Solvarme - fjernvarmeanlæg

BEREGNING AF ET CENTRALT ANLÆG MED OG UDEN VARMELAGER

AF

LEIF SØNDERSKOV JØRGENSEN
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

MEDDELELSE NR. 94

DECEMBER 1979

0. Forord

Energiministeriets (tidligere Handelsministeriets) udviklings- og demonstrationsprogram for solvarme skal medvirke til udviklingen af solvarmeanlæg i Danmark.

Projektet ledes af Teknologisk Institut, Varmeteknik og udføres i samarbejde med Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole.

Første og anden fase af projektet, der udføres i perioden 1977-81, omfatter følgende delprojekter:

1. Otte demonstrationsanlæg opført på forskellige bygningskategorier med 2-års målinger af anlæggenes ydeevne.
2. Analyse af en kommune.
3. Kombineret solvarme-fjernvarme.
4. Arkitektkonkurrence.
5. Systemprøvestand.
6. Solvarmeanlæg med luftsolfangere.
7. Demonstrationsanlæg med tagrumssolfanger.
8. Driftserfaringer med solvarmeanlæg.
9. Accelereret afprøvning af solfangere.
10. Konsultation og information om solvarmeanlæg.

Energiministeriets solvarmeprogram har til formål at medvirke til:

at anlæggene udformes, således at der opnås størst muligt termisk udbytte, stor driftsikkerhed og lang levetid.

at styrke den produktudvikling, der er nødvendig for at gøre solvarmeanlæg konkurrencedygtige med andre opvarmningsformer

at vurdere i hvilket omfang solvarme med fordel kan anvendes i Danmark.

Indholdsfortegnelse side

0. Forord 2
Indholdsfortegnelse 3
Figurfortegnelse 3
Resumé 5

1.0 Indledning 6

2.0 Et fjernvarmeværks drift 6
2.1 Energiproduktionen 6
2.2 Styring og temperaturforhold 9

3.0 Beregningsforudsætninger 9

4.0 Anlægstyper 11
4.1 Anlæg uden varmelager 11
4.2 Anlæg med varmelager 11

5.0 Beregningsresultater 13
5.1 Med/uden varmelager 13
5.2 Temperaturniveau 16
5.3 Konstant strømningshastighed 16
5.4 Øvrige beregninger 20

6.0 Konklusion 22

7.0 Referenceliste 23

8.0 Projektorganisation 24

Figur- og tabelfortegnelse

Figur

1. Varmeforbrugets fordeling over året og eksempel på fremløbstemperatur 7

2. Varmeforbrugets variation over døgnet 8

3. Solfangerens effektivitetskurve 10

4. Principdiagram for solvarmeanlæg uden varmelager.12

5. Principdiagram for solvarmeanlæg med varmelager..12

6. Ydelse pr.år pr. m^2 solfanger 14

side

7. Temperaturniveau uden varmelager.....17

8. Temperaturniveau med varmelager 18

9. Konstant strømningshastighed hele året.....19

10. Et eller to dæklag af glas.....21

Tabel

1. Antal dage, hvor solvarmeanlægget dækker mindst 95% af forbruget 15

2. Varierende solfangerhældning 20

3. - " - solfangerorientering 20

4. - " - lagerstørrelse 20

5. Konstant temperaturniveau.....20

6. Ydelse ved lave værdier af forholdet mellem forbrug og solfangerareal.....22

Resumé

Med varierende forbrug og solfangerareal beregnes ydelsen af et solvarmeanlæg placeret centralt i forbindelse med et fjernvarmeanlæg. Solvarmeanlægget beregnes dels med, dels uden varmelager. Ydelsen beregnes desuden for variationer i forskellige parametre vedrørende solfanger og temperaturforhold.

Rapporten er udført under delprojektet "kombineret solvarme-fjernvarme".

1.0. Indledning

I stedet for at installere solvarmeanlæg på enkelte huse kan anlæggene samles i et stort anlæg, som så forsyner en hel bebyggelse med varme. Derved opnås fordelen ved et stort i perioder næsten konstant forbrug samt for solvarmeanlæg med varmelager et mindre tab pr. akkumuleret varmeenhed.

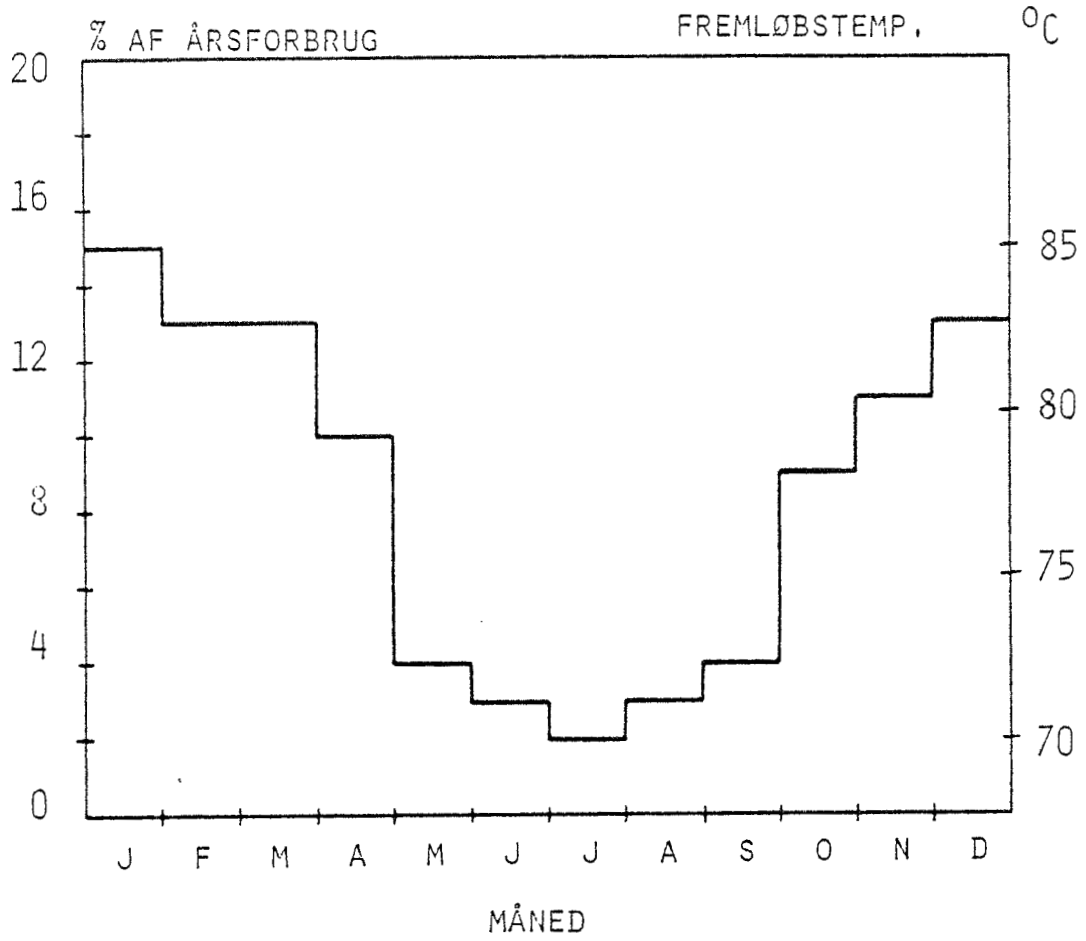
Et anlæg af denne type kræver et distributionsnet, der på mange punkter minder om et fjernvarmeværks ledningsnet. Der er derfor i nærværende rapport set på mulighederne for at kombinere solvarmeanlægget med fjernvarmeværket.

2.0 Et fjernvarmeværks drift

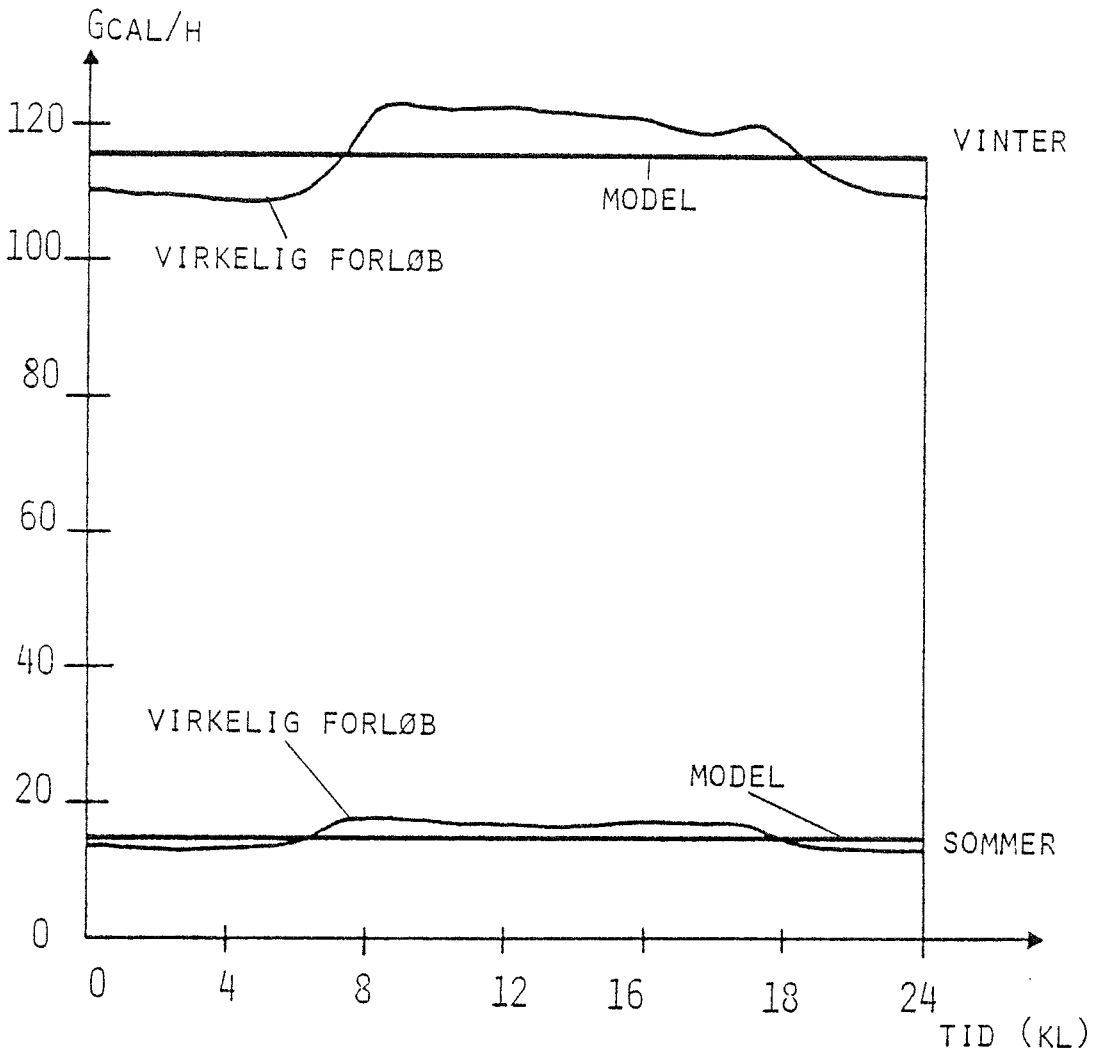
2.1 Energiproduktionen

Den af fjernvarmeværket producerede energimængde bruges til rumopvarmning og opvarmning af brugsvand samt til at dække varmetabet fra ledningsnettet. Forbruget til opvarmning af brugsvand er omtrent konstant over året, hvorimod rumopvarmningsbehovet er afhængigt af udetemperaturen. I fig. 1, som er fra reference [1],vises varmeforbrugets fordeling over årets måneder for et gennemsnitligt fjernvarmeværk. Procenttallene, der direkte benyttes i beregningerne, angiver de enkelte måneders andel af det samlede årsforbrug. Af figuren fremgår, at forbruget varierer kraftigt over året - vinterforbruget er således ca. 7 gange større ens sommerforbruget.

Figur 2 [2] viser et eksempel på varmeforbrugets variation over døgnet. Det bemærkes, at forbruget kun varierer forholdsvis lidt over døgnet. I beregningerne regnes derfor med konstant forbrug hele døgnet.



FIGUR 1. VARMEFORBRUGETS FORDELING OVER ÅRET FOR ET GENNEMSNITLIGT FJERNVARMEVÆRK I ET NORMALÅR. REFERENCE [1], SAMT EKSEMPEL PÅ FREMLØBSTEMPERATUR BENYTTET I DE FLESTE BEREGNINGER MED KONSTANT AFKØLING = 30°C.



FIGUR 2. EKSEMPEL PÅ VARMEFORBRUGETS FORDELING OVER DØGNET. REFERENCE [2].

2.2 Styring og temperaturforhold

De fleste fjernvarmeværker benytter en styring, hvor fremløbstemperaturen holdes konstant, mens den cirkulerende vandmængde reguleres i forhold til forbruget. Denne styring kan være suppleret med en lavere fremløbstemperatur om sommeren end om vinteren. Som fremløbstemperatur om vinteren benyttes ofte ca. 85°C, mens værdien om sommeren kan falde til 70°C. Tænkes ændringen i fremløbstemperaturen at ske i takt med det faldende forbrug, fås samme kurve som på fig. 1 med 85°C i januar og 70°C i juli.

3.0 Beregningsforudsætninger

Solvarmeanlægget simuleres hver time med et edb-program, hvori Referenceårets vejrdata [4] benyttes. Solindfaldet beregnes som anført i [5], hvorefter udbyttet fra solfangeren beregnes af formlerne i [6]. Inden for hver time regnes med stationære forhold, dog således, at den maximale varmemængde solfangeren kan afsætte i returledningen i anlæg uden varmelager (se fig. 4) hæver temperaturen til 99°C.

Solfangeren består af en sortmalet kølekanalplade med to dæklag af glas og 20 cm mineraluld som bagsideisolering. Det varmebærende medium er en vand/glucol-blanding, gennemstrømningshastigheden sættes i alle beregninger til 1,0 l pr. minut pr. m^2 solfanger. Varmeoverføringskoefficienten for solfangerkredsens varmeveksler er sat til 50 W/°C pr. m^2 solfanger, hvilket svarer til en effektivitet på 0,54. På fig.3 er vist solfangerens effektivitetskurve sammenlignet med kurven for en solfanger med ét dæklag af glas.

Ved beregning af varmeoverførsel fra solfangeren, ses der bort fra varmetab i rørføringer samt fra varmekapacitet i solfangeren. Desuden ses der bort fra, at det store solfangerareal i praksis må opdeles i rækker, der skygger for hinanden.

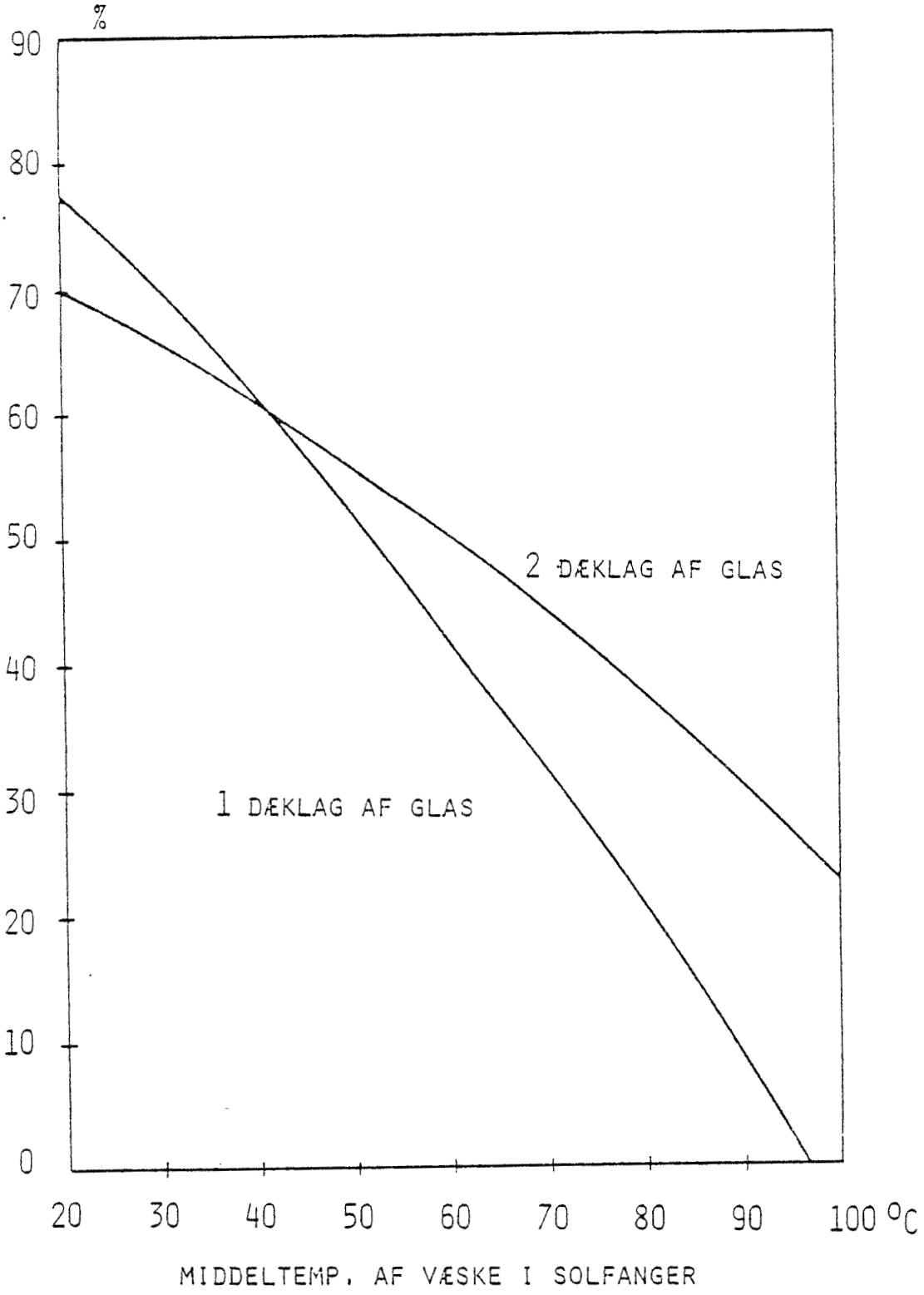


FIG.3. SOLFANGERNES EFFEKTIVITETSKURVER GÆLDENDE FOR LUFTTEMPERATUREN 20°C OG SOLINTENSITETEN 800 W/M^2. REFERENCE [3].

I de fleste beregninger er solfangerhældningen sat til 45° og orienteringen stik syd. Jordrefleksionskoefficienten er sat til 0,2.

Det samlede varmeforbrug er summen af forbruget til rumopvarmning og brugsvand og varmetabet fra fjernvarmenettet. Årsforbruget fordeles månedsvis som angivet i fig.1 og inden for hver måned regnes med konstant forbrug. I edb-programmet indlæses fremløbs-/returtemperaturer gældende for janaur og juli, hvorefter de mellemliggende værdier beregnes som vist på figur 1.. I de fleste beregninger sættes frem/retur til 85/55°C og 70/40°C for henholdsvis januar og juli, dvs konstant afkøling på 30°C hele året.

4.0 Anlægstyper

4.1 Anlæg uden varmelager

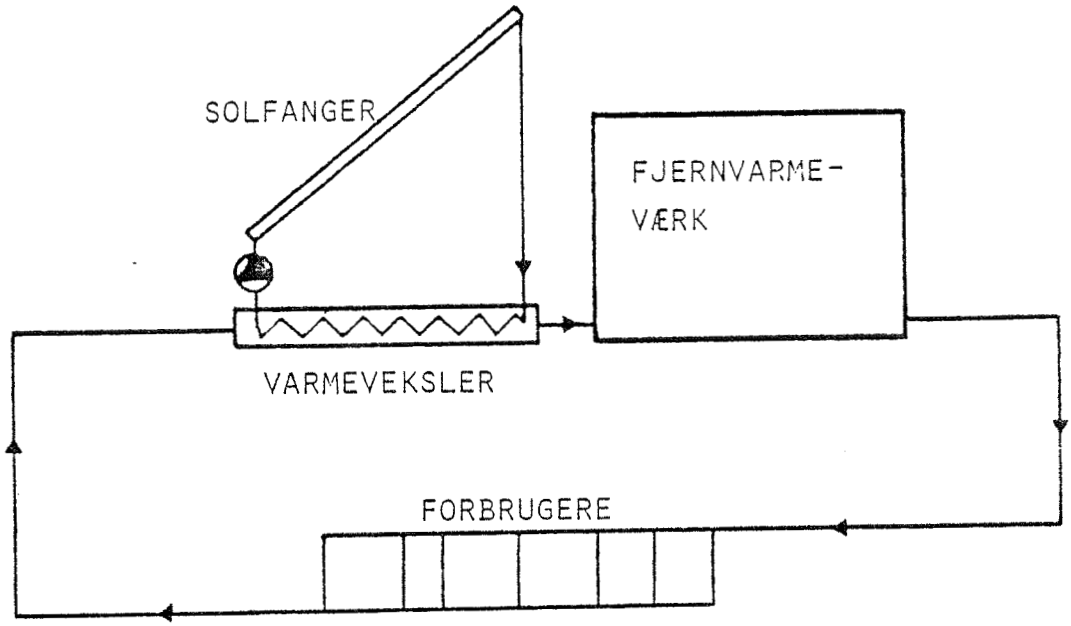
På figur 4 er vist et principdiagram for solvarmeanlægget uden varmelager.

Solfangeren er anbragt ved returledningen umiddelbart før fjernvarmeværket og er i drift , hvis absorbertemperaturen er højere end returtemperaturen. Varmeveksleren i solfangerkredsløbet er placeret i returledningen, hvor udbyttet fra solfangeren tilføres den cirkulerende vandmængde. Med de i afsnit 3.0 nævnte temperaturforhold, hvor afkølingen er 30°C og maximum og minimum fremløbstemperatur er henholdsvis 99°C og 70°C., er der således kun mulighed for at akkumulere varme svarende til lidt under een times forbrug.

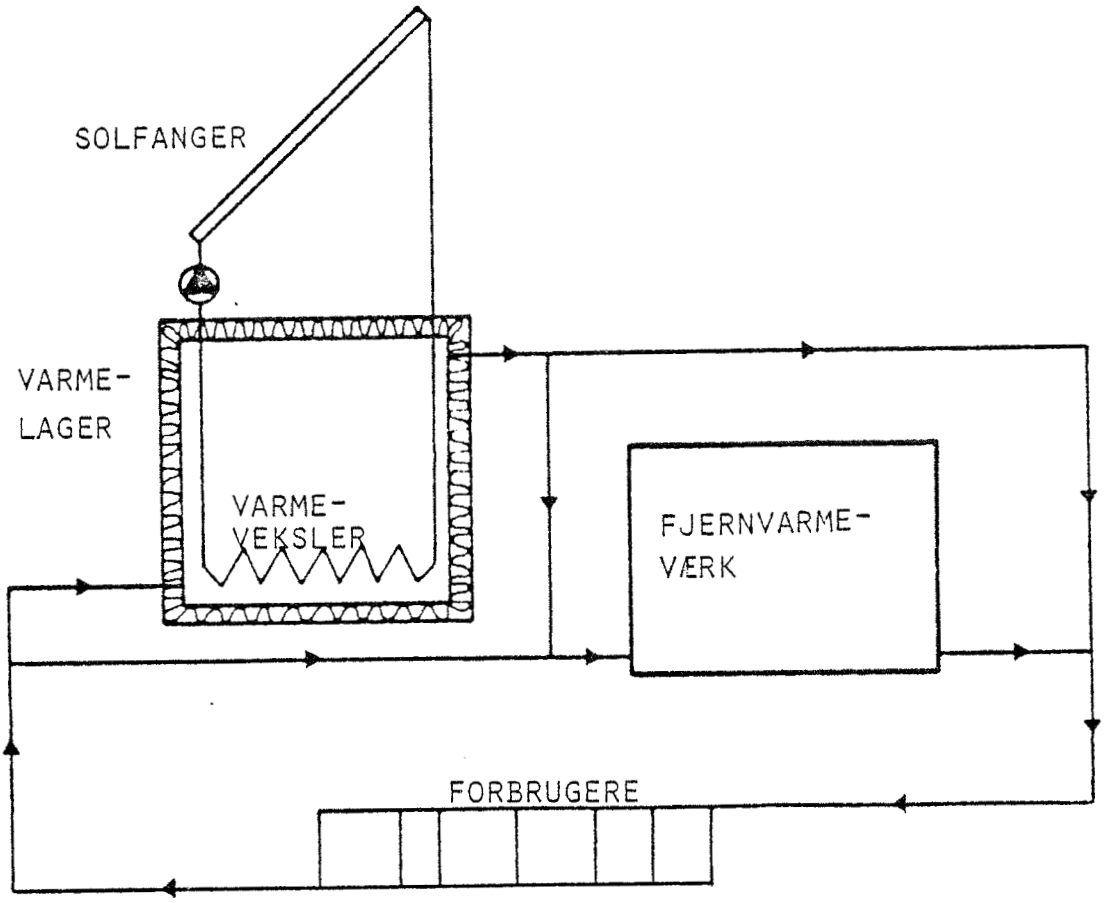
4.2 Anlæg med varmelager

Anlæg med varmelager er vist på fig. 5.

I dette tilfælde startes solfangerkredsløbet, hvis absorbertemperaturen er højere end lagertemperaturen. Udbyttet fra solfangeren afleveres via en varmeveksler til bunden af lageret.



FIGUR 4. PRINCIPDIAGRAM FOR ANLÆG UDEN VARMELAGER



FIGUR 5. PRINCIPDIAGRAM FOR ANLÆG MED VARMELAGER.

Returen fra fjernvarmenettet ledes kun igennem lagertanken, hvis dennes temperatur er højere end returtemperaturen. Er lagertemperaturen lavere end den ønskede fremløbstemperatur eftervarmes i fjernvarmeværket.

Lagertanken er kubisk med en isolering på 10 cm mineraluld, Den omgivende temperatur sættes til middelværdien af lufttemperaturen og 10°C, hvilket antages at svare til en halvt nedgravet tank. Volumenet sættes til 75 l pr. m^2 solfanger.

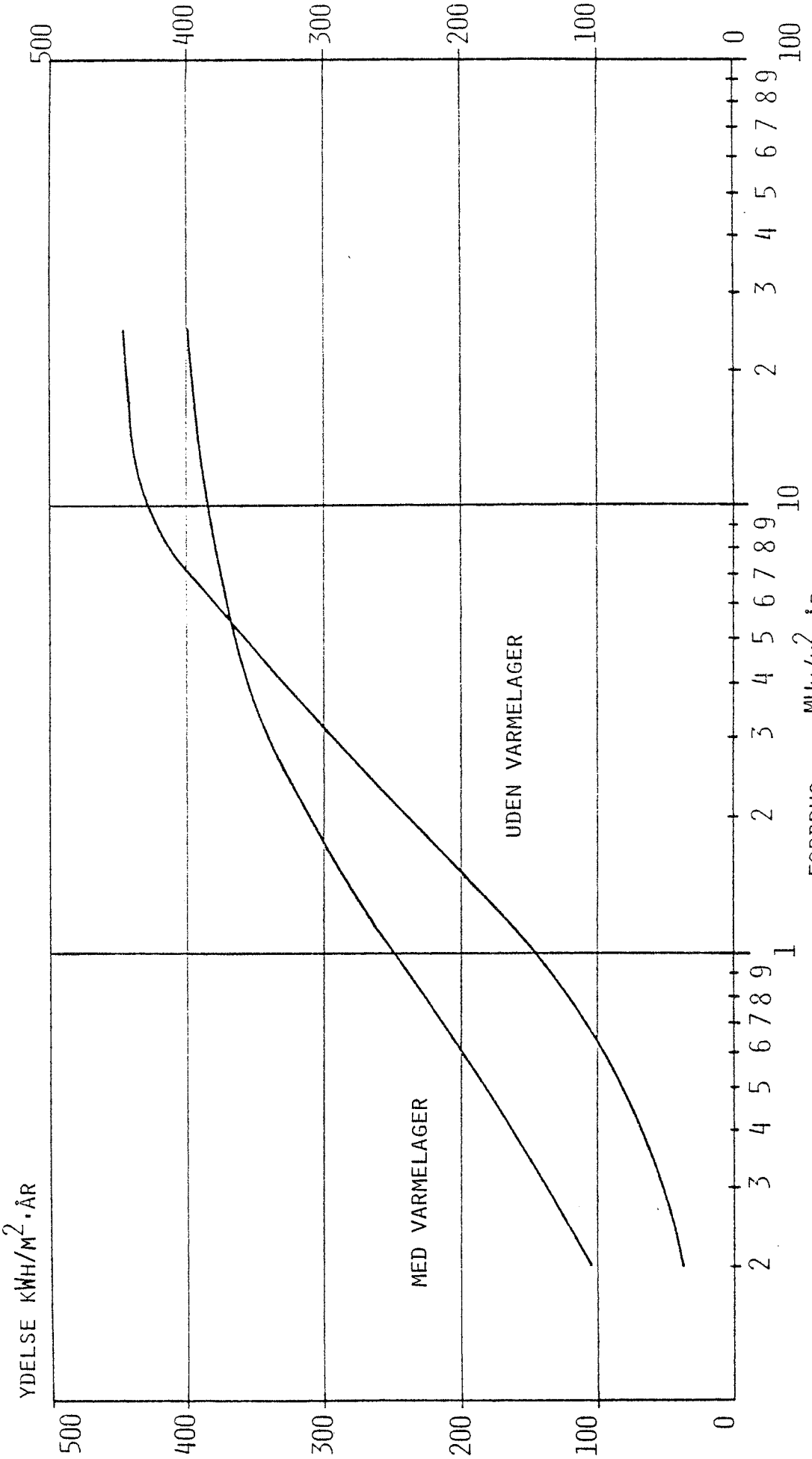
5.0 Beregningsresultater

5.1 Med/uden varmelager

Med varierende solfangerareal (1000-20000 m^2) og varierende forbrug (1000-25000 MWh/år) beregnes solvarmeanlæggets ydelse pr. m^2 solfanger. Resultatet af denne beregning er vist på fig.6 . Ydelsen i kWh/m^2·år er angivet som funktion af forbruget i MWh/m^2·år. Kurverne kan således aflæses for ændringer i såvel solfangerareal som forbrug.

Figuren viser, at for værdier op til 5 MWh/år·m^2 er det en fordel med hensyn til udbyttet at benytte anlæg med varmelager. I dette område kan solfangeren levere en større varmemængde, end fjernvarmenettet kan aftage. For værdier over 5 MWh/år·m^2 kan nettet derimod aftage så stor en varmemængde fra solfangeren, at det kun er en belastning for anlægget at forsyne det med et varmelager.

Til sammenligning med abscissens værdier kan nævnes, at for et parcelhus med et årligt varmebehov på 18000 kWh svarer værdierne 0,5; 5,0 og 20 MWh/m^2·år til solfangerarealer på henholdsvis 36 m^2; 3,6 m^2 og 0,9 m^2.



FIGUR 6. YDELSE PR.M^2 SOLFANGER PR.ÅR SOM FUNKTION AF FORBRUGET I MWH PR.M^2 SOLFANGER PR.ÅR.

Ønskes en høj dækningsgrad må anlægget være med lager og forholdet mellem forbrug og solfangerareal må vælges meget lavt. For et forbrug på 0,2 MWh/m^2·år opnås således en dækningsgrad på 52%, mens der ved anlæg uden varmelager dækkes 17% af forbruget. For høje værdier af forbrug pr. m^2 solfanger falder dækningsgraden for anlæg med og uden varmelager til henholdsvis 1,6% og 1,8%. I tabel 1 er angivet, hvor mange dage dækningsgraden for anlæg med lager er 95% eller derover. Af tabellen fremgår det, at hvis fjernvarmeværket skal sættes ud af drift i en periode af rimelig varighed må forbruget ikke overstige 1,0 MWh/år·m^2.

MWh/m^2·år / måned	0,2	0,4	0,7	1,0	2,0	2,5
3	8	1				
4	18	9				
5	31	29	17	7		
6	30	30	30	18	4	
7	31	31	31	28	18	11
8	31	31	26	13	1	
9	30	22	5			
10	6					
Sum	185	153	109	66	23	11

Tabel 1. Antal dage hvor solvarmeanlægget leverer mindst 95% af varmebehovet. Tabellen gælder for anlæg med varmelager - for anlæg uden varmelager kan kun lagres til knap een times forbrug.

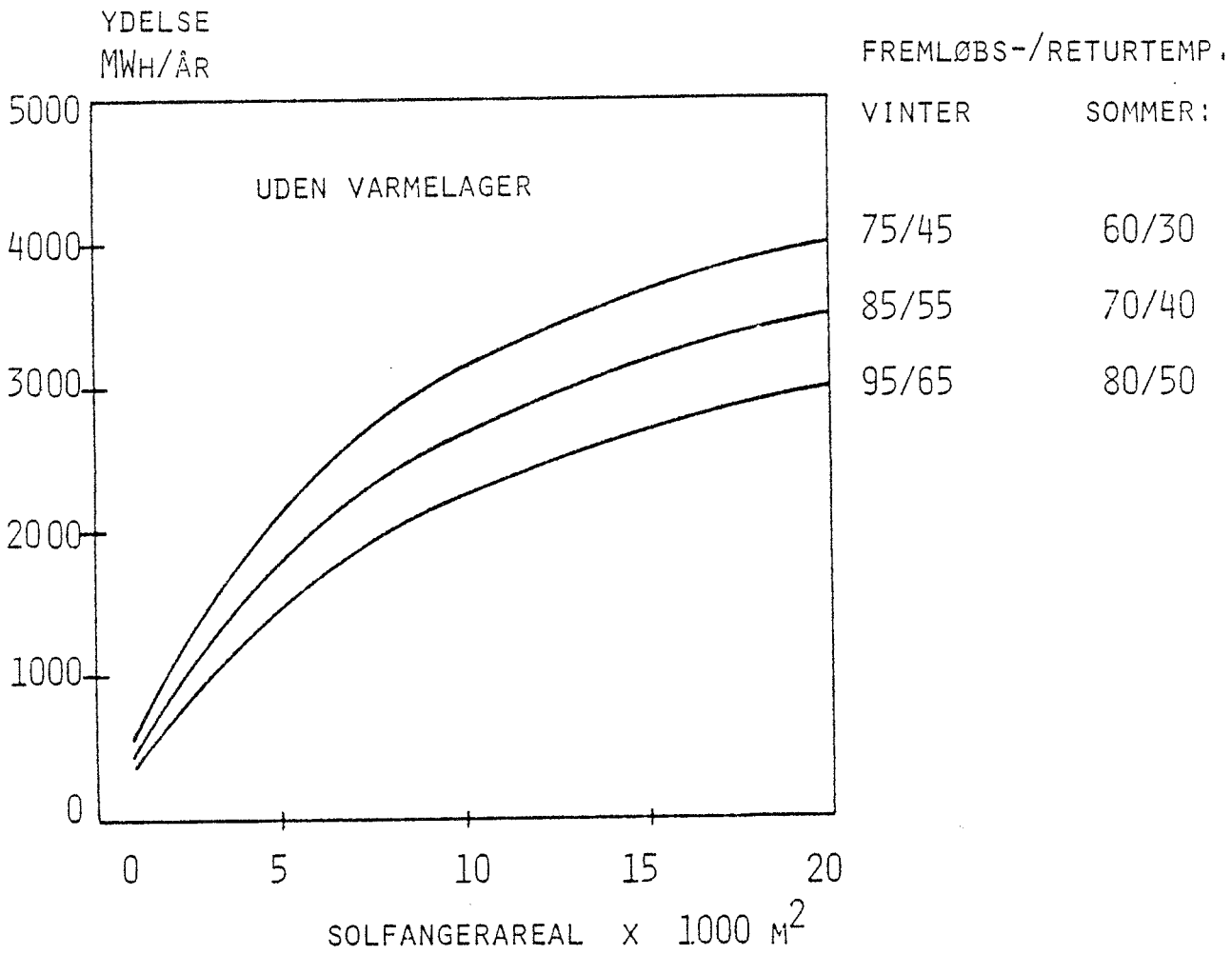
5.2 Temperaturniveau

Kurverne på fig. 6 er beregnet med 85/55 °C som frem/retur i januar og 70/40 °C i juli. For anlæg uden og med varmelager er på henholdsvis fig. 7 og 8 vist ydelsen som funktion af solfangerarealet for temperaturniveauer 10 °C over og 10°C under. Det viser sig, at et 10°C lavere temperaturniveau betyder ca. 20% større udbytte af solvarmeanlægget.

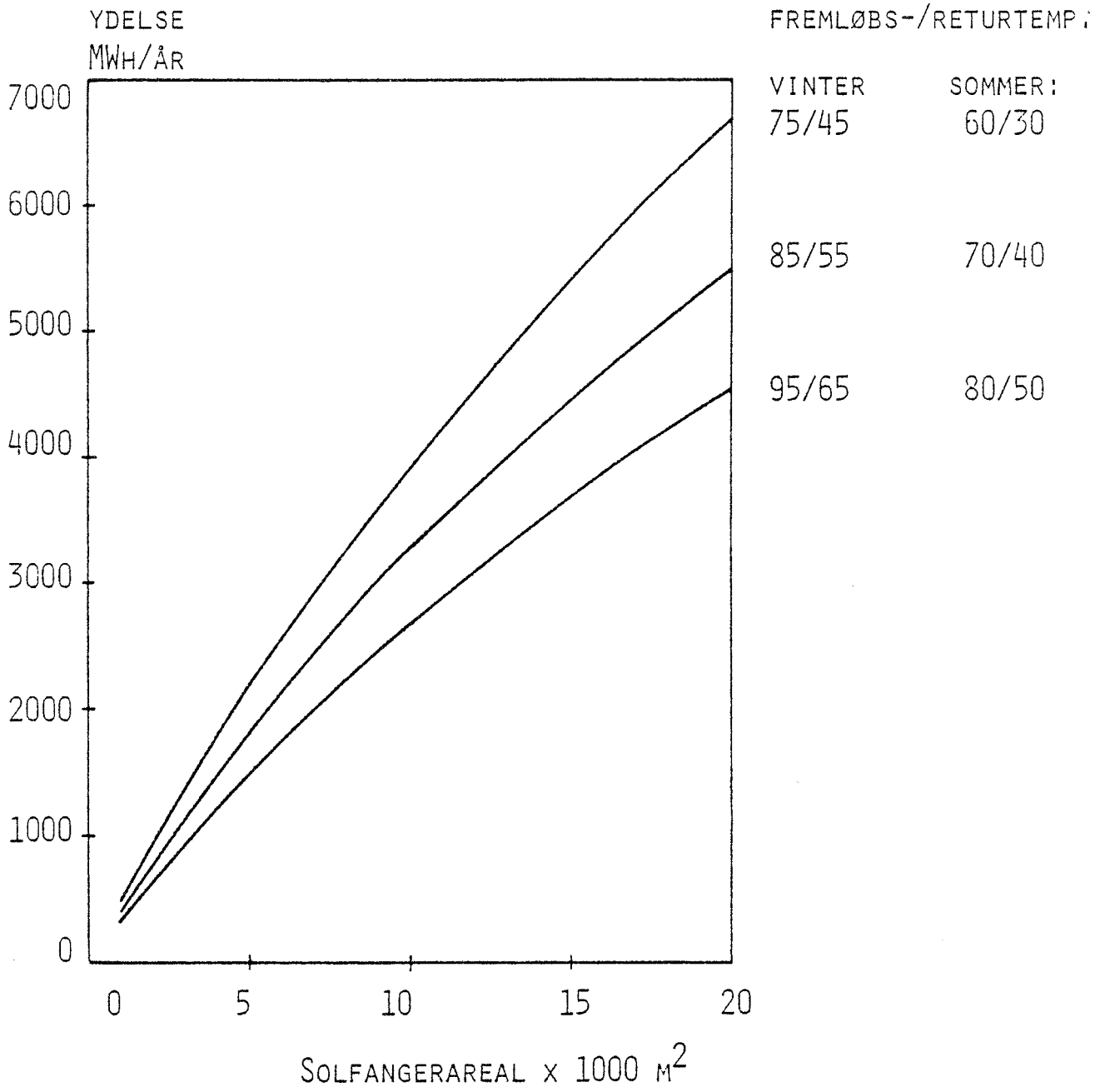
5.3 Konstant strømningshastighed

En anden måde at regulere den afgivne varmemængde på, er at holde strømningshastigheden konstant og variere fremløbstemperaturen i forhold til forbruget, dog således at middeltemperaturen er den samme. I de foregående beregninger er afkølingen sat til 30°C hele året, hvilket giver maksimal strømningshastighed i januar. Fastholdes denne hele året fås de på fig. 9 viste kurver. På figuren er desuden indtegnet kurver svarende til de øvrige beregninger, hvor strømningshastigheden varierer måned for måned. Med konstant strømningshastighed bliver returtemperaturen og dermed indløbstemperaturen til solfangerkredsens varmeveksler således 53°C i juli i stedet for 40°C.

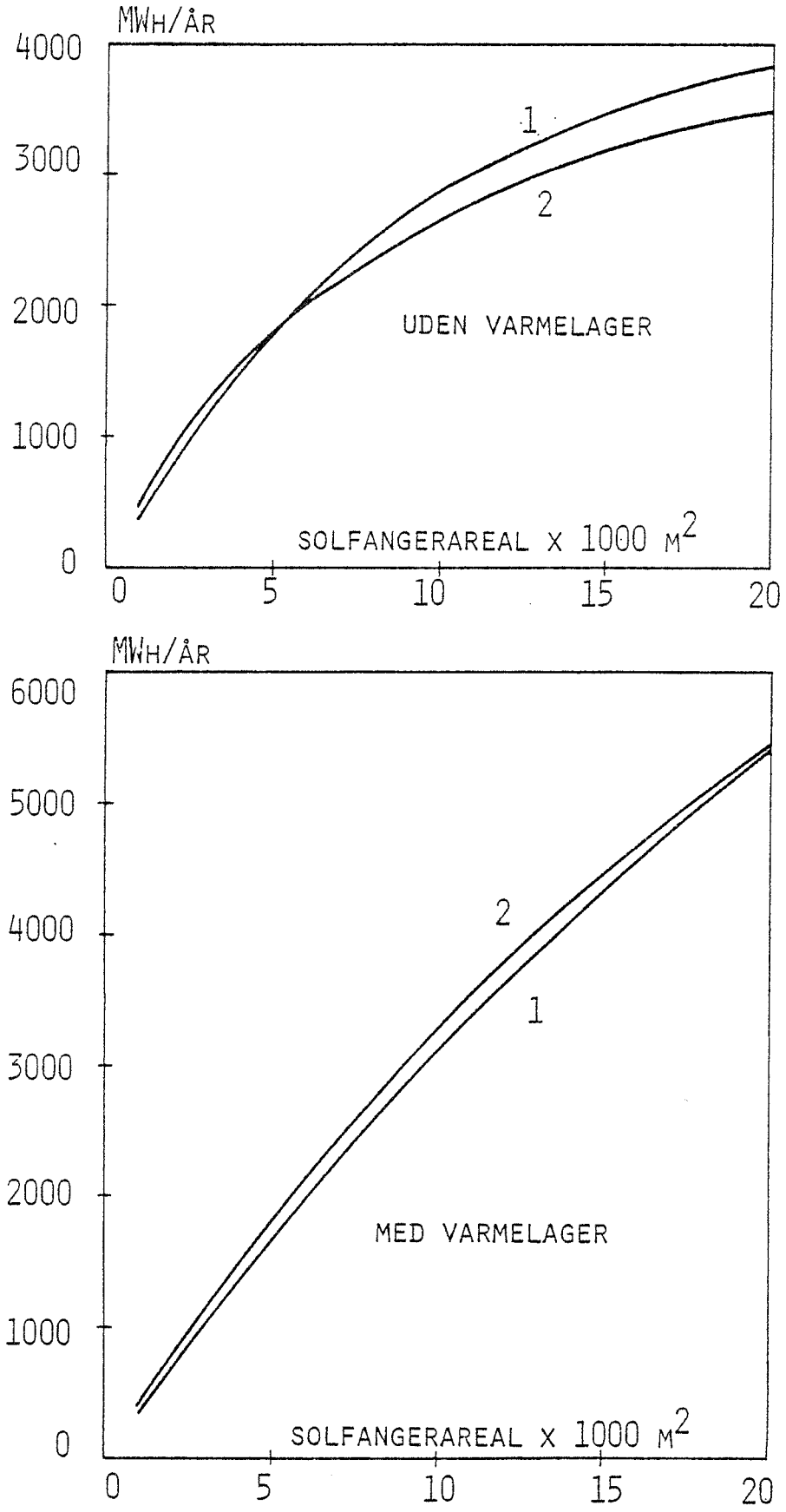
Af figuren ses, at styringsformen næsten er uden betydning for anlæg med varmelager. Med konstant strømningshastighed reduceres usbyttet ca. 10% for små anlæg, mens større anlæg giver samme udbytte, som hvis afkølingen holdes konstant. For anlæg uden varmelager reduceres udbyttet ligeledes for små anlæg, mens udbyttet øges for større anlæg. Både med og uden varmelager gælder altså, at for stigende solfangerareal opvejes reduktionen af udbyttet pga den højere returtemperatur af den større lagerkapacitet i fjernvarmenettet. Dette har naturligvis størst betydning for anlæg uden varmelager, hvor kapaciteten i forvejen er lille.



FIGUR 7. ANLÆG UDEN VARMELAGER. YDELSE SOM FUNKTION AF SOLFANGERAREALET VED ÆNDRING AF TEMPERATURNIVEAUET I FJERNVARMENETTET. VARMEBEHOV =25000 MWH/ÅR.



FIGUR 8. ANLÆG MED VARMELAGER. YDELSE SOM FUNKTION AF SOLFANGERAREALET VED ÆNDRING AF TEMPERATURNIVEAUET I FJERNVARMENETTET. VARMEBEHOV = 25000 MWH/ÅR.



FIGUR 9.

KURVE 1: KONSTANT STRØMNINGSHASTIGHED HELE ÅRET

KURVE 2: STRØMNINGSHASTIGHEDEN VARIERES I FORHOLD TIL FORBRUGET (BENYTTET I DE ØVRIGE BEREGNINGER)

VARMEBEHOV = 25000 MWH/ÅR

5.4 Øvrige beregninger

Effektivitetskurverne på fig. 3 indikerer, at en et-lags solfanger vil give betydeligt mindre udbytte end en to-lags. På fig. 10 er vist hvor meget ydelsen nedsættes. Reduktionen svarer til ca. 25-30% for anlæg uden lager og 30-35% for anlæg med lager.

Med udgangspunkt i et anlæg med en 2-lags sydvendt solfanger på 5000 m^2 med en hældning på 45° og et lagervolumen på 75 l pr. m^2 solfanger varieres en del af anlæggets parametre. Varmeforbruget er 25000 MWh/år.

I tabel 2-5 er ydelserne sammenlignet med dette anlæg, hvis ydelse er sat til 1,00.

Hældning grd. fra vandret	0	15	30	45	60	75	90
Uden lager	0,65	0,79	0,92	1,00	1,01	0,95	0,79
Med lager	0,62	0,79	0,92	1,00	0,99	0,90	0,70

Tabel 2. Varierende solfangerhældning

Azimut grd. fra syd	0	15	30	45
Uden lager	1,00	0,99	0,95	0,89
Med lager	1,00	0,99	0,95	0,89

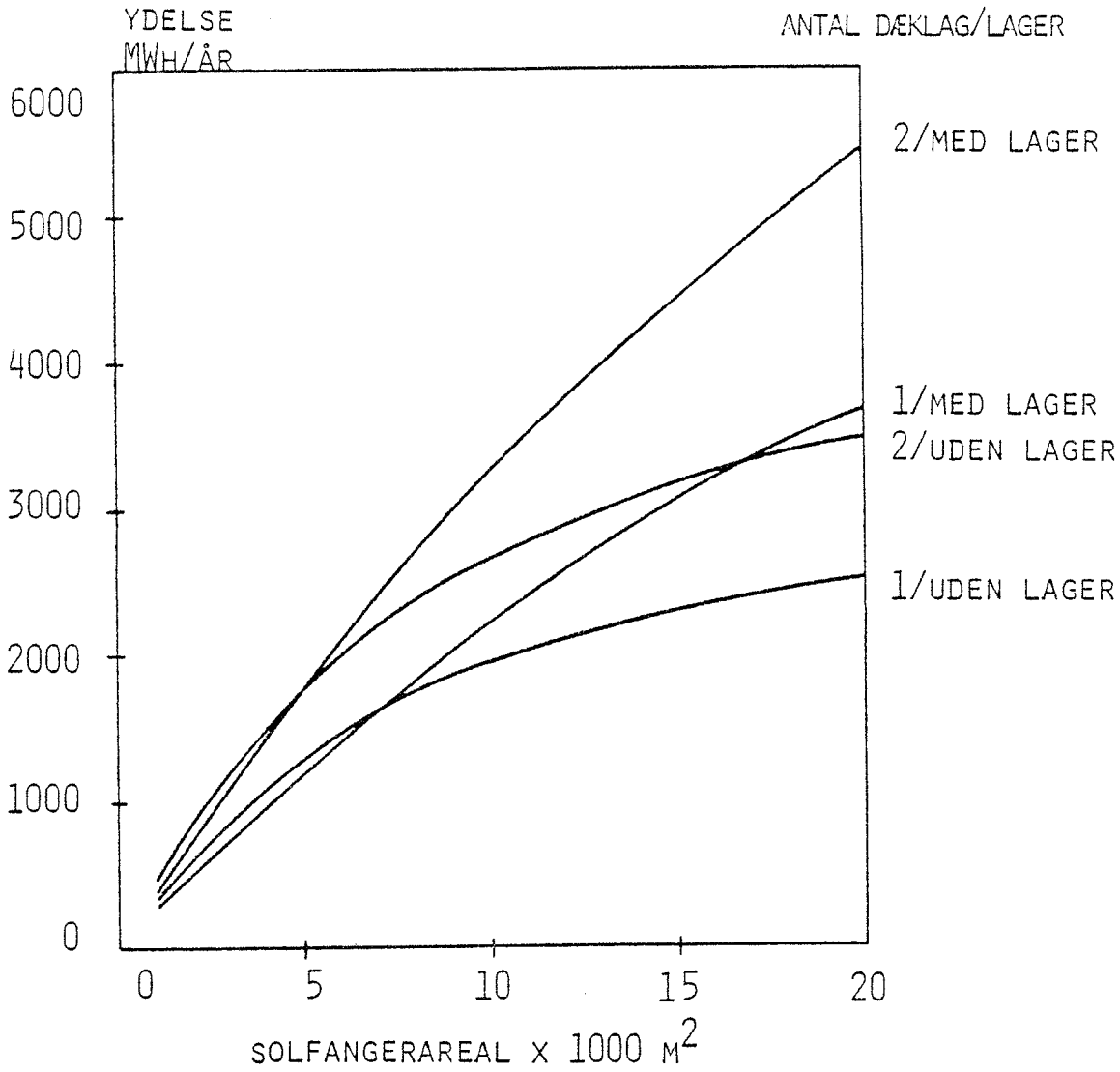
Tabel 3. Varierende solfangerorientering

Lagerstørrelse l/m^2	25	50	75	100	200
Med lager	0,91	0,98	1,00	1,01	1,01

Tabel 4. Varierende lagerstørrelse

Konstant temperaturniveau hele året - frem/retur	85/60	85/50	85/40
Uden lager	0,78	0,94	1,10
Med lager	0,74	0,90	1,06

Tabel 5. Konstant temperaturniveau



FIGUR 10. YDELSE AF ANLÆG MED SOLFANGER MED ET ELLER TO DÆKLAG AF GLAS.
VARMEBEHOV =25000 MWH/ÅR

For lave værdier af forholdet mellem forbruget og solfangerarealet (0,2-0,3 MWh/m^2·år på figur 6) bliver udbyttet af de sidste m^2 solfanger meget lavt. I tabel 3 er vist ydelsen pr. år ved en ændring af arealet fra 4800 m^2 til 5000 m^2. Forbruget er 1000 MWh/år.

Solfangerareal m^2	4800	4900	5000
Forbrug/m^2 MWh/m^2.år	0,208	0,204	0,200
Ydelse uden lager MWh/år	173	173	174
Ydelse med lager MWh/år	516	520	523

Tabel 6. Ydelse ved lave værdier af forholdet mellem forbrug og solfangerareal.

Af tabellen ses at uden lager er ydelsen af de første 100 ekstra m^2 solfanger så lav, at der i begge tilfælde afrundes til 173 MWh/år. Da der i programmet ses bort fra rørtabet mellem solfangeren og varmeveksleren i enten returledning eller lagertank bliver ydelsen af de sidste m^2 næppe større end det ekstra rørtab. Det må derfor anbefales at bruge højere værdier af forholdet mellem forbrug og solfangerareal.

6.0 Konklusion

Beregningerne viser, at et solvarmeanlæg placeret centralt i forbindelse med et fjernvarmeværk afhængig af størrelse kan give et udbytte på op til 400-450 KWh/år pr. m^2 solfanger. For anlæg hvor det samlede varmeforbrug er under 5000 KWh/år pr.m^2 solfanger,giver anlæg med varmelager størst udbytte - for anlæg over denne grænse er det mest fordelagtigt at benytte anlæg uden varmelager.

Beregningerne er foretaget for anlæg med typiske driftsforhold. Fremløbstemperaturen og strømningshastigheden i ledningsnettet varierer over året i forhold til forbruget, således at maximum og minimum fremløbstemperatur er henholdsvis 85°C og 70°C og afkølingen konstant 30°C. En ændret styring, hvor strømningshastigheden holdes konstant hele året har kun ringe indflydelse

på solvarmeanlæggets ydelse. Derimod øges ydelsen med ca. 20% ved en reduktion af temperaturniveauet på 10°C. Tages der hensyn til dette forhold ved projektering af nye fjernvarmeværker, vil der i fremtiden være flere muligheder for at udnytte solvarme.

7.0 Referenceliste

[1] Udnyttelse af overskudshalm i kollektive anlæg, Kommunernes Landsforening, Energi-sekretariatet. Oktober 1979.

[2] Ø. Melhus og B. Quale: Varmtvandslagring i Ålborg - Nørresundby-området, laboratoriet for Energiteknik, DtH, juni 1979.

[3] Solvarme. Vejlednig i projektering og udførelse af anlæg. Teknologisk Institut, april 1978.

[4] Referenceåret - vejrdata for VVS-beregninger. SBI-rapport nr. 89, 1974.

[5] Henrik Lawaetz: Beregning af solindfald. Laboratoriet for Varmeisolering. DtH, december 1975. Meddelelse nr. 42.

[6] Kristian Krægpøth: Explicit udbyttefunktion for solfangere. Laboratoriet for Varmeisolering, DtH, januar 1977. Meddelelse nr. 52.

8. Projektorganisation.

Styregruppe:

Energiministeriet har udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

H. Ibsen, civilingeniør, Boligministeriet (formand).
P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening.
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S.
E. Christoffersen, afdelingsleder, Statens Byggeforskningsinstitut.
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening.
M. Dyre, civilingeniør, forskningschef, Danfoss.
E. Eckert, afdelingsingeniør, Teknologisk Institut(sekretær).
K.H.Frier, direktør, civilingeniør, Foreningen af rådgivende ing.
V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.
C. Kortzau, cand.jur., Foreningen af typehusproducenter i Danmark.
J. Lemming, civilingeniør, Energiministeriet.
V.S.Pejtersen, civilingeniør, Risø.
P. Snare, ekspeditionssekretær, Energistyrelsen.
H. Schiøler, direktør, H.Schiøler & Co. K/S.
P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.
H. Tindal, arkitekt m.a.a., Praktiserende Arkitekters Råd.

Projektmedarbejdere:

Projektleder: P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.

Laboratoriet for Varmeisolering:

K. Ellehauge, civilingeniør.
N. Mejlhede Jensen, civilingeniør.
L. Sønderskov Jørgensen, civilingeniør.
Sv.E.Mikkelsen, civilingeniør.
P.E.Kristensen, akademiingeniør.
C.Nielsen, civilingeniør
L.Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
S.Aa.Svendsen, civilingeniør

Teknologisk Institut:

P.Engkjær, ingeniør.
Mikael Grimmig, arkitekt m.a.a.
L.Hallgreen, ingeniør, lic.techn.
T.Vest Hansen, ingeniør
M.Lange, ingeniør
O.Paulsen, civilingeniør, lic.techn.

I forbindelse med demonstrationsanlæggene har endvidere medvirket de pågældende byggeriers arkitekt og rådgivende ingeniør.

Adresser:
Laboratoriet for Varmeisolering, Bygn. 118, Danmarks Tekniske Højskole, 2800 Lyngby - Tlf. 02-883511

Teknologisk Institut, Varmeteknik, Gregersensvej, 2630 Tåstrup - Tlf. 02-996611