplanlægning, at omkostningerne ved fjernvarmenettet pr. forbruger ikke stiger væsentligt for små bysamfund.

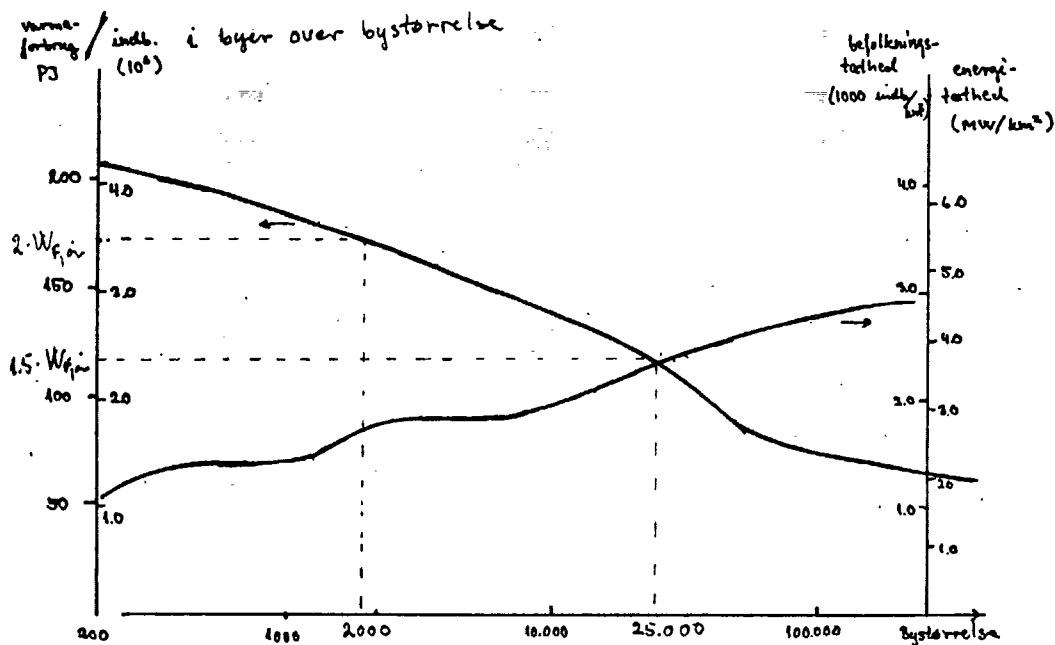


Fig 3.1 Varmeforbrug i byer over en vis størrelse. De aflæste værdier er for et varmeforbrug, der svarer til 1.5 henholdsvis 2.0 gange elforbruget. Befolkningstæthed og dermed varmeforbrugstæthed som funktion af bystørrelse er også aftegnet.

Kravet om værketts afstand til forbrugerne betyder, at hver by har sit eget kraftvarmeværk.

Det må derfor antages, at kraftvarmeforsyningen dækker de større byer og nedad til en vis grænse, på grund af den større varmetæthed og mulighed for større anlæg. På figur 3.1 er indtegnet den nedre grænse for bystørrelse for typiske kraftvarmeforsyningsområder.

Figur 3.2 viser hvordan værkstørrelserne bliver som funktion af varmforsyningsområdets størrelse. På figuren er forudsat, at hver by har sit eget kraftvarmeværk. I praksis vil der være mulighed for at lade et værk forsyne flere byområder, hvilket giver større værker.

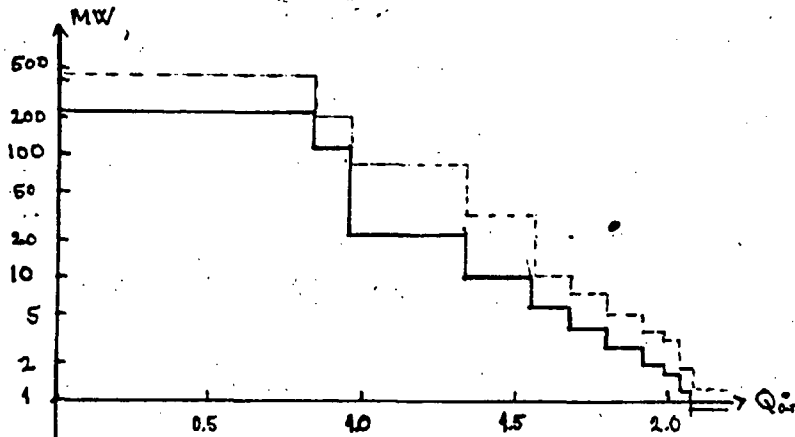


Fig 3.2 Den installerede el-effekt afhængig af hvor stort området som kraftvarmforsynes. Det er den installerede effekt i det marginale område, der er aftegnet. $Q_{KF, \text{år}}$ er i enheder af 'det årlige elforbrug'. Den fuldt optrukne svarer til 50% af maksimal varmeeffekt dækkes af kraftvarme. Den stiplede svarer til 80%

Skal der ske en kraftig udbygning af kraftvarmforsyningen, betyder det at der skal være værkstørrelser, der er betydelig mindre end de i dag eksisterende kraftvarmeværker. Dét er Herningværket på 89 MW_{el} og Randersværket på 46 MW_{el} .

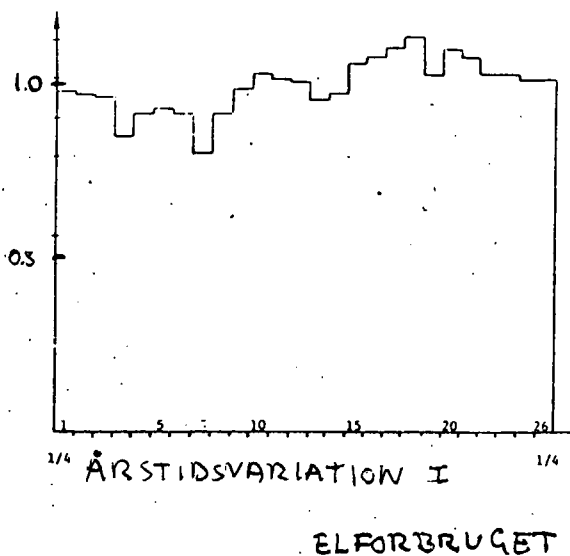
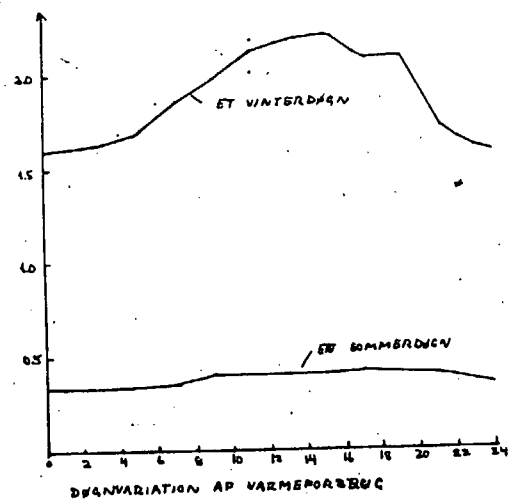
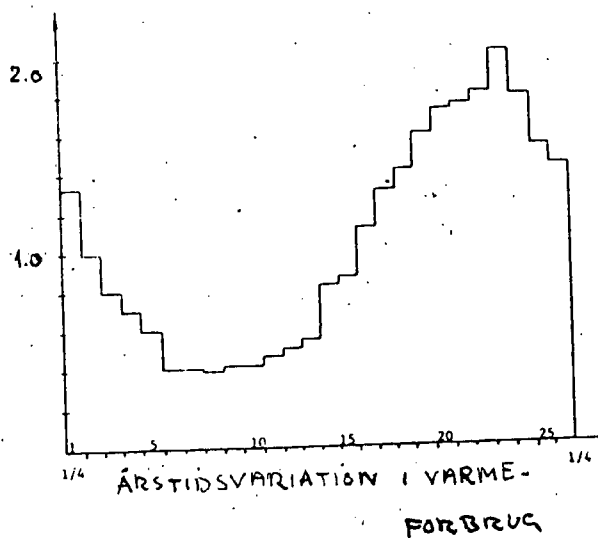
Prisfastsættelsen af varmen fra små kraftvarmeværker, sker ved at den eleffekt, der stilles til rådighed, afregnes til priser, som hvis elproduktionen foregik på store centrale elværker. Varmepriisen bliver da af en sådan størrelsesorden, så der bliver balance.

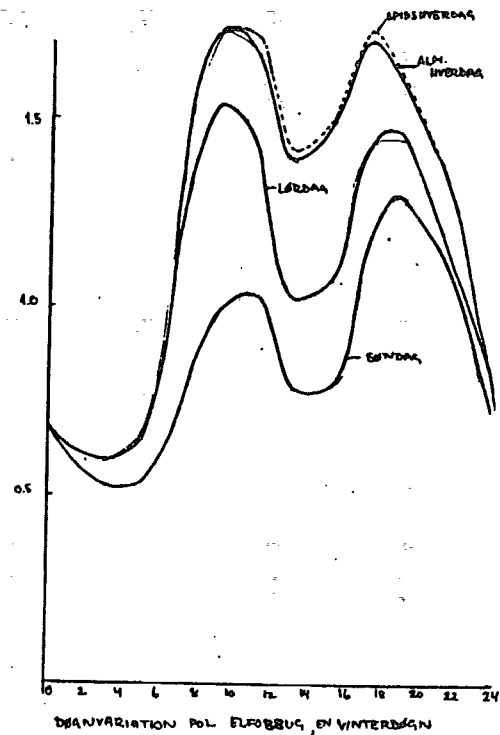
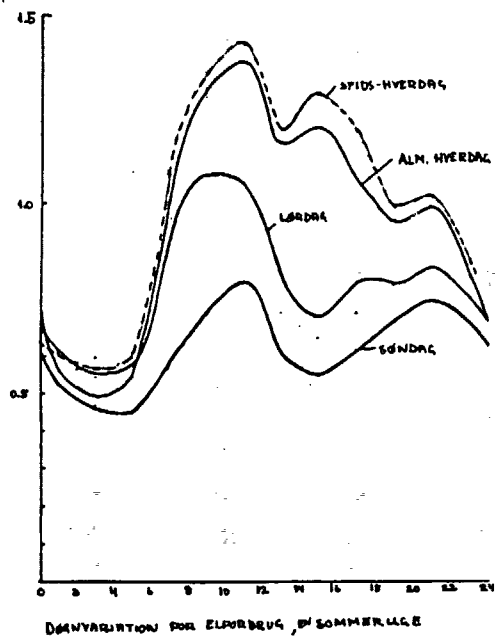
Der er foretaget en del undersøgelser af små kraftvarmeværker. Een undersøgelse af mulighed for kraftvarmeværk i Roskilde (ref: 21), viser at et dampturbineanlæg på 26 MW_{el}, kan levere varme til lavere priser end kedelcentraler (ca. 25 % lavere). Det antages at dampturbineværker vil blive benyttet ned til en størrelse på 15 MW_{el} (se også ref: 8). Hvis værker skal være mindre end 15 MW_{el} kan benyttes dieselværker, dual-dieselværk (fyret med naturgas) og gasturbiner. Undersøgelser i ref: 2 viser, at værker i størrelsesorden 0.5 MW kan være rentable. Der kan dog ikke gives nogle generelle priser for varmen, da det afhænger af blandt andet benyttelsestiden af anlægget.

De tidlige variationer i el- og varmeforbrug.

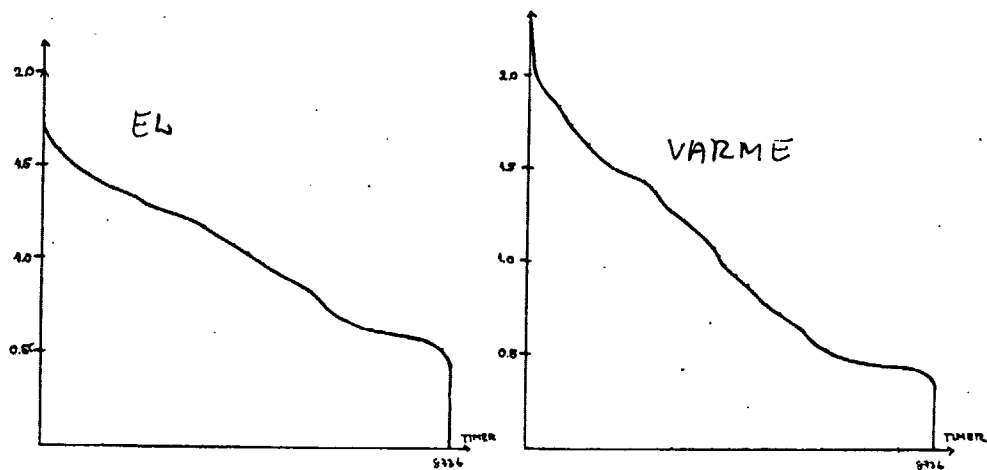
I det foregående afsnit, hvor der er lavet nogle skøn over mulighederne for at afsætte kraftvarme, er der kun set på energiforholdene.

Det er dog nødvendigt også at tage hensyn til de tidlige variationer i el- og varmeforbruget. I de kommende modeller benyttes en el- og varmeforbrugsbelastning hentet fra ref: 17. Her er el- og varmebelastningen givet hver 2. time. Der er benyttet nogle simplificeringer. Døgnvariationen i elbelastningen i en uge er delt op på lørdag, en søndag, en spidshverdag og almindelige hverdage, som er ens. Døgnvariationer i varmeforbruget er delt op på et sommerdøgn og et vinterdøgn. Året er opdelt i 14 dagesperioder, hvis to uger er ens i belastning. Se nedenstående figurer.





Varighedskurver for el- og varmebelastningen fremgår af nedenstående figurer.-



I dagens kraftvarmeværker er produktionen bestemt af varmebehovet. Dette er muligt, da den elproduktion, som er bunden til varmeproduktionen, er så tilstrækkelig lille, at den altid er mindre end elforbruget.

Med kraftig udbygning af kraftvarmeforsyningen stiller situationen sig anderledes. Der skal i det følgende ses på to modeller med en kraftig udbygning af kraftvarmeforsyningen.

I den ene model ses på en kobling mellem det danske elsystem baseret på kraftvarmeværker og det vandkraftbaserede elsystem i Norge. Her virker de norske vandreservoarer som et ellager og produktionen på kraftvarmeværkerne bliver bestemt af varmebehovet.

I den anden model indgår der et varmelager i kraftvarmesystemet og produktionen på kraftvarmeværkerne bestemmes af elforbruget.

Kobling mellem et kraftvarmebaseret elsystem og et vandkraftbaseret elsystem.

For en elforsyning baseret på termiske værker er det fordelagtigt at lade disse indgå i en kraftvarmeforsyning. Det følger af den tidligere argumentation. Men her sætter umiddelbart de forskellige variationer i el- og varme-forbruget nogle begrænsninger for kraftvarmeudbygningen.

En mulighed for at lade en større del af varmeforbruget være dækket af kraftvarme, er hvis der kan ske en kobling mellem et kraftvarmebaseret elsystem og et vandkraftbaseret elsystem.

De danske og det norske elsystemer udgør netop sådan en kombination. Det danske elsystem er udelukkende baseret på termiske værker medens det norske elsystem udelukkende er baseret på vandkraft.

Et vandkraft-baseret elsystem er karakteriseret ved, at indeholde energilagere, idet vandreservoirerne bag turbinerne udgør et sådant. Desuden kan der i et vandkraftbaseret elsystem ske en hurtig regulering i elproduktion i modsætning til et termisk baseret elsystem, hvor man har opstartsvanskeligheder (ref: 12). (17)

Der skal her undersøges, hvordan en kobling mellem disse to systemer kan udnyttes i en situation med udbygning af kraftvarmeforsyningen i Danmark.

Ideen er at lade elproduktionen på kraftvarmeværkerne være bestemt af varmeforbruget, og så lade der ske udveksling af el til og fra Norge. Udvekslingen sker gennem et elkabel. Udvekslingen af el til og fra Norge foregår på en sådan måde, at når der er eksport af el til Norge kan den norske elproduktion reduceres tilsvarende, og når der sker import til Danmark er der den nødvendige el-effekt til rådighed i det norske elsystem.

Denne udveksling kan tildels opfattes som et KV-system med ellager.

Fordelen ved en sådan udveksling er til den danske side. Fordelen består i at flytte varmeproduktion fra kedelfyr til kraftvarmeværk. En fordel for begge parter kan bestå i, at en større overførelseskapacitet giver større mulighed for afsætning af overskudsel i Norge.

For ikke at gøre det kraftvarmebaserede elsystem i Danmark for afhængig af det norske, skal princippet for udvekslingen være, at der ikke sker nogen nettoimport af el til Danmark.

Det norske elsystem.

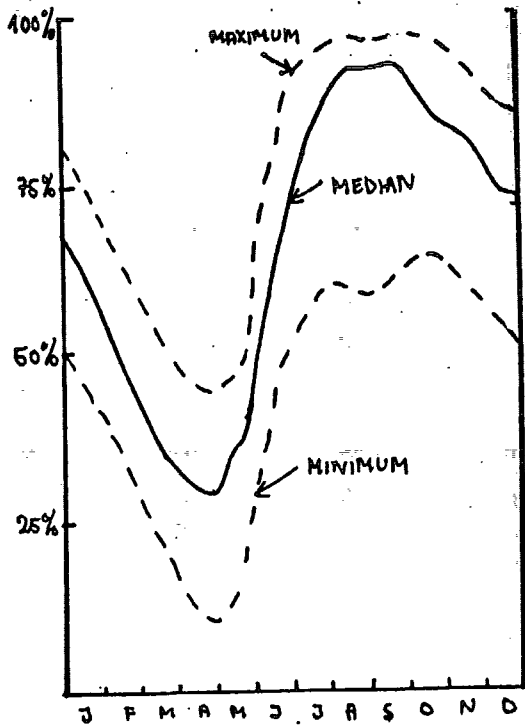
Før beskrivelsen af selve modellen kommer først en kort beskrivelse af det norske elsystem. Afsnittet baserer sig på oplysninger fra ref: 11, 13.

Den norske elforsyning er udelukkende baseret på vandkraft. Den installerede effekt, og den årlige elproduktion og den maksimale elbelastning fremgår af tabel 5.1. Det er sammenlignet med det danske elsystem. Det bemærkes at det norske elsystem er ca. 3 gange større end det danske. Dét gør, at påvirkningen af det norske elsystem på grund af udvekslingen til Danmark ikke bliver så stor.

Tabel 5.1

	årlig elproduktion	installeret effekt	maksimal belastning
Norge	83.800 GWh	19,5 GW	13,9 GW
Danmark	24.300 GWh	6,7 GW	4,7 GW

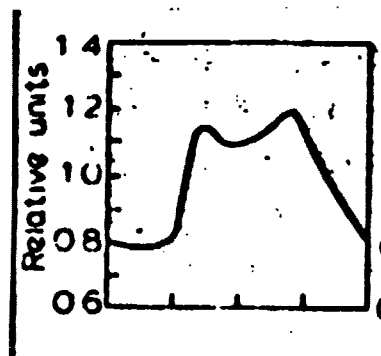
Vandreservoirerne bag turbinerne udgør et energilager. Kapaciteten af disse er på 58.300 GWh (70 % af et årsforbrug). Tilstrømningen til disse er varierende fra år til år. I figuren (næste side) fremgår fyldningsgraden af disse i løbet af året,



Fyldningsgraden af vandreservoirene i Norge. I modellen benyttes medianen for fyldningsgraden.

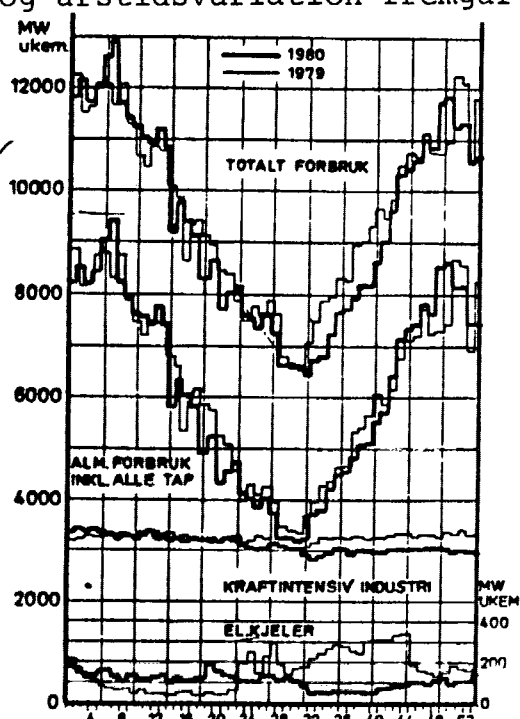
Placeringen af vandreservoirene er hovedsageligt i Sydnorge, hvilket gør koblingen til Danmark nemmere. Udnyttelsesgraden af den til rådighed værende vandkraft energi er i gennemsnit 92 %. Resten går udenom turbinerne.

Det norske elforbrugs døgn- og årstidsvariation fremgår af figur herunder.



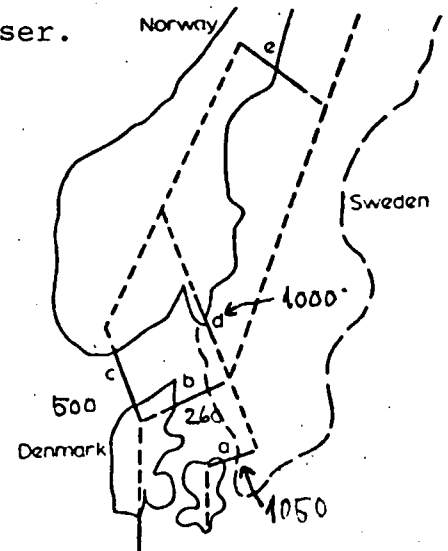
Døgnvariation

Årstidsvariation.



De i dag eksisterende udvekslingsmuligheder mellem Danmark og Norge består af følgende kabelforbindelser.

Norge - Danmark, Jylland	500 MW
Danmark, Jylland - Sverige	260 MW
Danmark, Sjælland - Sverige	1050 MW
Sverige, syd - Norge, syd	1000 MW



Disse kabelforbindelser er etableret dels for at spare reservekapacitet både i Norge og Danmark, dels for at kunne eksportere overskudsel. Det er ikke umiddelbart til at vurdere, hvor stor en del af denne overførelseskapacitet, der kan stilles til rådighed for en systematisk udveksling i et system med en udbygget kraftvarmefors., da det stadig skal være muligt at erstatte reservekapacitet.

Beskrivelse af modellen.

Der er givet størrelsen og de tidslige variationer i el- og varmeforbruget i Danmark. Disse er hentet fra tabel side 21 (afsnit "varmemarkedet") og fra ref: 17^{*)}. Ligeledes er det norske elsystem og elforbrug givet, som omtalt i det foregående.

Der fastlægges et vist område af Danmark, som er dækket af en kraftvarmeforsyning. Dette område karakteriseres ved et årligt varmeforbrug, $Q_{KF, \text{år}}$. Er $Q_{DK, \text{år}}$ Danmarks samlede årlige varmeforbrug og $\dot{q}_{DK}(t)$ den samlede varmebelastning, bliver varmebelastningen i kraftvarmeforsyningsområdet:

$$\dot{q}_{KF}(t) = \frac{Q_{KF, \text{år}}}{Q_{DK, \text{år}}} \dot{q}_{DK}(t)$$

Kraftvarmeverkerne i kraftvarmeforsyningsområderne

^{*)} Beskrevet i foregående afsnit.

er installeret med en given varmeeffekt, betegnet $\dot{q}_{KV,max}$.
 Er $\dot{q}_{KF,max}$ den maksimale varmebelastning i området, benyttes parameteren

$$\delta = \frac{\dot{q}_{KV,max}}{\dot{q}_{KF,max}}$$

til at karakterisere størrelsen af den installerede effekt.

Der er desuden mulighed for at tilføre varme fra en ren varmekilde, som her tænkes at være et kedelfyr. Områder uden kraftvarme tænkes udelukkende produceret på kedelfyr.

Forholdet mellem el- og varmeproduktion på kraftvarmeværket, \dot{W}_{KV} og \dot{q}_{KV} er sat til

$$\alpha = \frac{\dot{q}_{KV}}{\dot{W}_{KV}} = 2.0$$

hvilket svarer til en dampturbine i modtryksdrift, med frem- og returløbstemperaturer på 90 °C og 45 °C.

Elforsyningsområdet er hele Danmark, så elbelastningen $\dot{W}_F(t)$ er belastningen for hele landet.

Der fastlægges en overførelseskapacitet mellem det danske og det norske elsystem. Denne betegnes med $\dot{W}_{ovf,max}$. D.v.s. den maksimale eksport- henholdsvis importeffekt er lig med $\dot{W}_{ovf,max}$.

Der er den betingelse på udvekslingen af el mellem de to systemer, at der ikke må ske en nettoimport til nogen af parterne. For at sikre dette er der også installeret rene elværker i det danske system, som producerer netop så meget, at import og eksport balancerer.

Modellen er derved karakteriseret ved de tre størrelser:

Kraftvarmeforsyningsområdets størrelse: $Q_{KF,år}$

Installeret effekt på kraftvarmeværkerne: $\dot{q}_{KV,max}$

Overførelseskapaciteten mellem de to systemer: $\dot{W}_{ovf,max}$

Strategien for det danske system er at lade produktionen på kraftvarmeværker være bestemt af varmebehovet i kraftvarmeforsyningsområderne. Her vil der være følgende situationer:

$\dot{q}_{KF}(t) < \dot{q}_{KV,max}$: Al varmen produceres på kraftvarmeværker, d.v.s. $\dot{q}_{KV}(t) = \dot{q}_{KF}(t)$.

$\dot{q}_{KF}(t) > \dot{q}_{KV,max}$: Der produceres varmen $\dot{q}_{KV,max}$ på kraftvarmeværk, og den resterende tilføres fra ren varmekilde, $\dot{q}_{KV}(t) = \dot{q}_{KV,max}$
 $\dot{q}_{tilf}(t) = \dot{q}_{KF}(t) - \dot{q}_{KV,max}$.

Elproduktionen på kraftvarmeværkerne er bestemt ved:

$$\dot{W}_{KV}(t) = \frac{1}{\alpha} \dot{q}_{KV}(t)$$

Afhængig af elbelastningen, $\dot{W}_F(t)$, sker der følgende:

$\dot{W}_F(t) < \dot{W}_{KV}(t)$: Det betyder, at der er overproduktion og det overskydende forsøges eksporteret. Er $\dot{W}_{KV}(t) - \dot{W}_F(t) < \dot{W}_{ovf,max}$ eksporteres overproduktionen, d.v.s.

$$\dot{W}_{exp}(t) = \dot{W}_{KV}(t) - \dot{W}_F(t).$$

Er $\dot{W}_{KV}(t) - \dot{W}_F(t) > \dot{W}_{ovf,max}$ reduceres produktionen på kraftvarmeværkerne, således at $\dot{W}_{exp}(t) = \dot{W}_{ovf,max}$. Denne reduktion i kraftvarmeværkets produktion betyder også at varmeproduktionen falder, og der skal tilføres yderligere varme fra den rene varmekilde. Den tilførte mængde varme i denne situation bliver:

$$\dot{q}_{tilf}(t) = \dot{q}_{KF}(t) - \alpha (\dot{W}_F(t) + \dot{W}_{ovf,max}).$$

$\dot{W}_F(t) > \dot{W}_{KV}(t)$: Her er der en mangel på el og der importeres el. Dog før der sker en import leveres der en effekt fra de rene elværker i det danske system.

Disse er installeret med en maksimal eleffekt, $\dot{W}_{elv,max}$, der er bestemt således at der ikke sker nettoimport.

Først når $\dot{W}_F(t) - \dot{W}_{KV}(t) > \dot{W}_{elv,max}$ importeres, og $\dot{W}_{imp} = \dot{W}_F(t) - \dot{W}_{KV}(t) - \dot{W}_{elv,max}$. Er $\dot{W}_F(t) - \dot{W}_{KV}(t) - \dot{W}_{elv,max} > \dot{W}_{ovf,max}$ tilføres der yderligere el fra rene elværker, og $\dot{W}_{imp} = \dot{W}_{ovf,max}$.

Betydningen af udvekslingen af el for det norske system registreres ved, at brugen af vandreservoarerne ændres. Uden udveksling mellem de to systemer er vandreservoarernes (~ energireservoarer) størrelse bestemt ved:

$$\frac{d W_{\text{res}}}{d t} = \dot{W}_{\text{tilstr}}(t) - \dot{W}_N(t)$$

hvor \dot{W}_{tilstr} er energitilstrømningen til energireservoarerne, og $\dot{W}_N(t)$ er elbelastningen i Norge. Med udveksling bliver reservoarerne størrelse bestemt ved:

$$\frac{d W_{\text{res}}}{d t} = \dot{W}_{\text{tilstr}}(t) - \dot{W}_N(t) + 0.9 \dot{W}_{\text{exp}}(t) - 1.1 \dot{W}_{\text{imp}}(t)$$

Der er her benyttet at overførelsen sker med et tab på 10 %. (ref: 12)

Modellen er undersøgt ved en EDB-simulering. Programmet findes i bilag.

Resultater.

Modellen er undersøgt for forskellige værdier af de tre parametre, der karakteriserer den:

størrelsen af området med kraftvarmeforsyning:

$$Q_{\text{KF},\text{år}}$$

den installerede varmeeffekt på kraftvarmeværkerne:

$$\dot{q}_{\text{KV},\text{max}} (\sim \delta)$$

overførelseskapaciteten mellem de to systemer:

$$W_{\text{ovf},\text{max}}$$

Det årlige varmeforbrug i området med kraftvarmeforsyning dækkes dels af kraftvarme dels af varme fra kedelfyr:

$$Q_{\text{KF},\text{år}} = Q_{\text{KV},\text{år}} + Q_{\text{tilf},\text{år}}$$

Systemets effektivitet bestemmes af, hvor stor en del af $Q_{KF, \text{år}}$, som udgøres af $Q_{KV, \text{år}}$:

Benyttes et kedelfyr til at dække varmemeforbruget, Q_V , er brændselsforbruget givet ved:

$$Q_{B,F} = \frac{1}{\eta_F} \cdot Q_V$$

hvor η_F er kedelfyrets termiske effektivitet.

Hvis varmemeforbruget Q_V i stedet dækkes af kraftvarme bliver brændselsforbruget:

$$Q_{B,KV} = \frac{c_V}{\eta_{el}} \cdot Q_V$$

jævnfør tidligere (s. 19) hvor c_V og η_{el} fremgår.

Brændselsbesparelsen ved en overgang fra kedelfyr til kraftvarme bliver da:

$$Q_{B,sp} = \left(\frac{1}{\eta_F} - \frac{c_V}{\eta_{el}} \right) \cdot Q_V$$

Hvis der for fastholdt $Q_{KF, \text{år}}$ og δ ændres i $Q_{KV, \text{år}}$ på grund af en øgning i $W_{ovf, \text{max}}$, og denne ændring betegnes $\Delta Q_{KV, \text{år}}$ fås der en brændselsbesparelse på:

$$\Delta Q_{B,sp} = \left(\frac{1}{\eta_F} - \frac{c_V}{\eta_{el}} \right) \cdot \Delta Q_{KV, \text{år}}$$

Denne ændring, $\Delta Q_{KV, \text{år}}$, er fremkommet ved, at det er muligt at udveksle mere el. Den forøgelse i eksporten, $\Delta W_{exp, \text{år}}$, som fremkommer er givet ved:

$$\Delta W_{exp, \text{år}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \Delta Q_{KV, \text{år}}$$

Denne udvidelse af eleksporten medfører et yderligere tab ved udvekslingen:

$$\Delta W_{\text{tab,år}} = 0.2 \Delta W_{\text{exp,år}} = \frac{0.2}{\alpha} \cdot \Delta Q_{\text{KV,år}}$$

Dette betyder et ekstra brændselsforbrug:

$$\Delta Q_{\text{B,ex}} = \frac{1}{\eta_{\text{el}}} \frac{0.2}{\alpha} \cdot \Delta Q_{\text{KV,år}}$$

Den samlede brændselsbesparelse, der opnås ved at øge kraftvarmeforsyningen med $Q_{\text{KV,år}}$ er da:

$$\Delta Q_{\text{B,sp}}^{\text{total}} = \left(\frac{1}{\eta_{\text{F}}} - \frac{c_{\text{V}} + 0.2/\alpha}{\eta_{\text{el}}} \right) \cdot \Delta Q_{\text{KV,år}}$$

Typiske værdier for $\eta_{\text{F}} = 0.80$, $c_{\text{V}} = 0.13$ og $\eta_{\text{el}} = 0.40$ ($\alpha = 2.0$), hvilket giver, at:

$$\Delta Q_{\text{B,sp}}^{\text{total}} = 0.68 \cdot \Delta Q_{\text{KV,år}}$$

En ændring i $Q_{\text{KV,år}}$ er for fastholdt $Q_{\text{KF,år}}$ medført af en tilsvarende ændring i $Q_{\text{tilf,år}}$, således at $\Delta Q_{\text{KV,år}} = - \Delta Q_{\text{tilf,år}}$. Der skal i det følgende fokuseres på $Q_{\text{tilf,år}}$.

På figur 5.1, 5.2, 5.3 fremgår $Q_{\text{tilf,år}}$ som funktion af $\dot{W}_{\text{ovf,max}}$ for forskellige valg af $Q_{\text{KF,år}}$ og δ . For værdier af $Q_{\text{KF,år}}$ er benyttet henholdsvis 1.0, 1.5 og 2.0 gange det årlige elforbrug. Dette svarer til, at 35 %, 53 % og 71 % af varmeforbruget ligger i områder med kraftvarmeforsyning (jævnfør også figur s. 23).

I det følgende benyttes $W_{\text{DK,år}}$ (= det årlige elforbrug) som enhed for $Q_{\text{KF,år}}$.

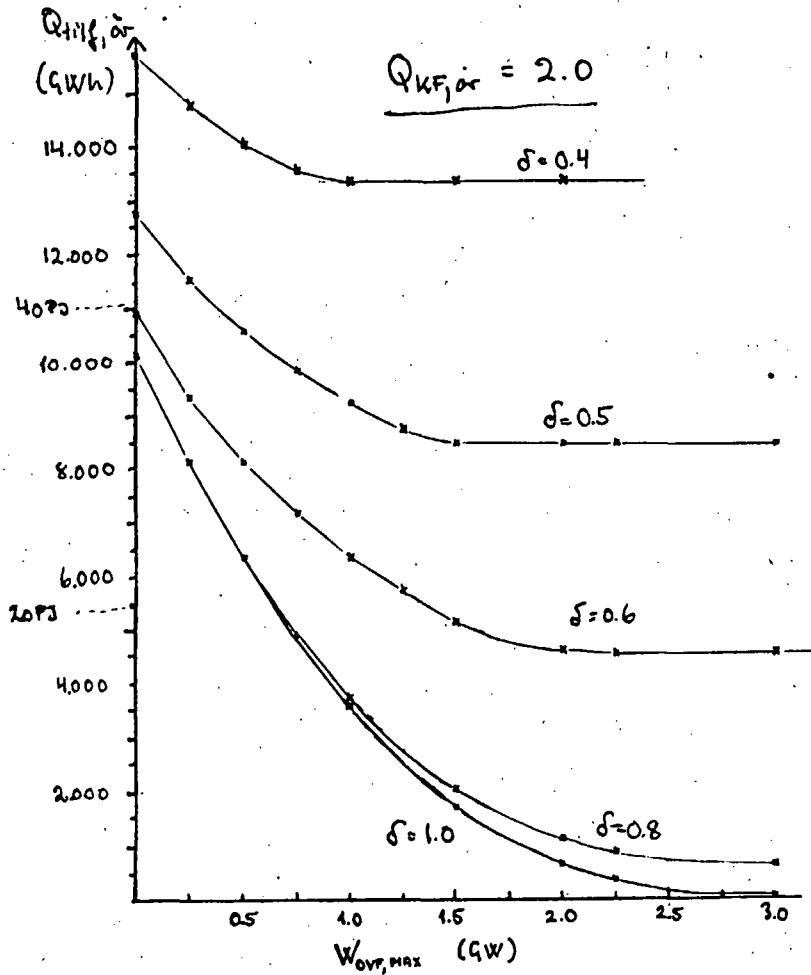


FIG. 5.1: DEN TILFØRTE MÆNGDE VARME FRA KEDELFYR I OMRÅDER MED KRAFTVARMEFORSYNING, SOM FUNKTION AF OVERFØRELSKAPACITEN

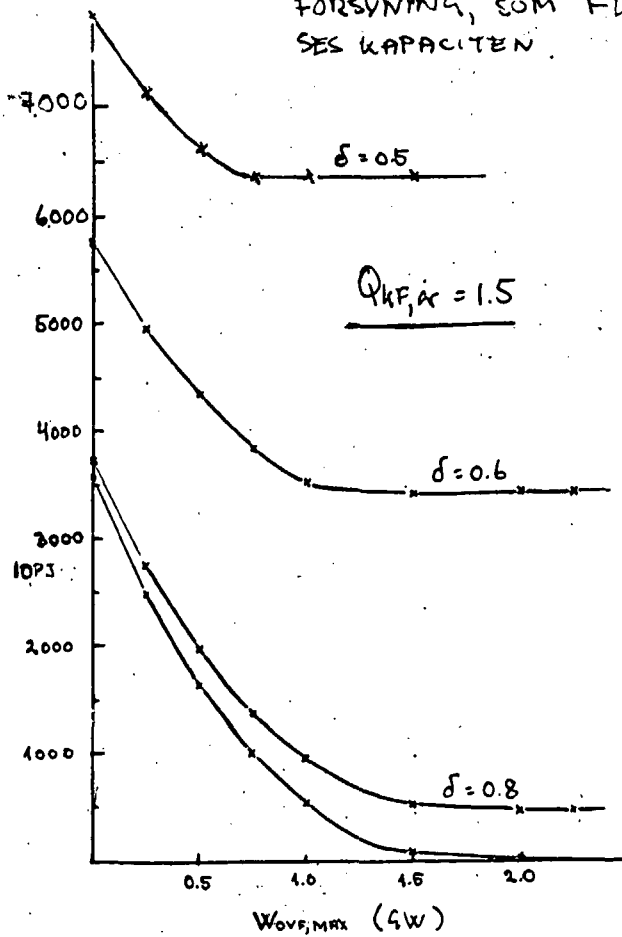


FIG 5.2: SAMME SOM 5.1

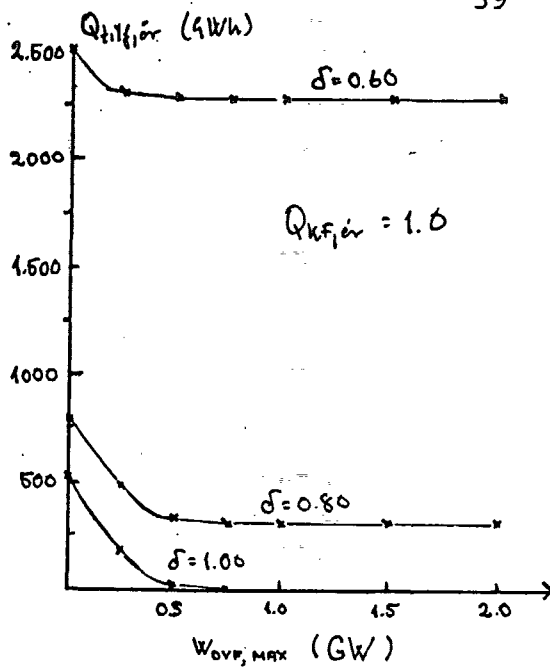


FIG. 5.3 . SAMME SOM FIG 5.1

Til at vurdere, hvor stor $\dot{W}_{\text{ovf,max}}$ skal være for givne valg af $Q_{\text{KF,år}}$ og δ , skal man se på størrelsen:

$$\beta = - \frac{\Delta Q_{\text{tilf,år}}}{\Delta W_{\text{ovf,max}}}$$

den marginale gevinst ved en udvidelse i overførelseskapaciteten. Når $\beta = 0$ betyder det, at en større $W_{\text{ovf,max}}$ ikke giver nogen gevinst for systemet.

Det bemærkes på figur 5.1, 5.2 og 5.3 at kurverne har et forholdsvis veldefineret knæk, hvor β bliver lig 0. Dette betyder, at der kan sættes en øvre grænse for $W_{\text{ovf,max}}$ for givne værdier af $Q_{\text{KF,år}}$ og δ . Denne grænse fremgår af figur 5.4.

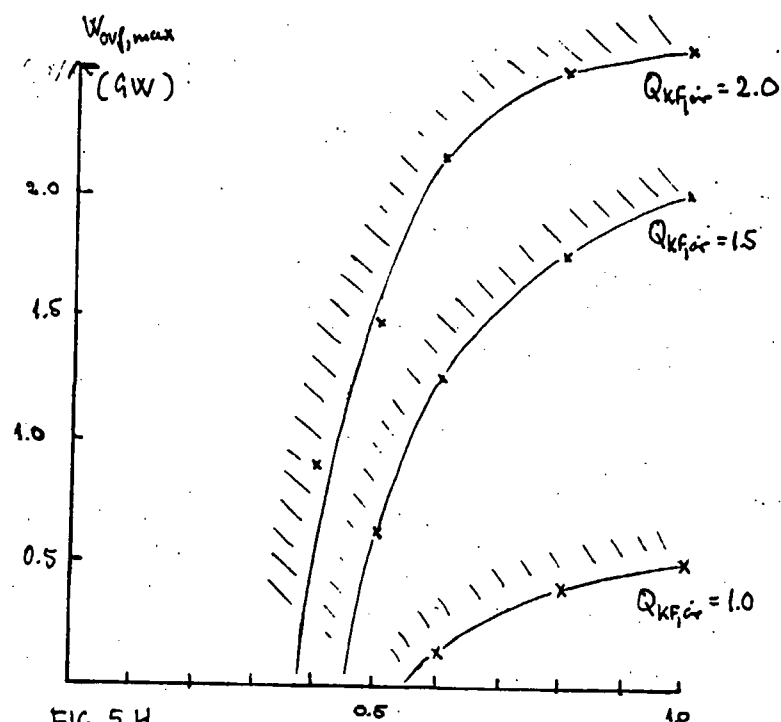


FIG 5.4
BESTEMMELSE AF DEN MAKSIMALE OVERFØ-
RELSKAPACITET. $\delta = 0.6$

I praksis vil der vælges et $\beta \neq 0$ til bestemmelse af grænsen.

Ved dimensionering af den installerede varmeeffekt på et kraftvarmeværk benyttes i dag typisk et $\delta = 0.6$, ref: . Dette svarer til, at 90 % af varmeforbruget dækkes af kraftvarme, hvis det er muligt at bestemme produktionen efter varmebehovet. Med $\delta = 0.6$ fås følgende:

Tabel 5.1

$Q_{KF,år}$	(i $W_{DK,år}$)	1.0	1.5	2.0
øvre grænse for $W_{ovf,max}$	(GW)	0.15	1.25	2.10
$Q_{KV,år} = - Q_{tilf,år}$	(GWh)	200	2350	6400
total $Q_{B,sp}$	(GWh)	136	1598	4352

Det bemærkes, at områder med kraftvarmeforsyning dækkende 30 % af varmeforbruget ikke kræver nogen overførelseskapacitet.

På figur 5.5 og 5.6 ses forsyningssituationen for varme og el.

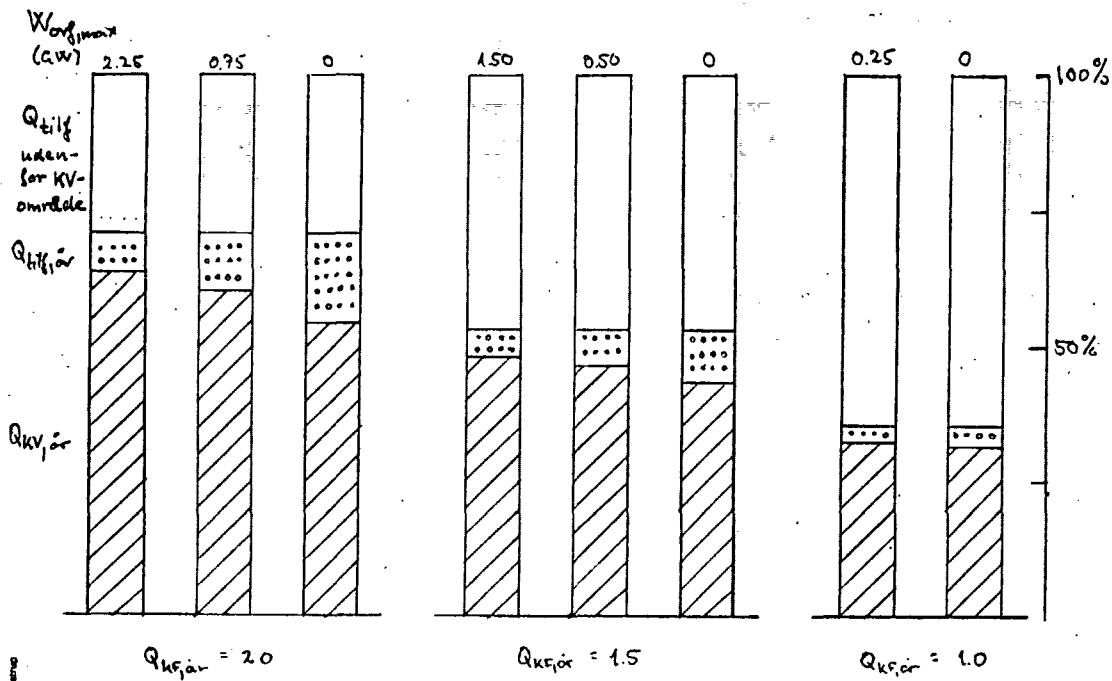


FIG 5.5: VARMEFORSYNINGSSITUATIONEN

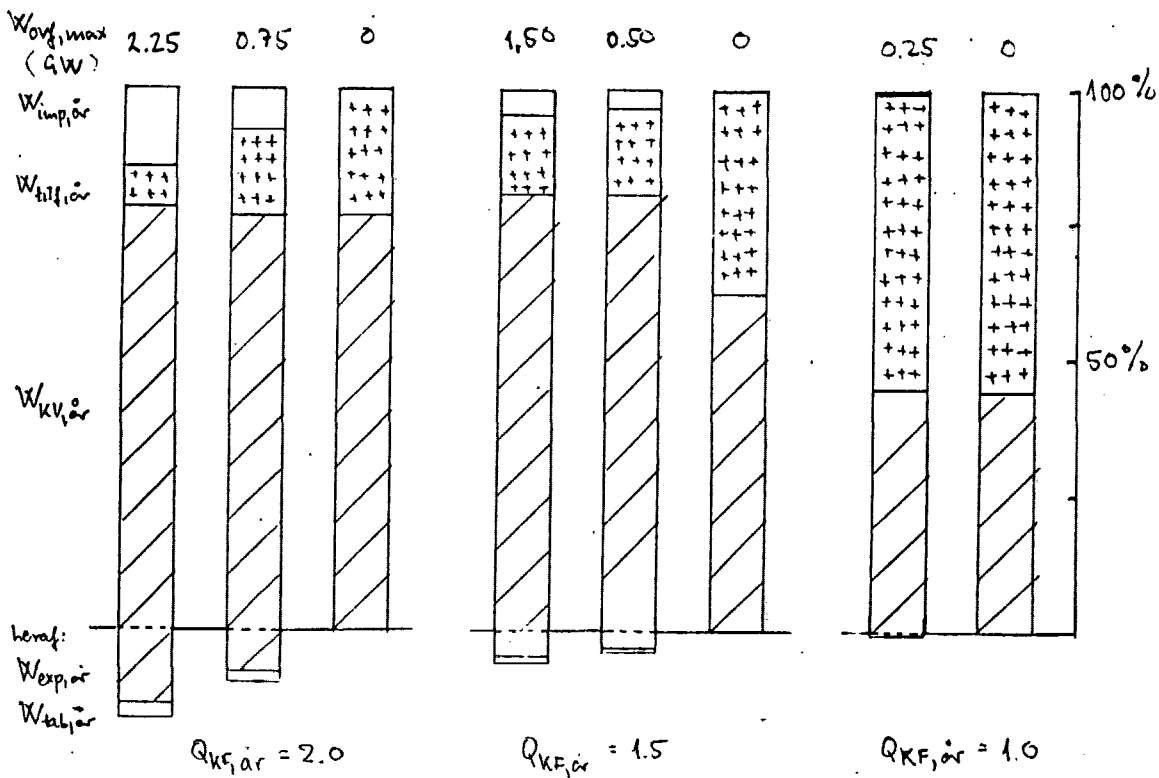


FIG 5.6: EL-FORSYNINGSSITUATIONEN

Som man kan se på figur 5.5 er den mængde varme som maksimalt flyttes fra kedelfyrsopvarmning til kraftvarme (når $\delta = 0.6$) 10 % af det samlede varmeforbrug (1. søjle).

Den mængde el, som betegnes $\dot{W}_{\text{tilf,år}}$, er den del der er produceret ved ren elproduktion. Det er dog ikke nødvendigt at installere ekstra elværker, da kraftvarmeværkerne også kan køre som kondensationsdrift og være udelukkende elproducerende.

Størrelsen af den installerede effekt på kraftvarmeværkerne er givet ved:

$$\dot{q}_{KV,\text{max}} = \dot{q}_{KF,\text{max}} \cdot \frac{Q_{KF,\text{år}}}{Q_{DK,\text{år}}}$$

Er gennemsnitsbelastningen 1.0 bliver den maksimale belastning 2.205. For hele det danske varmeforbrug bliver den maksimale belastning:

$$\dot{q}_{DK,\text{max}} = 17,1 \text{ GW}$$

Den tilsvarende installerede eleffekt på kraftvarmeværkerne er:

$$\dot{W}_{KV,\text{max}} = \frac{1}{\alpha} \dot{q}_{KV,\text{max}}$$

Med $\delta = 0.6$ fås for de tre værdier for $Q_{KF,\text{år}}$:

Tabel 5.

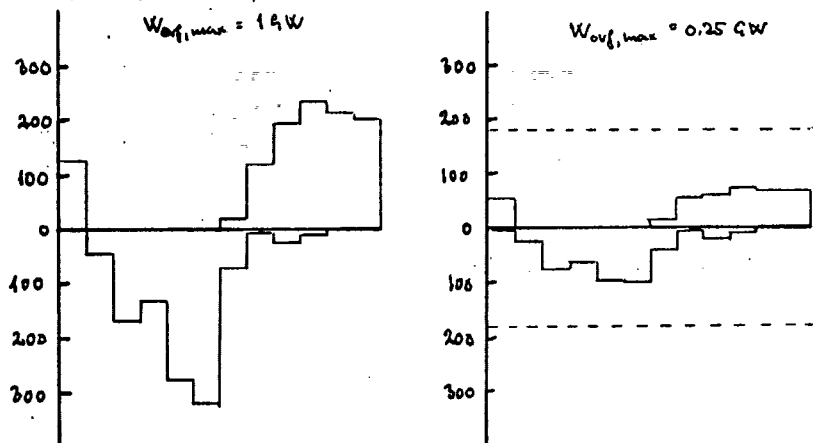
$Q_{KF,\text{år}}$	1.0	1.5	2.0
$\dot{q}_{KV,\text{max}}$ (GW)	7.27	5.45	3.64
$\dot{W}_{KV,\text{max}}$ (GW)	3.64	2.73	1.82

Sammenlignes med den maksimale elbelastning i Danmark, der er 4.7 GW, ses at der er behov for ekstra elkapaci-

tet. Størrelsen af denne er ikke bestemt her.

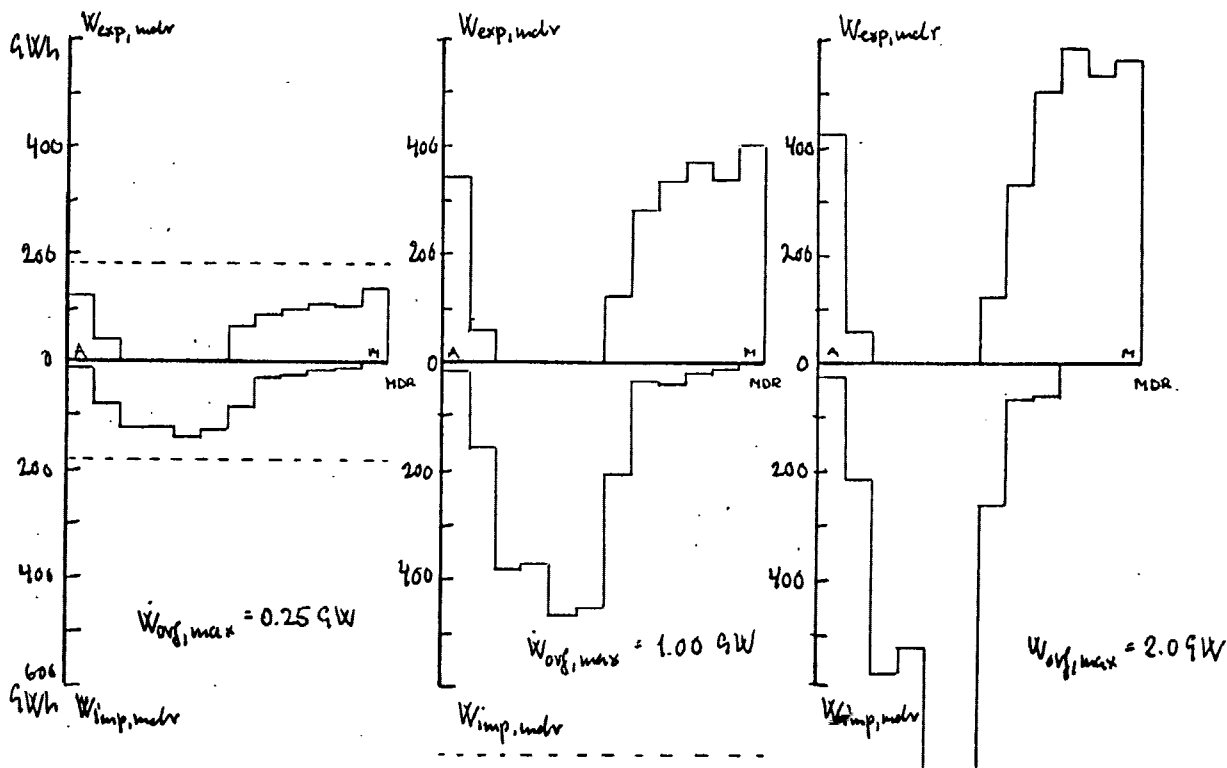
På figur 5.7 er vist den månedlige udveksling af el mellem det danske og norske system, for nogle udvalgte værdier af $Q_{KF, \text{år}}$ og $W_{\text{ovf}, \text{max}}$. Bemærk at kurverne starter i april måned.

FIG. 5.7



DEN MÅNEDLIGE UDVÆKSLING MELLEM DE TO SYSTEMER

$$Q_{KF, \text{år}} = 1.5, \quad \delta = 0.6$$



Den månedlige udveksling mellem de to systemer.

$$Q_{KF, \text{år}} = 2.0, \quad \delta = 0.6$$

Det bemærkes at udvekslingen er en sæsonudjævning. Der eksporteres til Norge i vintermånederne, når der er stor varmebelastning i Danmark, og der importeres i sommermånederne, når der er en lille varmebelastning.

På figur 5.7 er også indtegnet den maksimale månedlige eksport henholdsvis import den givne $W_{ovf,max}$ kan præstere. Den samlede højde af import plus eksport giver, hvor kraftigt kablet er belastet. Det ses på figurerne, at belastningen af kablet for $W_{ovf,max}$ i den øvre grænse er under halvdelen.

Til at vurdere i hvilket omfang den etablerede kabelforbindelse kan udnyttes til eksport af overskudsel i Norge til Danmark, må der ses på belastningen af kablet og den samlede tilførte elenergi ved ren elproduktion, $W_{tilf,år}$. Den øvrige elproduktion er bundet af varmeproduktionen. Det er den tilførte elenergi ved ren elproduktion, som kan erstattes af importeret el.

På figur 5.8 er afsat den tilførte elenergi ved ren elproduktion for $Q_{KF,år} = 1.5$, $\delta = 0.6$ og $W_{ovf,max} = 1.0$ GW. Sammenlignes den med figur 5.7, ses at den tilførte elenergi ved ren elproduktion ligger på samme tidspunkt som når elimporten er belastet mest. En afgørelse af den mulige elimport kræver, at der ses nærmere på døgnvariationerne.

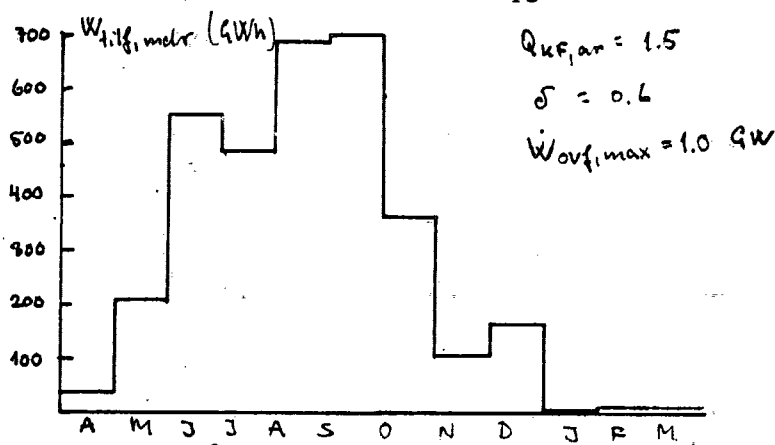


FIG. 5.8
DEN TILFØRTE EL-ENERGI VED "REN"
ELPRODUKTION

Konsekvensen for det norske elsystem.

Forudsætningen for udvekslingen er, at når der eksporteres el til Norge, kan der ske en tilsvarende reduktion i den norske elproduktion, og når der importeres til Danmark skal der være den tilstrækkelige effekt til rådighed i det norske elsystem.

Da den maksimale effektoverførelse, der kan komme på tale er ca. 2 GW og da elbelastningen i Norge gennemsnitlig er 9.3 GW, er der ingen problemer med dette.

Ser man desuden på årstidsvariationen for det norske elforbrug og udvekslingen af el (se figur s. 31), bemærkes at der sker import til Danmark, når elbelastningen er lille i Norge, og der sker eksport fra Danmark når elbelastningen er stor i Norge.

Ser man på døgnbelastningerne, vil den maksimale importeffekt opnås i dagtimerne, og den maksimale eksporteffekt opnås i nattimerne. Dette betyder, at det norske elsystem skal kunne optage døgnvariationer i både det norske og det danske elforbrug. Da turbinernes effekt ved et vandkraftværk er let at regulere, er dette muligt.

En anden konsekvens for det norske elsystem er et ændret forbrugsmønster af vandreservoirerne. Dette er givet ved ligningen s. 35.

På figur 5.9 ses ændringen af fyldningsgraden af vandreservoarerne på grund af udvekslingen for systemet med $Q_{KF, \text{år}} = 2.0$, $\delta = 0.8$ og $W_{\text{ovf, max}} = 2.0$ GW. Dette er et system, som har en stor udveksling, jævnfør figurerne s. og s.

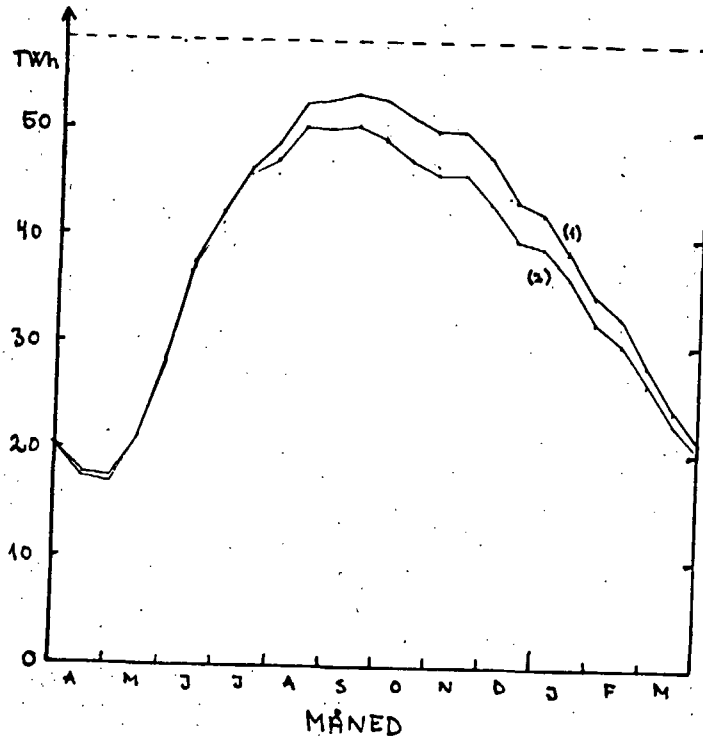


Fig. 5.9 Ændringen i fyldningsgraden på grund af udvekslingen i el mellem Danmark og Norge. Kurve (1) er uden kobling mellem de to systemer, medens kurve (2) er med udveksling (systemets parametre står øverts på siden).

Kraftvarmesystem med varmelager.

I dette afsnit undersøges muligheden i at lade et varmelager indgå i et kraftvarmesystem. Ideen er at lade produktionen på kraftvarmeværkerne være bestemt af elforbruget og bruge et varmelager til at tilpasse varmeproduktionen og varmeforbruget.

Beskrivelse af modellen.

Der indgår nogle af de samme størrelser, som i det foregående afsnit.

Der benyttes de samme forudsætninger og betegnelser for el- og varmeforbrug. Systemet karakteriseres tilsvarende med et kraftvarmeforsyningsområde, og elforsyningsområdet er igen hele landet, og $\alpha = 2.0$.

Her bliver derimod kraftvarmeværkerne karakteriseret ved at være installeret med en given eleffekt, $\dot{W}_{KV,max}$.

Når $\dot{W}_{DK,max}$ er maksimal elbelastning, benyttes:

$$\gamma = \frac{\dot{W}_{KV,max}}{\dot{W}_{DK,max}}$$

Systemet bliver så karakteriseret ved:

området med kraftvarmeforsyning: $Q_{KF,år}$

installeret el-effekt på kraftvarmeværker: γ

og så varmelagerets kapacitet: C_L

Produktionen på kraftvarmeværkerne er bestemt af elforbruget. Er

$$\dot{W}_F(t) < \dot{W}_{KV,max} : \text{bliver } \dot{W}_{KV}(t) = \dot{W}_F(t)$$

$$\dot{W}_F(t) > \dot{W}_{KV,max} : \text{bliver } \dot{W}_{KV}(t) = \dot{W}_{KV,max} \text{ og der tilføres fra rene elværker :}$$

$$\dot{W}_{elV} = \dot{W}_F(t) - \dot{W}_{KV,max}$$

Varmeproduktionen fra kraftvarmeværker er:

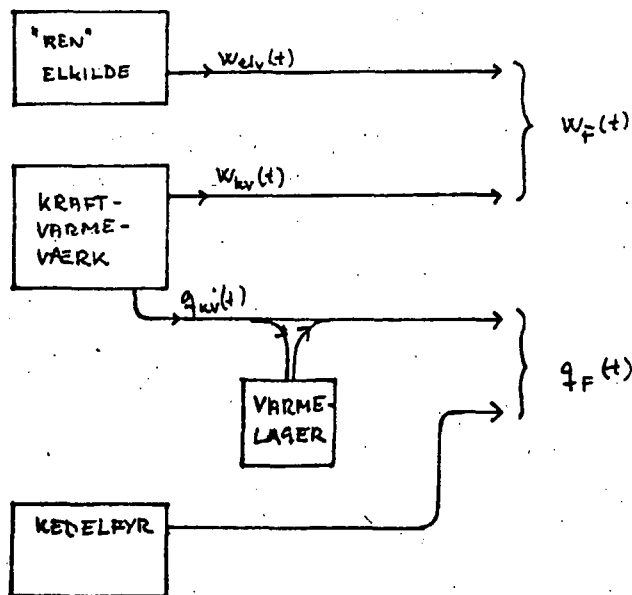
$$\dot{q}_{KV}(t) = \alpha \cdot \dot{W}_{KV}(t)$$

Med et varmelager indbygget i systemet, vil der være følgende situationer:

$\dot{q}_{KV}(t) > \dot{q}_{KF}(t)$: varmeoverskuddet tilføres varmelageret. Hvis dette er fyldt, produceres ingen varme på kraftvarmeværker.

$\dot{q}_{KV}(t) < \dot{q}_{KF}(t)$: Den manglende varme leveres fra varmelageret. Hvis dette ikke er tilstrækkeligt, suppleres fra kedelfyr, \dot{q}_{tilf} .

Systemet er anskueliggjort på følgende figur.



Som varmelager anvendes et varmtvandsreservoir. Det er den type, der er størst erfaring med. Lagerets varmekapacitet er givet ved:

$$C_L = c_{vand} \cdot V_L (T_{L,max} - T_R)$$

hvor c_{vand} : vands varmekapacitet.

$T_{L,\text{max}}$: maksimal lagertemperatur, her lig 95°C .

T_R : fjernvarmesystemets returløbstemperatur, her 45°C .

Varmetabet fra lageret er givet ved:

$$Q_{L,\text{tab}} = O_L \cdot k \cdot (T_L - T_0)$$

hvor O_L : lagerets overflade.

k : k-værdien for isoleringen, her benyttes 10 cm mineraluld, så $k = 0.40 \text{ W/m}^2$.

T_L : lagerets temperatur.

T_0 : omgivelsernes temperatur, her 8°C svarende til jordens temperatur (lageret tænkes nedgravet).

Da $O_L = \Omega \cdot V_L^{2/3}$, hvor Ω er en størrelse, som afhænger af lagerets geometri. Her sættes $\Omega = 7.0$.

Varmelageret er beliggende i forbindelse med et kraftvarmeværk. Forsyner dette kraftvarmeværk et område med det årlige varmeforbrug $Q_{B,\text{år}}$ kan varmetabet karakteriseres ved:

$$\frac{Q_{L,\text{tab}}}{Q_{B,\text{år}}} = \Omega \cdot \frac{T_L - T_0}{c_{\text{vand}} \cdot (T_{L,\text{max}} - T_R)^{2/3}} \cdot \frac{Q_L^{2/3}}{Q_{B,\text{år}}^{1/3}} \cdot k$$

Det bemærkes at jo større $Q_{B,\text{år}}$ er, jo relativt mindre bliver lagerets varmetab.

Undersøgelsen af modellen er foretaget ved en EDB-simulering. Se program i bilag.

$$q_L = \frac{c_L}{Q_{B,\text{år}}}$$

Resultater.

Modellen er undersøgt for værker, der forsyner et område med.

$$Q_{B,\text{år}} = 56.7 \text{ TJ} \sim 1.200 \text{ indbyggere}$$

$$Q_{B,\text{år}} = 567.0 \text{ TJ} \sim 12.000 \text{ indbyggere}$$

Bemærk at $Q_{KF,\text{år}}$ giver hvor stort det samlede område med kraftvarmeforsyning er, medens $Q_{B,\text{år}}$ angiver det enkelte værks forsyningsområde.

Der er undersøgt, hvor stor en mængde varme, der er tilført fra kedelfyr for varierende lagerkapacitet.

Der er valgt kun at se på $\gamma = 0.8$.

Der benyttes igen det årlige elforbrug, som enhed for $Q_{KF,\text{år}}$.

For store lagre er der kun set på $Q_{KF,\text{år}} = 1.5$. Der er ingen kvalitativ forskel for andre valg af $Q_{KF,\text{år}}$. På figur 6.1 ses den tilførte varme fra kedelfyr, $Q_{\text{tilf},\text{år}}$, som funktion af $c_L/Q_{B,\text{år}}$. Som reference for de to valg af $Q_{B,\text{år}}$ er medtaget et system, hvor $Q_{L,\text{tab}} = 0$.

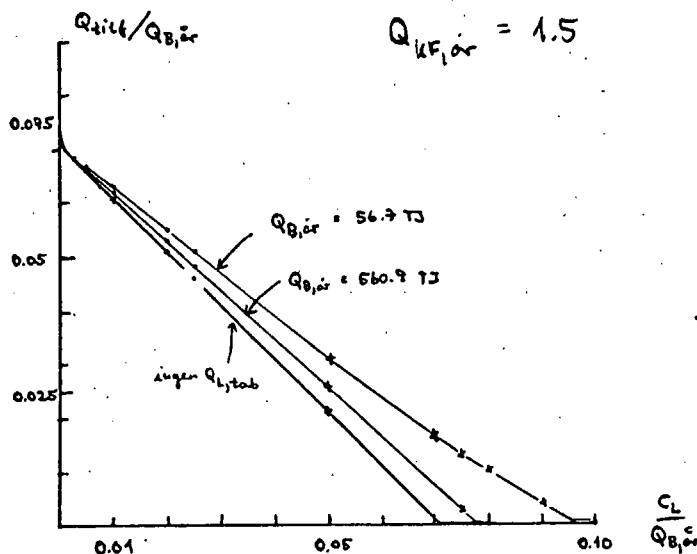


Fig 6.1 Den tilførte mængde varme fra kedelfyr som funktion af lagerstørrelsen.

For små lagre $c_L/Q_{B,\text{år}} < 10^{-3}$ ($c_L/Q_{B,\text{år}} = 10^{-3}$ svarer til en lagerkapacitet på 8 timers varmeforbrug), er systemet undersøgt for $Q_{KF,\text{år}} = 1.0, 1.25, 1.50$ og 2.00 . Her er varmetabet fra lageret sat lig 0, da det er ubetydeligt; se figur 6.1 hvor kurverne samles for små lagre. Se figur 6.2.

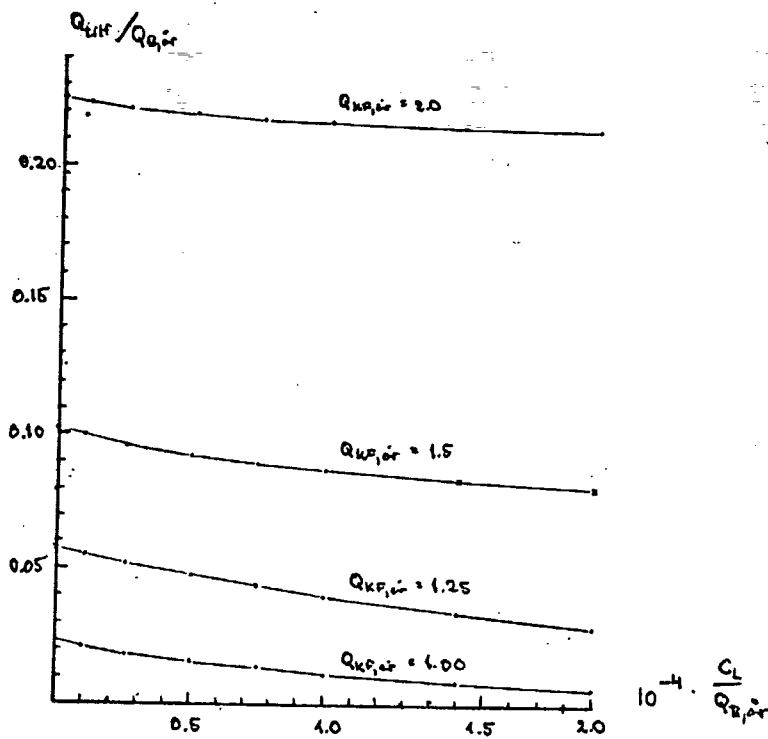


Fig 6.2: Tilsvarende som fig 6.1, men for små lagre og flere værdier af $Q_{KF,\text{år}}$.

Til at vurdere om en udvidelse af lagerkapaciteten er fornuftig, skal der ses på:

$$\tilde{\beta} = \frac{\Delta Q_{\text{tilf},\text{år}}/Q_{B,\text{år}}}{\Delta c_L/Q_{B,\text{år}}} = \frac{\Delta Q_{\text{tilf},\text{år}}}{\Delta c_L}$$

For et varmelager større end ca. 0.005^* er hældningen konstant, og er:

$$*) \frac{c_L}{Q_{B,\text{år}}}$$

$$Q_{B,\text{år}} = 56.7 \text{ TJ} : \tilde{\beta} = -0.78$$

$$Q_{B,\text{år}} = 567.0 \text{ TJ} : \tilde{\beta} = -0.93$$

$$\text{ingen } Q_{L,\text{tab}} : \tilde{\beta} = -1$$

Lagerets størrelse når hele $Q_{B,\text{år}}$ dækkes med kraftvarme, d.v.s. $Q_{\text{tilf},\text{år}} = 0$, er for:

$$Q_{B,\text{år}} = 56.7 \text{ TJ} : 0.095 \cdot Q_{B,\text{år}} , V_L = 25.800 \text{ m}^3$$

$$Q_{B,\text{år}} = 567.0 \text{ TJ} : 0.078 \cdot Q_{B,\text{år}} , V_L = 239.000 \text{ m}^3$$

$$\text{ingen varmetab} : 0.071 \cdot Q_{B,\text{år}}$$

Det tilsvarende lagervolumen er også noteret.

For små lagre fås en større hældning for $Q_{\text{tilf},\text{år}}/Q_{B,\text{år}}$ som funktion af $c_L/Q_{B,\text{år}}$. Værdier for $-/\sqrt{}$:

$Q_{KF,\text{år}}$	1.0	1.25	1.50	2.00
$c_L/Q_{B,\text{år}}$				
$0.5 \cdot 10^{-4}$	80	160	140	80
$2.0 \cdot 10^{-4}$	40	106	60	20
$5.0 \cdot 10^{-4}$	0	12	8	4
$1.0 \cdot 10^{-3}$	0	3	1	1

Dette indikerer at der er et typisk døgnlager af størrelsen $c_L/Q_{B,\text{år}} = 0.001$, hvilket svarer til 8 timers gennemsnitligt varmeforbrug. Med $c_L/Q_{B,\text{år}} = 0.001$ bliver lagervolumen for de to tilfælde:

$$Q_{B,\text{år}} = 56.7 \text{ TJ} : V_L = 270 \text{ m}^3$$

$$Q_{B,\text{år}} = 567.0 \text{ TJ} : V_L = 2700 \text{ m}^3$$

Når lageret er større end $c_L/Q_{B,\text{år}} = 0.001$ fungerer det som sæsonlager.

Kraftvarme i den industrielle sektor, eksemplificeret ved et slagteri

I de foregående afsnit er behandlet kraftvarmesystemer i forbindelse med en fjernvarmeforsyning til et større område, typisk en by, og med en elproduktion tilkoblet et landsdækkende net. Dette giver en midlet tidslig fordeling af el- og varmeforbrug hos forskellige forbrugere, og temperaturen i kraftvarmesystemet er bestemt til at kunne dække rum- og brugsvandsforbrug.

En anden måde at opbygge et effektivt energisystem er ved at benytte kraftvarme indenfor de enkelte virksomheder. Der kan opnås nogle fordele ved at lade et kraftvarmeanlæg indgå i et energisystem for en enkelt virksomhed. De forskellige energiforbrug i virksomheden vil være bedre tidsligt korreleret, da de knytter sig til en produktionsgang. Der vil være mulighed for en bedre tilpasning af varmens produktionstemperatur og varmeforbrugets temperatur. Desuden opnås en enklere varmedistribution, fysisk som institutionelt. Der kan dog være fordele ved at koble en virksomheds energisystem til et eksternt energisystem, da der så er mulighed for at udnytte eventuelt overskudsvarme. En ulempe ved kraftvarme indenfor den enkelte virksomhed er, at kraftvarmeværket bliver en lille enhed.

For at kunne bedømme mulighederne for kraftvarme i den enkelte virksomhed er det nødvendigt at kende dens produktionsgang, og det dertil knyttet energiforbrug.

Som et eksempel på kraftvarme i den industrielle sektor analyseres her i dette afsnit mulighederne for at lade et kraftvarmeanlæg indgå i et slagteris energisystem.

Analysen er baseret på materiale i rapporten: "Energibesparelser i industrielle processer" af Jens Borup Kallesøe. Her er et modelslagteris energiforbrug opgjort på deres forskellige anvendelser, og delvis deres tidslige variationer. Der er desuden givet forslag til nogle energibesparelser.

Her skal først gives en kort beskrivelse af produktionsgangen i et slagteri. (En nærmere beskrivelse se omtalte rapport). I slagteriet foregår selve slagtningen, grovudskæringen, baconfremstillingen og nedfrysning til opbevaring.

Først foretages selve slagtningen. Derefter bliver svinene skoldet i 60 °C varmt vand. De føres derefter ind i en hårstødemaskine, hvor de oversprøjtes med 37 °C varmt vand. Dernæst sker der en svidning i en gasovn, hvor der er en temperatur på ca. 1000 °C. Efter svidningen begynder selve udskæringen. Under udskæringen passerer kødet igennem en køletunnel, så dets overflade bliver afkølet til omkring 0 °C. Til sidst efter den endelige udskæring dybfryses en del af kødet til opbevaring.

Udover udskæringen er der også afdelinger for tarmrenseri, fedtsmelteri, pluksafdeling og baconfremstilling. Der vil der bl.a. foregå kogning.

Det nuværende energiforbrug fordeler sig således:
(tallene er opgivet i kWh/svin)

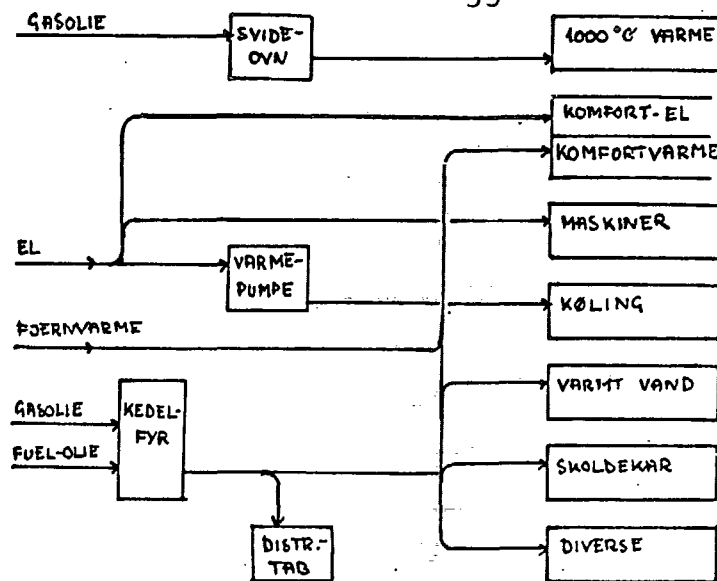
elforbrug:	køleanlæg:	6.3	
	maskiner:	3.1	
	komfort (belysning)	2.1	ialt: 11.5
1000 °C varme til svideovn:		7.8	ialt: 7.8
varme:	komfortvarme:	5.1	
	40 °C varmt vand:	2.8	
	60 °C varmt vand:	6.5	
	82 °C varmt vand:	2.5	
	skoldekar (60 °C):	1.6	
	diverse:	2.1	
	distributionstab:	1.2	ialt: 21.8

Den nuværende forsyningsituation ser således ud:

El fås fra det offentlige net, produceret på elværk

Svideovnen bruger udelukkende gasolie

Varmen fås fra: fjernvarme 2.9, kedelanlæg, der benytter gasolie 2.9 og fuelolie 22.3. Kedelanlægget effektivitet $\eta_k = 0.75$.



NUVÆRENDE ENERGISYSTEM I SLAGTERI

FIG 9.1

For at opnå et effektivt energisystem på et slagteri må det indeholde følgende komponenter:

- i) kraftvarmeanhed, der producerer el og varme
- ii) køleanlæggets varmepumpe indgår i en del af opvarmningen
- iii) udnyttelse af spildvarme fra svideovn

De to sidste muligheder er analyseret i ovenstående rapport. Her skal ses på muligheden for, at et kraftvarmeanlæg indgår i slagteriets energisystem.

For at vurdere muligheden for anvendelse af et kraftvarmeanlæg, er det nødvendigt at kende de forskellige energiforbrugs variation i løbet af døgnet. Dette er gjort, dels byggende på egne skøn dels byggende på tal fra omtalte rapport. Ud over komfortvarmen er det antaget, at de øvrige energiforbrug er produktionsafhængige. På fig 7.2 og fig 7.3 ses de døgnlige variationer i el- og varmeforbruget. Svideovnens forbrug indgår ikke, da det ikke kan dækkes af kraftvarmen. Heller ikke komfortvarmen indgår i figurene.

Kraftvarmeanlæggets størrelse bestemmes af elforbruget.

Den maksimale effekt er: 0.96 kW/svin/dag.

Slagterikapaciteten er: 420 svin/time á 7 timer, hvilket giver 2.940 svin/dag.

Den nødvendige elkapacitet bliver da: 2.810 kW, som afrundes til 3 MW (~ 7% overkapacitet).

Som kraftvarmeanhed benyttes en dieselmotor. Det er den billigste løsning i denne størrelseorden (ref. 5)

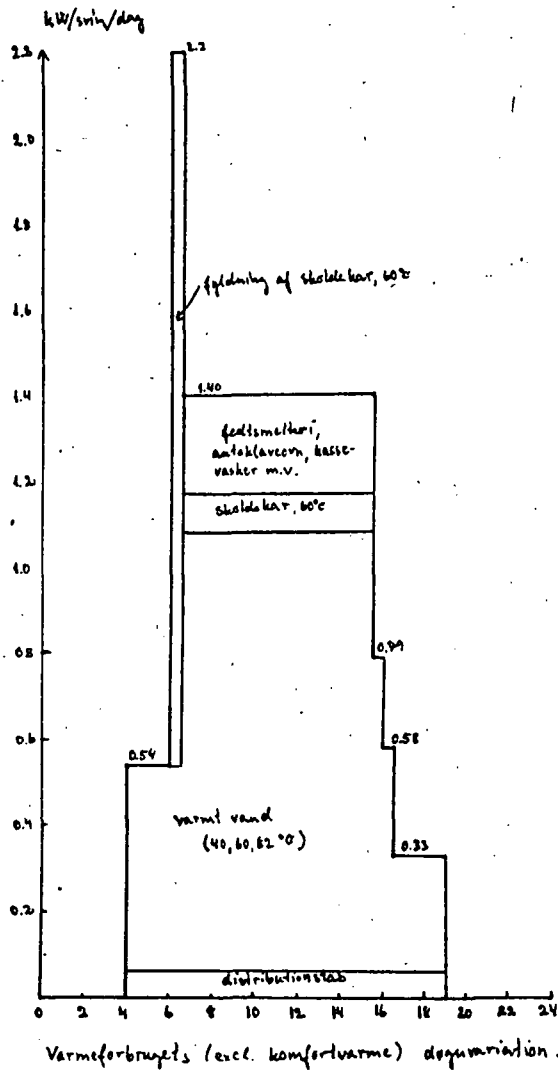


FIG 7.3

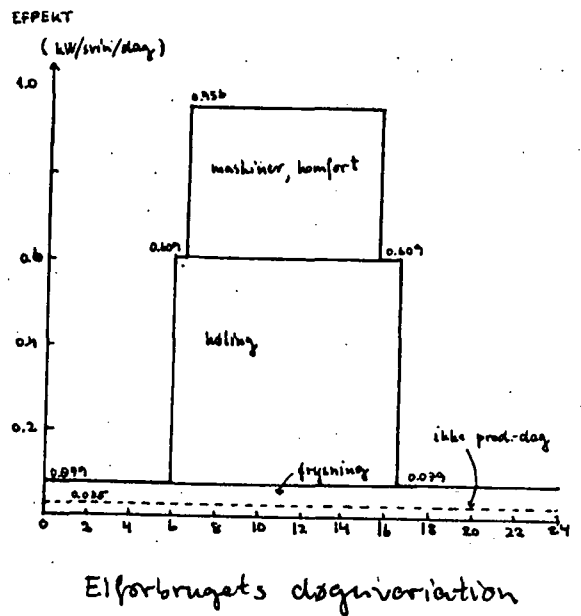


FIG 7.4

Energibalancen for dieselmotorværket fremgår af fig. 7.5
 Det bemærkes at $Q/W = 1.38$ og $Q_B = 2.86$ W. Dieselanlægget kan opnå en temperatur på 120°C på varmesiden, hvilket er tilstrækkeligt til de givne formål.

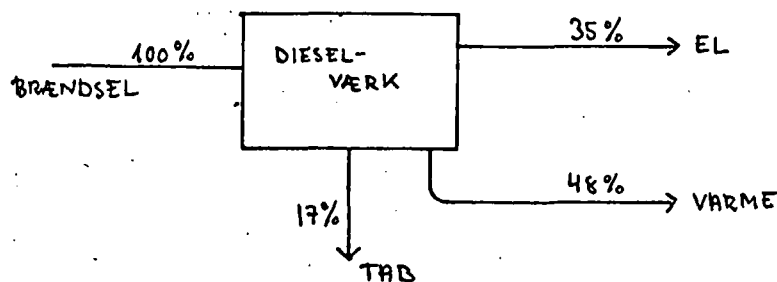


FIG 7.5

Dieselanlægget tænkes kun i drift i perioden kl. 6.00 til kl. 16.30, da el-effektbehovet udenfor denne periode er så lav, at dieselanlæggets effektivitet er meget dårlig, se fig. 7.6. Det elbehov, der ligger udenfor dieselværkets driftsperiode, dækkes så fra det offentlige el-net, og da det samtidig er udenfor dets spidsbelastning, vil det ikke belaste det yderligere.

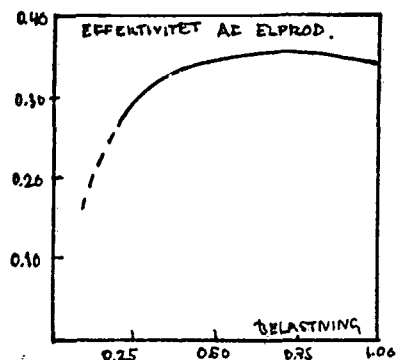


Fig 7.6

Kraftvarmeforsyningsens dækningsgrad fremgår af fig. 7.7 og fig. 7.8. De to figurer repræsenterer systemer med og uden udnyttelse af kondensationsvarmen fra køleanlæggets varmepumpe. Kondensationsvarmen benyttes til at opvarme varmtvandsbehovet til 30 °C.

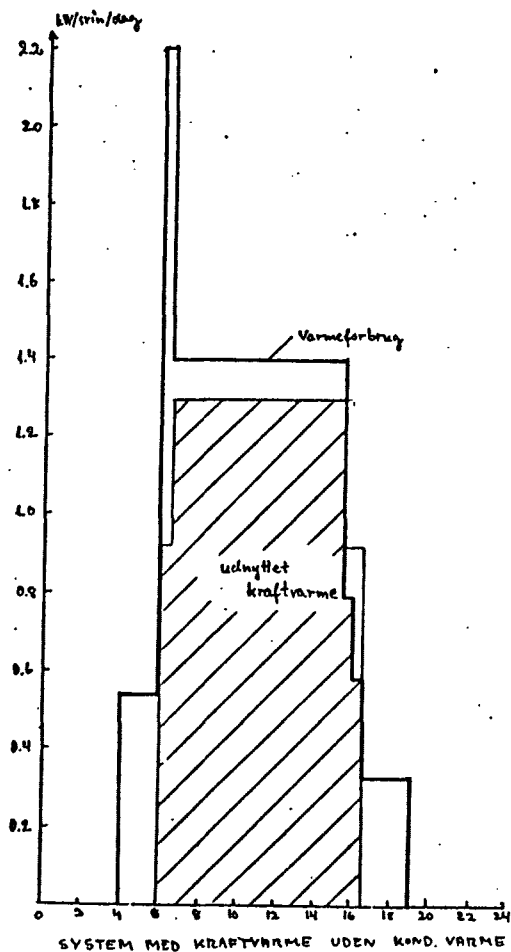


Fig 7.7

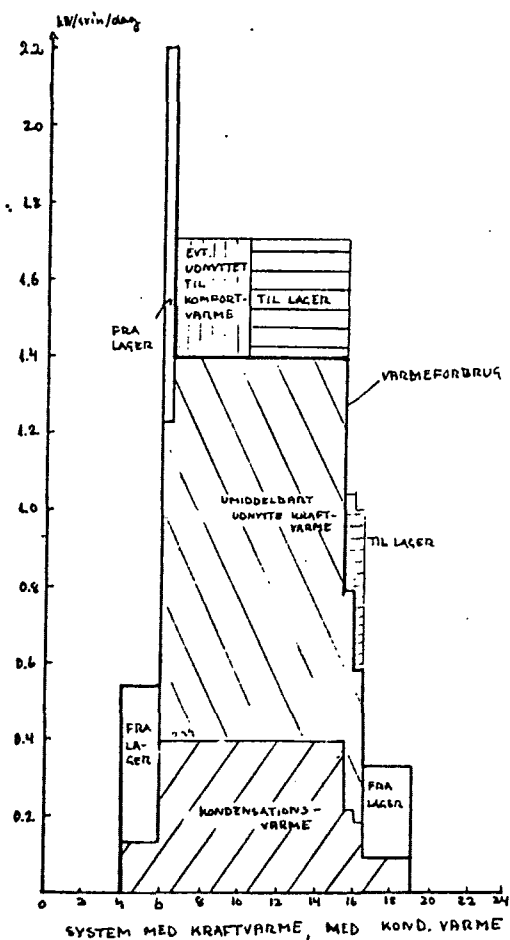
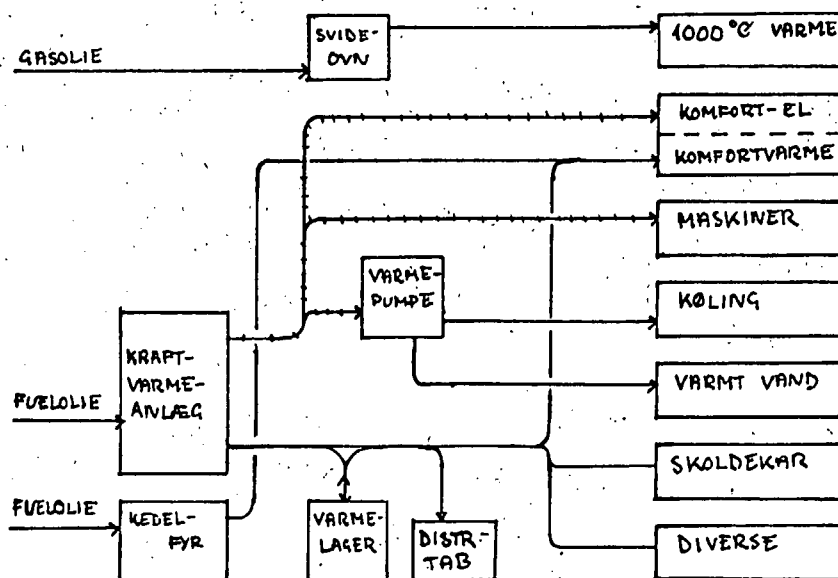


Fig 7.8

I situationen uden brug af kondensationsvarme benyttes kraftvarmen umiddelbart, og der skal ske en ekstra varmforsyning fra et kedelfyr. Denne andel udgør 3.4 kWh/svin. Resten af varmebehovet, 18.4 kWh/svin, forsynes fra kraftvarmeværket.

I situationen med brug af kondensationsvarmen kan kraftvarmen dække det resterende varmebehov (excl. komfortvarme). For at dette kan lade sig gøre, må der indgå et varmelager i systemet. Lagerets størrelse er givet ved, at det skal lagre 1.92 kWh/svin + 10% til tab, hvilket giver med en produktion på 2940 svin/dag ialt 5640 kWh. Med en temperaturforskel på 50 °C i lageret giver dette et lagervolumen på 108 m³. Den overskudsvarmeproduktion, som forekommer, kan delvis udnyttes til komfortvarme. Det antages at 50% af den kan nyttiggøres. Den manglende komfortvarme leveres fra kedelfyr. Varmeleverancen kommer så til at bestå af 4.3 kWh/svin fra kondensationsvarme, 14.1 kWh/svin fra kraftvarmeværk og 3.4 kWh/svin fra kedelfyr.

For begge systemer gælder, at kedelfyrets varmeeffekt-kapacitet er tilstrækkeligt til at kunne dække det maksimale varmeeffektbehov i tilfælde af, at kraftvarmeværket er ude af drift.



ENERGISYSTEMET MED KRAFTVARMEVÆRK
OG UDNYTTELSE AF KONDENSATIONSVARME

En økonomisk vurdering.

Brugen af kraftvarme betyder en investering i et kraftvarmeværk, her et dieselmotorværk, men giver samtidig en besparelse i energiudgiften. Der beregnes her den simple tilbagebetalingstid, der er givet ved:

$$t_{s.t.} = \frac{\text{investering}}{\text{årlig sparet energiudgift}}$$

Produktionen på slagteriet er med en 100% kapacitetsudnyttelse givet ved:

produktion/dag: 420 svin/time i 7 timer = 2940 svin/dag
der er 252 produktionsdage på et år, så det giver en årlig produktion på: 740.880 svin.

75% kapacitetsudnyttelse: 555.660 svin/år.

De priser, der benyttes, er uden afgifter og moms. Alle priserne er 1983-priser.

Der benyttes følgende priser på energi:

el: 0.45 kr/kWh
fjernvarme: 35 kr/GJ = 0.13 kr/kWh
fuelolie (1500 sec): 41 kr/GJ = 0.15 kr/kWh
(ref: 14)

Investeringen i dieselværket er 3.966 kr/kW (ref: 5), og det giver for det her benyttede værk: 12.0 mill. kr.

Dieselværket er i en sådan størrelseorden, at det bruger tung fuelolie (1500 sec) som brændstof.

Energiomkostningerne beregnes pr. slagtet svin. Det er excl. energiudgiften til svideovnen, da den indgår uændret i de forskellige systemer.

De nuværende energiomkostninger:

el:	11.5 kWh/svin	á	0.45 kr/kWh	=	5.18 kr/svin
fuelolie:	25.2	-	á 0.15	-	= 3.78 -
fjernvarme:	2.9	-	á 0.13	-	= <u>0.38</u> -

Bemærk: der er kun anvendt fuelolie til kedelanlægget. ialt: 9.54 kr/svin

Energisystem med kraftvarmeværk men uden brug af kondensationsvarme:

Dieselværket leverer 9.52 kWh/svin. Da $Q_B = 2.86 W_{el}$ betyder det, at brændselsbehovet er 27.2 kWh fuelolie pr. svin. Der

skal derudover leveres varme fra kedelanlægget: 3.4 kWh til produktionsproces + 5.1 kWh/svin til komfortvarme, og med $\eta_k = 0.75$ bliver fuelolie-forbruget 11.3 kWh/svin. Tilført el udenfor dieselværkets driftsperiode er 1.91 kWh/svin.

Og energiudgifterne bliver:

fuelolie til dieselværk:	27.2 kWh/svin	á 0.15 kr/kWh	4.08 kr/sv.
fuelolie til kedelfyr:	11.3	- á 0.15	- 1.70 -
el:	1.91	- á 0.45	- 0.86 -
			6.64 kr/sv.

Det giver en besparelse på: 2.70 kr/svin.

Den samlede årlige besparelse

med 100% kapacitetsudnyttelse: 2,00 mill.kr.

med 75% kapacitetsudnyttelse: 1,50 -

Og tilbagebetalingstiderne bliver

med 100% kap.-udn: 6.0 år

med 75% - : 8.0 år.

Energisystem med kraftvarme og med udnyttelse af kondensationsvarme:

Udnyttelse af kondensationsvarme fra varmepumpen til køling kræver indstallering af en varmeveksler. Tilbagebetalingstiden af denne er ca. 1 år (jvf. ovenstående rapport).

Brændselsforbruget til dieselværket er 27.2 kWh/svin. Behovet for varme leveret fra kedelfyr er 4.5 kWh/svin, hvilket giver et fueloliebehov på 6.0 kWh/svin, og køb af el er på 1.91 kWh/svin. Energiudgiften bliver da:

fuelolie til dieselværk:	27.2 kWh/sv.	á 0.15 kr/kWh	4.08 kr/sv
fuelolie til kedelfyr:	6.0 kWh/sv	á 0.15	- 0.90 -
el:	1.91	- á 0.45	- 0.86 -
			5.84 -

Som referance for dette system bruges systemet uden kraftvarme men med udnyttelse af kondensationsvarmen fra kølingen. Da kondensationsvarmen giver 3.4 kWh/svin, og det betyder besparelse i fuelolieforbruget på 4.5 kWh/svin svarende til 0.68 kr/svin, så referance-prisen bliver 8.89 kr/svin. Besparelsen bliver altså 3.05 kr/svin.

I dette her system er der desuden en investering i et varmelager på 108 m³. Lagerprisen er givet ved

$$P_L = 56 V + 3800 V_L^{2/3}$$

(ref: 15), hvor V_L er lagerets volumen. Det giver i dette tilfælde en lagerpris på 92.000 kr.

Den samlede investering bliver så: 12,092 mill. kr.

Den samlede årlige besparelse med

100% kapacitets-udnyttelse: 2,260 mill. kr.

75% - - - : 1,695 - -

Og tilbagebetalingstiderne bliver:

100% kapacitets-udnyttelse: 5,4 år

75% - - - : 7,1 -

Brændelsesbesparelsen ved brug af kraftvarme i et slagteri bliver:

uden kondensationsvarme: 14,3 kWh/svin 25%

med kondensationsvarme: 19,6 - 34%

Der er her benyttet, at elværkernes termiske effektivitet er på 0.40.

Antallet af slagterier i Danmark er 55. Den årlige mængde slagtede svin er ca. 14 mill. Det betyder, at det her analyserede slagteri er forholdsvis stort.

Generaliseres de her fundne resultater til alle slagterier fås at den samlede installerede effekt på disse bliver 75 MW_{el}. Det svarer til 2,7 % af den gennemsnitlige belastning for hele landet.

Den samlede brændselbesparelse bliver det der vil svare til 20.000 tons olie.

Sammenfatning

Resultaterne viser, at indførelse af et kraftvarmeværk i et slagteris energisystem giver tilbagebetalingstider på mellem 5 og 7 år.

Der er gjort nogle antagelser om produktionsgangens forløb. Den er nok mere ujævn end her antaget. Men hvis der er et varmelager i systemet og en kobling på el siden til det offentlige net, vil ujævnheder i produktionsgangen kunne udjævnes.

Reference-liste

1. Energiplan 81. Energiministeriet. 1981.
2. Lars Josephsen, Benny Petersen: Decentrale kraftvarmeværker. DTH, 1979.
3. T.S. Sørensen: Almen Energetik. DTH, 1978
4. Klaus Illum: Kraftvarme-systemer - et analytisk bidrag til den politiske energiteknologi. Aalborg Universitetsforlag, 1981.
5. K. Sandholt: Elementer af lokal energiplanlægning med særlig henblik på kollektive systemer. DTH, 1981.
6. Sigurd L. Pedersen: En analyse af det danske energisystem - dets nuværende struktur og fremtidige muligheder belyst ud fra termodynamiske forhold. Niels Bohr Inst., 1981.
7. Den regionale arbejdsgruppe for varmeplanlægning i Storstrøms Amtskommune: Byundersøgelse, 1983.
8. Ø. Melhus, B. Qvale, E. Kofoed: Kraftvarme, en vejledning af kraftvarmeværkers økonomi. DTH, 1980
9. Jacob M. Pedersen, Bjarne Lillethorup: Fjernvarmeoptimering - eksempel på effektiv energiplanlægning. Imfufa, 1984.
10. T. S. Sørensen: The science of energetics in the exergy crises or how is thermodynamics made useful? Kongresbidrag.)
11. Nordel 1980, 1981, 1982. Årsrapport.
12. Bent Sørensen: A combined wind and hydro power system. Energy Police, march 1981.
13. Nordiska Energisystem, möjligheter och begränsningar i ett långsiktigt perspektiv. 1981.
14. Jens Borup Kallensøe: Energibesparelser i industrielle processer. DTH.

14. Energistyrelsen. Kvartalsrapporter.
15. B. Christensen, B. H. Jensen, Dennis Møller, B. Laursen, B. Lillethorup, J.M Pedersen, Imfufa, 1982.
16. Naturens Verden, 3, 1984. Drivhuseffekt og forsuring.
17. Hilger: Driftsforhold og tvangsbindinger ved kombineret kraft-varmeproduktion. Elsam, 1976.
18. Kort fortalt om kraftvarme. Elsam, 1979.
19. Skagerak-forbindelsen, Elsam 1976.
20. Forslag til regional delplan for fjernvarmeudbygningen i hovedstadsregionen, Hovedstadsrådet. 1984.
21. Alternative muligheder for fjernvarmeproduktion i Roskilde. Roskilde kommune, 1984.
22. Gasdrevet kraftvarmeværk i Ullerslev. Naturgas Fyn, 1982.
23. Danmarks Statistik. Registerfolketællingen 1976.
24. Dansk elforsyning 1982. DEF, 1983.
25. Seminar om Energiplanlægning for danske landområder. RUC, april 1982

TABEL I.1.1 OVERSIGT OVER ENERGETISKE FÆNOMENER.

APPENDIKS 1
 ENERGETISKE KVANTITER OG DERES
 KONVERGEREDE POTENTIALER.

Fænomen-gruppe	Grundproces	Potential (P)	Kvantitet (K)	Bevarelse	Energiform
Mekaniske fæn.	1. Statisk mekanisk specifelt:	Kraft (\underline{f})	Forskydning (\underline{x})	S	Mek. potentiel en.
	a. Spætisk (isotropiske flulder)	Neg. tryk ($-p$)	Flyttet volumen (V)	B	Elastisk energi
	b. Elastisk (faste faser)	Spændingstensor ($\underline{\tau}$)	Forskydningsstensor ($\underline{\epsilon}$)	B	
	c. Gravitation	Grav. potentiel (Φ)	Tung masse (M)	B	Tyngde energi
	d. Angulær	Kraftmoment (\underline{m})	Drejning ($\underline{\theta}$)	B	Angulær pot. energi
	2. Inertiel/kinetisk				
	a. Lineær	Hastighed (\underline{w})	Bevægelsesmængde (\underline{p})	B	Mek. kinetisk en
	b. Angulær	Vinkelhastighed ($\underline{\omega}$)	Angulær moment (bev. mgd. moment) (\underline{L})	B	Rotationsenergi
Elektriske og magnetiske fæn.	3. Statisk elektrisk	Elektrisk pot. (ψ)	Elektrisk ladning (q)	B	Elektr. pot. en.
	4. Kinetisk elektrisk	Elektrisk strøm (I)	Elektrisk impuls ($\underline{p}_{el} = p_0 + \int_0^t (-\Delta\psi) dt$)	B	Elektr. kin. en. (en. i magnetfelt)
	5. Dielektrisk	Elektrisk felt (\underline{E})	Dielekt. polarisation (\underline{P})	B	Dielektrisk energi
	6. Magnetisk	Magnetisk felt (\underline{H})	Magnetisering (\underline{M})	B	Magnetisk energi
Termiske fæn.	7. Entropisk	Abs. temperatur (T)	Entropi (S)	B(rev)/B(irr)	Termisk energi
Kemiske fæn.	8. Kemisk	Kemisk potentiel (μ_1)	Antal mol (n_1)	B(fys. transport) / B(kem. reaktioner)	Kemisk energi
Grænseflade fæn.	9. Dannelse af gr.fl.	Grænsefladespænding	Grænsefladeareal	B	Grænsefladeenergi

BILAG 1

Program til

model: Kraftvarmesystem med varmelager

```

@FTN, SC ENERGI. KVSIM1
FTN 10R1 08/09/84-03:07(0.)
100. REAL MAXL, MPRØD, KVALUE
110. INTEGER START1
120. LOGICAL TAB
130. DIMENSION EDOEGN(84, 26), QDOEGN(12, 26), GCL(26)
140. C
150. C
160. READ(20, *)((EDOEGN(I, J), I=1, 84), J=1, 26)
170. READ(20, *)((QDOEGN(I, J), I=1, 12), J=1, 26)
180. READ(5, *)ELMAX
190. READ(5, *)GAAR
200. READ(5, *)DELTA
210. READ(5, *)KVALUE
220. READ(5, *)ALFA
230. READ(5, *)TAB
240. C=4180000.
250. DTMAX=50.
260. TRETUR=45.
270. TAMB=8.
280. DELTA1=DELTA*7. 220E3
290. DTID=2. 0*3600.
300. OMEGA=7.
310. TABPAR=KVALUE/(DELTA1**(1./3.))
320. C
330. C
340. WRITE(6, 1020)ELMAX, GAAR, ALFA, TAB, DELTA, KVALUE, TABPAR
350. WRITE(6, 1010)
360. C
370. C
380. C
390. C
400. C
410. C
420. C
430. C
440. C
450. 90 READ(5, *, END=300)CLAGER
460. C
470. C
480. ELSUM=0.
490. ELTILF=0.
500. GLAGER=0.
510. GTILF=0.
520. GTL=0.
530. GFL=0.
540. GTAB=0.
550. GPSUM=0.
560. GLTABS=0.
570. MAXL=CLAGER*GAAR*4368.
580. START1=0
590. KGANGE=0
600. N=0
610. K=1
620. I=1
630. J1=1
640. J=1
650. C
660. C
670. 100 N=N+1
680. IF(EDOEGN(I, J). GT. ELMAX) THEN
690. ELSUM=ELSUM+ELMAX
700. ELTILF=EDOEGN(I, J)-ELMAX+ELTILF

```

1

1

ELMAX:	1.390	GAAR:	1.500	ALFA:	2.000	TAB: T	DELTA:	18000+007	KVALUE:	.400TABPAR:	17013-003
CLAGER	ELTIL	GTILN	KGANG	GTILF	GTAB	QPSUM	QTL	GFL	GLTABS	N	
.20000	74.156	.005	332	30.697	617.541	8587.646	2087.992	639.111	877.681	4368	
.92	56.51	135.28	238.04	344.98	343.61	847.87	1003.95	1180.32	1310.15	1310.15	
1310.15	1310.15	1310.15	1309.76	1287.07	1237.87	1114.84	1022.95	920.47	663.64	571.22	
.10000	74.156	.004	332	26.873	1438.133	8587.646	1267.401	642.936	565.298	4368	
1.28	63.34	148.23	236.36	387.63	970.61	633.04	653.04	653.04	653.04	653.04	
659.04	659.04	659.04	659.04	648.00	614.26	506.74	430.52	343.81	204.69	59.21	
.07500	74.156	.013	332	85.761	1660.246	8587.646	1045.290	384.048	458.938	4368	
1.39	63.34	131.91	261.43	393.83	491.27	491.27	491.27	491.27	491.27	491.27	
491.27	491.27	491.27	491.27	488.87	459.70	356.80	285.30	203.37	69.19	2.31	
.05000	74.156	.031	332	206.091	1893.750	8587.646	809.785	463.719	343.012	4368	
1.51	67.35	155.86	266.73	327.30	327.30	327.30	327.30	327.30	327.30	327.30	
327.30	327.30	327.30	327.30	327.30	303.91	205.88	139.82	63.46	1.66	3.06	
.02000	74.156	.055	332	358.422	2209.381	8587.646	496.151	311.387	180.611	4368	
1.68	70.62	130.99	130.99	130.99	130.99	130.99	130.99	130.99	130.99	130.99	
130.99	130.99	130.99	130.99	130.99	114.74	25.19	11.11	0.00	0.00	4.16	
.01500	74.156	.039	332	384.856	2267.674	8587.646	437.858	284.954	148.524	4368	
1.72	71.19	98.23	98.23	98.23	98.23	98.23	98.23	98.23	98.23	98.23	
98.23	98.23	98.23	98.23	98.23	83.60	0.00	98.23	98.23	98.23	98.23	
.01000	74.156	.063	332	411.384	2329.507	8587.646	376.025	258.426	112.969	4368	
1.76	63.49	65.49	65.49	65.49	65.49	65.49	65.49	65.49	65.49	65.49	
65.49	65.49	65.49	65.49	65.49	52.67	0.00	19.19	0.00	0.00	4.63	
.00750	74.156	.065	332	424.654	2362.550	8587.646	342.981	245.136	93.056	4368	
1.87	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	
49.11	49.11	49.11	49.11	49.11	37.33	0.00	21.21	0.00	0.00	4.77	
.00500	74.156	.067	332	437.825	2397.827	8587.646	307.702	231.985	70.795	4368	
2.03	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	
32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	22.13	0.00	24.24	0.00	0.00	4.92	
.00100	74.156	.070	332	458.459	2464.708	8587.646	240.822	211.350	24.259	4368	
2.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	
6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	5.61	0.00	29.29	0.00	0.00	5.21	
.00050	74.156	.073	332	479.304	2492.347	8587.646	213.182	194.506	15.440	4368	
2.39	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	
3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	
.00010	74.156	.087	332	570.465	2600.393	8587.646	105.129	99.344	5.162	4368	
.38	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	
.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	.65	
.00000	74.156	.102	332	668.074	2703.553	8587.646	1.967	1.734	.233	4368	
.00	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	
.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	

END PROGRAM EXECUTION

BILAG 2

Program til

model: Kobling mellem et vandkraftbaseret elsystem
og et kraftvarmebaseret elsystem.

```

@FTN, SC ENERGI, VANDKRAFT2
FTN 10R1 08/09/B4-03:11(0.)
100. DIMENSION EDATA(84,26), QDATA(12,26), ETILF(24), WNORGE(24),
110. *WEXPSD(24), ERES(24), QTILFS(24), WEXPM(24), WIMPM(24), WEXMAX(24),
120. *WIMMAX(24), WEXPN(24), WTIMAX(24), WTILFS(24), WPKVS(24),
130. *GEXPM(12), GIMPM(12), GIMMAX(12), GEXMAX(12), PTILFS(12),
140. *GTILFS(12), GPKVS(12), DELV(2), DEXPTO(2)
150. LOGICAL HDK
160. REAL MAXOVF, MAXOVG
170.
180. C
190. C
200. C
210. C
220. C
230. C
240. C
250. C
260. C
270. C
280. C
290. C
300. C
310. C
320. C
330. C
340. C
350. C
360. C
370. C
380. 87
390. C
400. C
410. 89
420. C
430. C
440. 90
450. C
460. C
470. C
480. C
490. C
500. C
510. C
520. C
530. C
540. C
550. C
560. C
570. C
580. C
590. C
600. C
610. C
620. C
630. C
640. C
650. C
660. C
670. C
680. C
690. C
700. C

      DIMENSION EDATA(84,26), QDATA(12,26), ETILF(24), WNORGE(24),
      *WEXPSD(24), ERES(24), QTILFS(24), WEXPM(24), WIMPM(24), WEXMAX(24),
      *WIMMAX(24), WEXPN(24), WTIMAX(24), WTILFS(24), WPKVS(24),
      *GEXPM(12), GIMPM(12), GIMMAX(12), GEXMAX(12), PTILFS(12),
      *GTILFS(12), GPKVS(12), DELV(2), DEXPTO(2)
      LOGICAL HDK
      REAL MAXOVF, MAXOVG

      Indlæsning af: Danmarks el-forbrug, Danmarks varme-forbrug,
      energitilførelsen til vandreservoirene i Norge, Norges el-
      forbrug og den nuværende el-eksport fra Norge til Danmark
      og Sverige.

      READ(20,*)((EDATA(I,J), I=1,84), J=1,26)
      READ(20,*)((QDATA(K,J), K=1,12), J=1,26)
      READ(5,*)((ETILF(M), M=1,24)
      READ(5,*)((WNORGE(M), M=1,24)
      READ(5,*)((WEXPSD(M), M=1,24)

      Indlæsning af: Forholdet mellem el- og varmeproduktion,
      afgivelse om Kv-systemet er hele Danmark eller kun Elsam
      omr)det, maksimale varmeeffekt p} kv-v{rk.

      READ(5,*) ALFA
      READ(5,*) HDK
      87 READ(5,*,ERR=300) GAAR
      WRITE(6,*)
      89 READ(5,*,ERR=87) MAXOVF
      WRITE(6,*)
      90 READ(5,*,ERR=89) GKVMAX

      WELV=0.0
      CALL MODEL
      IF(WEXPTO.LT.0.)THEN
        DELV(1)=0.0
        DEXPTO(1)=WEXPTO
        WELV=1.747
        CALL MODEL
        IF(WEXPTO.LT.0.)STOP 'IMPORT, NAAR WELV=1.747'
        DELV(2)=1.747
        DEXPTO(2)=WEXPTO
      ELSE
        PRINT*, 'TOTAL EKSPORT FRA DK TIL NORGE'
        GO TO 501
      ENDIF

      130 CONTINUE
      PRINT*, DELV, DEXPTO, WEXPT, WIMPT
      IF (ABS(WEXPTO).GT.(WEXPT+WIMPT)/20.)THEN
        WELV=(DELV(1)+DELV(2))/2.
        CALL MODEL
        IF(WEXPTO*DEXPTO(2).GT.0.)THEN
          DELV(2)=WELV
          DEXPTO(2)=WEXPTO
        ELSE
          DELV(1)=WELV
    
```



```

1970. C
1980. C
1990. C
2000. C
2010. C
2020. C
2030. C
2040. C
2050. C
2060. C
2070. C
2080. C
2090. C
2100. C
2110. C
2120. C
2130. C
2140. C
2150. C
2160. C
2170. C
2180. C
2190. C
2200. C
2210. C
2220. C
2230. C
2240. C
2250. C
2260. C
2270. C
2280. C
2290. C
2300. C
2310. C
2320. C
2330. C
2340. C
2350. C
2360. C
2370. C
2380. C
2390. C
2400. C
2410. C
2420. C
2430. C
2440. C
2450. C
2460. C
2470. C
2480. C
2490. C
2500. C
2510. C
2520. C
2530. C
2540. C
2550. C
2560. C
2570. C
2580. C
2590. C

Kan v{lige KV-systemet til hele Danmark eller
kun Elsam-omr}det. Hvis hele Danmark: HDK er TRUE

IF(HDK)THEN
  SCALE = 5.403
ELSE
  SCALE = 2.953
ENDIF

100 N=N+1

Udregning af import til og export fra KV-systemet, der
registreres den }rlige samlede import og eksport samt
de maksimale import- og eksporteffekter. Der er mulig-
hed for at begrænse den maksimale import- og eksport-
effekter. Der bestemmes tillige den tilfirsede mængde varme
fra separat varmekilde.

GBEHOV=GAAR*GDATA(K, J)
IF(GBEHOV.GT.GPMAX)THEN
  QPKV=GPMAX
ELSE
  QPKV=GBEHOV
ENDIF

WPKV=QPKV/ALFA

IF(WPKV.GT.EDATA(I, J))THEN
  WEXP=WPKV-EDATA(I, J)
  IF(WEXP.GT.MAXOVF)THEN
    WPKV=MAXOVF+EDATA(I, J)
    WEXP=MAXOVF
    QPKV=ALFA*WPKV
  ENDIF
  WEXPM(M)=WEXPM(M)+WEXP
  WEXMAX(M)=AMAX1(WEXMAX(M), WEXP)
ELSE
  WMANGL=EDATA(I, J)-WPKV
  IF(WMANGL.LT.WELV)THEN
    WTILF=WMANGL
    WIMP=0.
  ELSE
    WIMP=EDATA(I, J)-WPKV-WELV
    IF(WIMP.GT.MAXOVF) THEN
      WTILF=(WIMP-MAXOVF)+WELV
      WIMP=MAXOVF
    ELSE
      WTILF=WELV
    ENDIF
  ENDIF
  WTIMAX(M)=AMAX1(WTIMAX(M), WTILF)
  WTILFS(M)=WTILFS(M)+WTILF
  WIMPM(M)=WIMPM(M)+WIMP
  WIMMAX(M)=AMAX1(WIMMAX(M), WIMP)
ENDIF

C
GTLF=GBEHOV-QPKV

GTLIFS(M)=GTLIFS(M)+GTLF
WPKVS(M)=WPKVS(M)+WPKV
WPMAX=AMAX1(WPKV, WPMAX)

Udregning af vandreservoirene (=energireservoirene)
n}r der sker import til og eksport fra Kv-systemet.

IF(MM.EQ.182)THEN
  WEXP(M)=WEXPM(M)*0.9-WIMPM(M)/0.9
  ERES(M)=ERESST+ETILF(M)-364.*(WNORGE(M)+WEXPSD(M))+
  * SCALE*WEXP(M)
  ERESST=ERES(M)
  IF(M.EQ.24)THEN
    M=1
  ELSE
    M=M+1
  ENDIF
  MM=1
ELSE
  MM=MM+1
ENDIF

Bestemmelse af n{ste skridtvariable.

IF(I.GE.84)THEN
  IF((J.GE.26).AND.(J1.EQ.2))THEN
    GO TO 200
  ELSE
    IF(J1.EQ.2)THEN
      J=J+1
      J1=1
    ELSE
      J1=2
    ENDIF
    I=1
    K=1
    GO TO 100
  ENDIF
ELSE
  I=I+1
  IF(K.GE.12)THEN
    K=1
  ELSE
    K=K+1
  ENDIF
  GO TO 100
ENDIF

200 CONTINUE
DO 201 M=1, 24
  QTILFT=QTILFT+GTLIFS(M)
  WTILFT=WTILFT+WTILFS(M)
  WPKVT=WPKVT+WPKVS(M)
  WEXPT=WEXPT+WEXPM(M)
  WIMPT=WIMPT+WIMPM(M)
  WTMAX=AMAX1(WTMAX, WTIMAX(M))

```

```

1 3230. MEMAX=AMAX1(MEMMAX(M),MEMAX)
1 3240. WIMAX=AMAX1(WIMPMAX(M),WIMMAX)
1 3250.
1 3260. C 201 CONTINUE
1 3270. QTIINT=QTIINT/QAAR/4368.
1 3280. WTABT=WEXPT*0.1+WIMPT*0.1
1 3290. WEXPT=WEXPT-WIMPT
1 3300. RETURN
1 3310. C
1 3320. C
1 3330. END

```

END FTN 647 IBANK 3498 DBANK

ENTERING USER PROGRAM

.00000000	1.7470000	-345.42145	176.45265	176.45265	.00000000
.00000000	.87350000	-345.42145	143.43901	176.45265	32.993642
.43675000	.87350000	-44.401436	143.43901	176.45265	220.89409
.43675000	.65512499	-44.401436	67.388597	176.45265	109.06406
.43675000	.54593749	-44.401436	19.086409	176.45265	157.36624
.49134374	.54593749	-11.552856	19.086409	176.45265	188.00551

Qlvaar: 2.2050000 Maxovf: .18500000 Alfa: 2.0000000 T 4368
Gaar: 1.5000000

Qti1ft: 308.01406 Qtiint: 47010692-001 Wexpto: -11.552856 Wexpt: 176.45265 Wimpt: 188.00551 Wti1ft: 1234.4775
Wtabt: 24.445814 Wplvt: 3121.9932 Wmax: 1.0235762 Wmax: 1.5873889
Wmax: 18500000

Energienheder: QWh

Qti1ft: 1664.1999 Wexpt: 953.37367 Wimpt: 1015.7938 Wexpto: -62.420083 Wtabt: 196.91674 Wti1ft: 6669.8820
Wmax: .49977750 Wmax: .49977750 Wmax: 2.7651910 Wmax: .49977750

20907.550	17083.240	21166.384	28150.184	37449.762	42036.397	46642.607	48322.607
17657.412	52201.271	52674.120	31974.808	30163.019	48950.620	48973.915	46673.664
51730.968	41548.749	38138.895	34136.289	31690.967	27703.969	23683.569	20824.612
42632.830							
98.184756	1.2663909	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000	17.438532	104.12585
152.86651	201.31038	233.68819	144.49309				
15.152777	75.740979	173.22025	155.72750	213.35120	215.33770	116.17598	40.202483
10.884941	.00000000	.00000000	.00000000				
.49977750	.16631232	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000	.49977750	.49977750
.49977750	.49977750	.49977750	.49977750	.49977750	.49977750	.49977750	.49977750
.39929033	.00000000	.00000000	.00000000				
83.057295	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000	.00000000	3.2711911	50.188124
263.46807	471.83294	578.79223	213.59018				
304.25214	632.25333	930.56773	884.72119	1095.4718	1113.4424	627.84101	460.13274
298.02633	9.0403432	11.177529	5.2400095				
1641.9886	1067.8565	681.46909	585.00052	642.81347	742.92537	1205.9007	1726.2363
8047.8070	2207.9987	2333.4095	1963.7245				

.00000000	1.7470000	-348.29761	174.58259	174.58259	.00000000
.00000000	.87350000	-348.29761	141.58895	174.58259	32.993642
.43675000	.87350000	-46.271802	141.58895	174.58259	220.89409
.43675000	.65512499	-46.271802	63.318532	174.58259	109.06406
.43675000	.54593749	-46.271802	17.216343	174.58259	157.36624
.49134374	.54593749	-13.422922	17.216343	174.58259	188.00551

Qlvaar: 1.9850000 Maxovf: .18500000 Alfa: 2.0000000 T 4368
Gaar: 1.5000000

Qti1ft: 313.76635 Qtiint: 47888437-001 Wexpto: -13.422922 Wexpt: 174.58259 Wimpt: 188.00551 Wti1ft: 1235.4836
Wtabt: 36.258809 Wplvt: 3119.1170 Wmax: 1.0235762 Wmax: 1.4887500
Wmax: 18500000

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
Projektrapport af Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen.
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinøe og Peter H. Lassen.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik. Nr. 3 er a jour ført i marts 1984
Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer, Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen. Nr. 4 er p.t. udgået.
Mogens Niss.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE". Nr. 5 er p.t. udgået.
Helge Kragh.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN". Nr. 7 er udgået.
B.V. Gnedenko.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - 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 Kreinøe.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen

- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography". Nr. 14 er p.t. udgået.
Else Høyrup.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
Specialeopgave af Leif S. Striegler.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint.
Bernhelm Booss & Mogens Niss (eds.).
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET - FORMAL OG KONSEKVENSER".
Projektrapport af Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
1-port lineært response og støj i fysikken.
Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.G'ERE". Nr. 24 a+b er p.t. udgået.
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 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 differentiaalligningsmodeller".
 Projekt rapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
 Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
 Oluf Danielsen. Nr. 30 er udgået.
 Udkommer medio 1982 på Fysik-, Matematik- og Kemilærer-
 nes forlag.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSY-
 STEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE". Nr. 31 er p.t. udgået
 Projekt rapport af Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
 Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST
 VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMALINGER OG MOSSBAUER-
 EFFEKTMALINGER".
 Projekt rapport, speciale i fysik, af Crilles Bacher og
 Preben Jensen.
 Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Chri-
 stiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK-NATURVIDENSKA-
 BELIGE UDDANNELSER. I-II".
 Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".
 ENERGY SERIES NO.1. Nr. 34 er udgået.
 Bent Sørensen. Publ. i "Renewable Sources of Energy and the Environment",
 Tycooli International Press, Dublin, 1981.
- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
 Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN ?".
 Fire artikler.
 Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
 ENERGY SERIES NO.2.
 Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIE TEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI
 OG SAMFUND". Nr. 38 er p.t. udgået
 Projekt rapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau
 og Finn Physant.
 Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og
 Ib Thiersen.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VEKSTØKONOMIEN".
 Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknolo-
 givurdering". Nr. 40 er p.t. udgået
 Projekt rapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og
 Jan Vedde.
 Vejleder: Per Nørgaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE
 INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY
 SUPPLY SYSTEMS".
 ENERGY SERIES NO.3.
 Bent Sørensen.

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

- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde
Universitetsbibliotek.
En bibliografi.
Else Høyrup.
- Vedr. tekst nr. 55/82:
Se også tekst 62/83.
- 56/82 "ÉN - 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 Annetté 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 Billmann og Lars Boye
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK"
- til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid, Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i l.g med kommentarer
Albert Chr. Paulsen
- 70/83 "INDLÆRINGS- OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSEUNDERVISNINGSNIVEAU"
Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend 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 Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich & Mette Vedelsby
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S. Peirce.
Peder Voetmann Christiansen
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt
ENERGY SERIES No. 9
Specialeopgave i fysik af Bent Hove Jensen
Vejleder: Bent Sørensen
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik
Projektrapport af Bodil Harder og Linda 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 Frisdahl, Frank Mølgård Olsen
Vejledere: Mogens Brun Heefelt & Jens Bjørneboe
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af Niels Boye Olsen og Bent Sørensen
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller
Projektrapport af Svend Age Houmann, Keld Nielsen, Susanne Stender
Vejledere: Jørgen Larsen & Jens Bjørneboe

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