

# Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo



LABORATORIET FOR VARMEISOLERING  
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

# **LAGERTYPER OG LAGERSTØRRELSER I SOLVARMEANLÆG TIL BRUGSVANDSOPVARMNING**

**Søren Østergaard Jensen**

**Simon Furbo**

**LABORATORIET FOR VARMEISOLERING**

**DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE**

**MARTS 1984**

**MEDDELELSE 148**

Medvirkende ved projektet:

Søren Østergaard Jensen, civilingeniør,  
Simon Furbo, civilingeniør, stud.lic.techn.,  
Vibeke B. Nielsen, assistent,  
Kenneth P.B. Sørensen, teknisk tegner,  
Jens Førby, stud.polyt.



## Forord

Energiministeriets (tidligere Handelsministeriets) Energiforskningsprogram (EFP-80) vedrørende udvikling af mindre varmelagre er fortsat under Energiministeriets forskningsprogrammer i 1981, 1982 og 1983 (EFP-81, 82 og 83) som en betydningsfuld del af forskningsprogrammet vedr. solenergi. Formålet med denne del af programmet er gennem forbedrede lagermuligheder for solenergi at forbedre mulighederne for økonomisk anvendelse af solenergi under danske forhold.

Projektet udføres af Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, i samarbejde med interesserede institutter og erhvervsvirksomheder.

Projektet, der udførtes i perioden 1978-83, har omfattet følgende delprojekter:

Varmelagring i:

- a) vand
- b) stenmagasiner
- c) bygningskonstruktioner
- d) smeltevarmelagre
- e) kemiske varmelagre

Alle delprojekterne tager sigte på, at de opnåede resultater allerede på kort sigt skal kunne anvendes i praksis.

Denne rapport afslutter en del af arbejdet med "Termiske lagre" finansieret under EFP-81 og 82.

Varmelagerprojektet er siden 1981 en del af Energiministeriets forskningsprogram vedrørende solvarme.



## Resumé

I denne rapport er undersøgt, hvilken af de i dag brugte beholdertyper der er bedst egnet - ydelsesmæssigt og økonomisk - i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

Der er opstillet tommelfingerregler for, hvor stort beholder-volumenet og solfangerarealet skal være - ud fra et givet dagligt varmtvandsforbrug - for at være ydelsesmæssig og økonomisk optimal. Der er foretaget følsomhedsanalyser over ændringer i forbrugsmønsterets indflydelse på de optimale beholdervolumener.

Sidst er foretaget beregninger over solvarmeanlæggenes brugerøkonomi.



## Indholdsfortegnelse

	Side
1. Indledning	9
2. Konklusion	11
LAGERTYPER	
3. Lagertyper	15
3.1. Anlægget beregningerne er foretaget for	17
3.1.1. Solfanger	17
3.1.2. Lager	18
3.1.3. Rørsystem	18
3.1.4. Væske	18
3.1.5. Varmeveksler	19
3.1.6. Pumpe og styresystem	19
3.1.7. Tappemønster	20
3.2. Beskrivelse af anvendt program	21
3.3. Optimering af beholderne	22
3.3.1. Beholder med indbygget varmevekslerspiral	23
3.3.2. Kappebeholder	23
3.3.3. Beholder med neddykket varmtvandsbeholder (nvvb)	25
3.3.4. Sammenligning af ydelser	28
3.4. Økonomi i solvarmeanlæg med de tre beholdertyper	32
3.4.1. Priser på anlæg og komponenter	32
3.4.1.1 Beholderpriser	32
3.4.2. Sammenligning af priser	34
3.5. Konklusion på lagertyper	36

## LAGERSTØRRELSER



4. Lagerstørrelser	39
4.1. Anlæg og beregningsmodel	40
4.1.1. Anlæg	40
4.1.1.1 Lager	40
4.1.1.2 Tappemønster	41
4.1.2. Beregningsmodel	41
4.2. Anlægsydelser	42
4.2.1. Nettoydelser	42
4.2.2. Totalydelser	44
4.3. Priser på anlæg	48
4.4. Økonomisk optimering	50
4.5. Ændringer i tappemønster	55
4.5.1. Ferier	59
4.6. Rentabilitet i solvarmeanlæg	62
4.6.1. Økonomiske forudsætninger	62
4.6.2. Rentabiliteten af anlæggene	64
4.7. Konklusion på lagerstørrelser	66
BILAG	
Appendix A Back-up-enheder	71
Appendix B Priser på beholdere	73
Appendix C Varmevexslerspiraler	76
Appendix D Data for solfangervæske og vand	78
Referencer	80
Projektorganisation	83
Liste over udkomne rapporter	84
Abstract	88

Figurliste

	Side
Fig. 1: Principskitse af beholder med indbygget varmevekslerspiral, kappebeholder og beholder med nvvb og indbygget varmevekslerspiral.	15
Fig. 2: Styringssystem for solvarmeanlæggene.	20
Fig. 3: Kappens placerings betydning for udbyttet.	24
Fig. 4: Nvvb's volumens betydning for udbyttet.	26
Fig. 5: Nvvb's højdes betydning for udbyttet.	27
Fig. 6: De tre beholdere der laves økonomiske beregninger for.	28
Fig. 7: Ydelser for solvarmeanlæg med tre forskellige lagertyper.	30
Fig. 8: Beholderpriser (excl. isolering).	33
Fig. 9: Nettoydelsen for solvarmeanlæg ved forbrug på 100 l/døgn.	42
Fig. 10: Nettoydelsen for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn.	43
Fig. 11: Nettoydelsen for solvarmeanlæg ved forbrug på 300 l/døgn.	43
Fig. 12: Totalydelser for solvarmeanlæg ved forbrug på 100 l/døgn og en moderne kedel som back-up.	45
Fig. 13: Totalydelser for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn og en moderne kedel som back-up.	46

Fig. 14:	Totalydelse for solvarmeanlæg ved forbrug på 300 l/døgn og en moderne kedel som back-up.	46
Fig. 15:	Totalydelse for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn og en kondenserende kedel som back-up.	47
Fig. 16:	Totalydelse for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn og en ældre kedel som back-up.	47
Fig. 17:	Beholderpriser (inkl. isolering).	48
Fig. 18:	Investering i kr. pr. årlig kWh for solvarmeanlæg ved forbrug på 100 l/døgn med en moderne kedel som back-up.	51
Fig. 19:	Investering i kr. pr. årlig kWh for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn med en moderne kedel som back-up.	51
Fig. 20:	Investering i kr. pr. årlig kWh for solvarmeanlæg ved forbrug på 300 l/døgn med en moderne kedel som back-up.	52
Fig. 21:	Investering i kr. pr. årlig kWh for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn med en kondenserende kedel som back-up.	52
Fig. 22:	Investering i kr. pr. årlig kWh for solvarmeanlæg ved forbrug på 200 l/døgn med en ældre kedel som back-up.	53
Fig. 23:	Følsomhedsanalyse over skift i det daglige tappemønster - stort morgenforbrug.	56
Fig. 24:	Følsomhedsanalyse over skift i tappemønster over ugen - stort week-end forbrug.	57
Fig. 25:	Følsomhedsanalyse over skift i det årlige forbrug - stort vinterforbrug.	58

Fig. 26:	Følsomhedsanalyser over sommerferiers indflydelse på den optimale lagerstørrelse.	60
Fig. 27:	Forskellige kedlers virkningsgrad og tomgangstab.	71
Fig. 28:	Prisfunktion for beholdere med indbygget varmevekslerspiral (inkl. isolering).	73
Fig. 29:	Prisfunktion for beholdere med indbygget varmevekslerspiral (excl. isolering).	74
Fig. 30:	Prisfunktion for kappebeholdere (excl. isolering).	75
Fig. 31:	Varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen.	76
Fig. 32:	Kogepunktet for solfangervæsken.	78
Fig. 33:	Kogepunktet for brugsvand.	79

# Tabelliste

	Side
Tabel 1: Tabel over ydelser for solvarmeanlæg med tre forskellige lagertyper.	28
Tabel 2: Tabel over forskel i ydelser for solvarmeanlæg med forskellige lagertyper.	29
Tabel 3: Forudsætninger for rentabilitetsberegninger over solvarmeanlæg.	62
Tabel 4: Nuværdifaktorer.	63
Tabel 5: Forholdet mellem kapitalværdien og anlægsprisen for forskellige anlæg med forskellige back-up-enheder.	64
Tabel 6: Kedlers virkningsgrad og tomgangstab.	72

## 1. Indledning.

Målinger på solvarmeanlæg til varmt brugsvand viser, at det daglige forbrug af varmt vand har en meget stor indflydelse på anlæggenes ydelse og dækningsgrad. Der kan opnås store årlige ydelser pr. m<sup>2</sup>, sammen med store dækningsgrader, hvis det aktuelle forbrug svarer til det forbrug, der blev benyttet ved dimensioneringen af anlægget.

Økonomien i et solvarmeanlæg er afhængig af, at de årlige ydelser og dækningsgrader, anlægget er dimensioneret for, virkelig opnås. Specielt er små anlægs økonomi mere følsom over for dette end store anlæg. Nye undersøgelser af boligernes varmtvandsbehov (ref. (1)) viser, at det gennemsnitlige forbrug af varmt vand pr. familie er langt mindre, end dimensioneringsforskrifter foreslår (ref. (2)). En gennemsnitsfamilie bruger således i dag kun ca. 100 l varmt vand i døgnet (ved 55 °C ref. (1)), mens dimensioneringsforskrifterne foreslår et forbrug, der er 2.5 gange så stort (ref. (2)). Forskellen mellem aktuelt og foreskrevet forbrug skyldes flere ting: Forskrifterne tager ikke hensyn til formindskelsen af gennemsnitsfamilien, de regner med 3-3.5 personer mod 2.7 i de aktuelle målinger. Efter oliekriserne spares på det varme vand, karbade er således ved at være en saga blot. Forskrifternes forbrug er i overkanten af det forventede forbrug for at sikre, at der altid er nok varmt vand. Normale VVS-installationers økonomi er mindre følsomme over for ændringer i forbruget end solvarmeanlægs økonomi.

Solvarmeanlæg til varmt brugsvand skal altså være væsentlig mindre, end man antog, da de første anlæg blev bygget. For at bedre på økonomien i solvarmeanlæg er det derfor nødvendigt med bedre og mere præcise dimensioneringsforskrifter.

I denne rapport opstilles sådanne dimensioneringsforskrifter for solvarmeanlæg til varmt brugsvand.

Rapporten består af to selvstændige dele: Første del omhandler udvælgelse af den bedste lagertype. Denne udvælgelse er sket på baggrund af ydelsesmæssige og økonomiske beregninger. Rapportens anden del opstiller tommelfingerregler for, hvor stor lagerbeholderen og solfangerarealet skal være ud fra et givet dagligt forbrug. Tommelfingerreglerne er ligesom udvælgelsen af lagertyper sket på baggrund af beregninger over ydelser og økonomi.

Undersøgelserne er kun foretaget for solvarmeanlæg med en pumpe i solfangerkredsen, ligesom der ikke er placeret en el-patron i toppen af beholderne til eftervarmning af brugsvandet. Selvcirkulation og indbygget el-patron kunne tænkes at ændre lidt ved denne rapports konklusioner. Der er heller ikke undersøgt systemer, hvor solfangeren tømmes, når denne ikke er i drift.



## 2. Konklusion

I solvarmeanlæg til varmt brugsvand er den bedste af de i dag anvendte lagertyper en beholder med en indbygget varmevekslerspiral placeret i bunden af beholderen (se fig. 6). Denne lagertype er bedst både ydelsesmæssigt og økonomisk.

Tommelfingerreglerne for anlægsdimensionering tager udgangspunkt i det gennemsnitlige daglige varmtvandsforbrug (1 liter ved 45 °C). Lageret skal have et volumen, der svarer til det daglige forbrug + 50 l. For hver 50 liter lager skal der være 1 m<sup>2</sup> solfanger (med selektiv belægning).

Der er udført følsomhedsanalyser, hvor forbrugsmønsteret er varieret (med samme årlige gennemsnitlige daglige forbrug). Forbruget er varieret over dagen, ugen og året. Desuden er betydningen af sommerferier undersøgt. Følsomhedsanalyserne viser samstemmende, at ændringer i forbrugsmønsteret ikke ændrer ved den optimale anlægsstørrelse, så længe det gennemsnitlige daglige forbrug på årsbasis ikke ændres.

Undersøgelserne viser samtidig, at hvis der er tvivl om størrelsen af det daglige forbrug, er det bedre at overdimensionere en smule, end at underdimensionere.

Alt efter forbrugsstørrelsen og back-up-systemets udformning, kræver solvarmeanlæg i dag en anlægsreduktion på 0-30% (uden statstilskud og med lille marginal trækprocent) for at være rentable.



# LAGERTYPER



### 3. Lagertyper

På det danske marked benyttes der i dag hovedsagelig tre lagertyper i solvarmeanlæg til varmt brugsvand: Beholdere med indbygget varmevekslerspiral, kappebeholdere og beholdere med neddykket varmtvandsbeholder (nvvb) og indbygget varmevekslerspiral. De tre beholdertyper er vist på fig. 1.

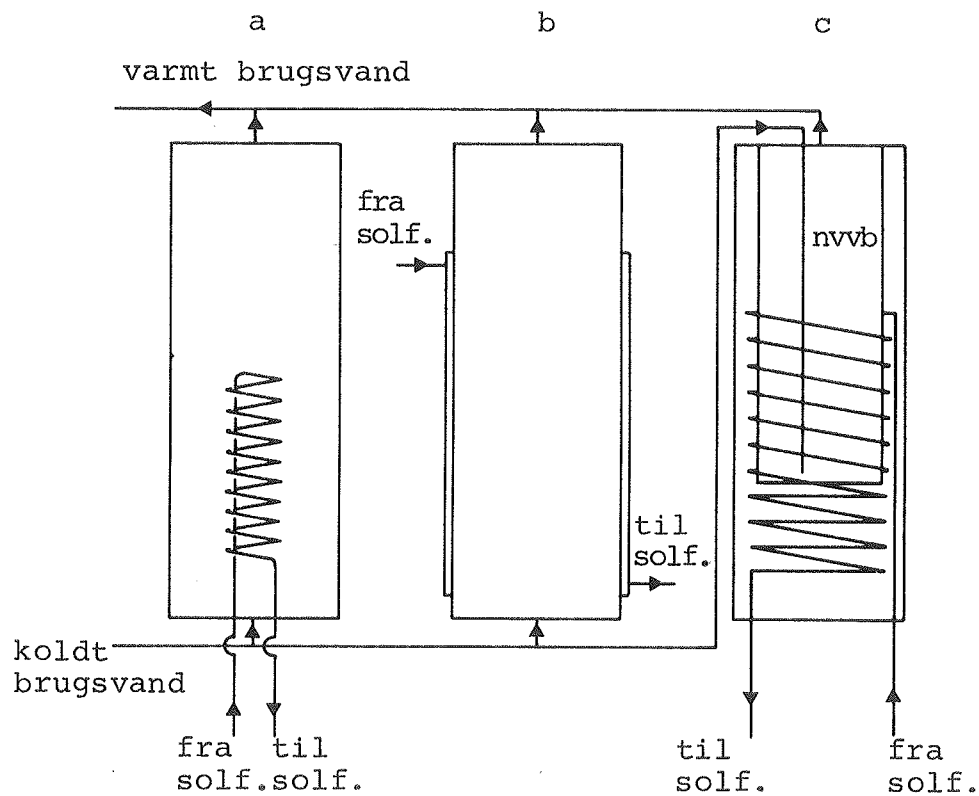


Fig. 1. Principskitse af:  
a) beholder med indbygget varmevekslerspiral,  
b) kappebeholder og  
c) beholder med neddykket varmtvandsbeholder (nvvb) og indbygget varmevekslerspiral.

I beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral cirkulerer solfangervæsken gennem varmevekslerspiralen og afgiver varme til brugsvandet, der befinder sig i beholderen.

I kappebeholderen cirkulerer solfangervæsken ned gennem kappen og afgiver derved varme til brugsvandet i beholderen.

I beholderen med nvvb er der en dobbelt adskillelse mellem solfangervæsken og brugsvandet. Solfangervæsken cirkulerer i varmevekslerspiralen og afgiver varme til lagervandet, der ved naturlig konvektion og varmeledning overfører varme til brugsvandet. Brugsvandet befinder sig i den neddykkede varmtvandsbeholder (nvvb).

Det er ikke før grundigt undersøgt, hvilken af disse tre beholdertyper der egner sig bedst i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Man har dog længe haft den opfattelse, at beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral var bedst. Første del af rapporten kan derfor ses som dokumentation for denne opfattelse.

### 3.1. Anlægget beregningerne er foretaget for

Det anlæg, beregningerne er udført for, er valgt ud fra følgende kriterier: Anlægget har en typisk størrelse, anlægget er ikke overdimensioneret (lagertypernes forskelle ville da blive mindre tydelige), og anlægget er opbygget på baggrund af erfaringerne fra tidligere anlæg.

Anlægget har et solfangerareal på 4 m<sup>2</sup> (selektiv belægning), lagertanken er på 200 l og det daglige forbrug er 200 l varmt vand ved 45 °C. Anlægget har da (med en beholder med indbygget varmevekslerspiral) en årlig dækningsgrad på 65% og en sommerdækningsgrad på 93%. Dette anlæg har en højere ydelse pr. m<sup>2</sup> solfanger end de højtydende demonstrationsanlæg (BV300-anlæggene ref. (3)). Det skyldes, at anlægget er en smule underdimensioneret for at lette analysen af forskellene mellem lagertyperne.

#### 3.1.1. Solfanger

Til anlægget er valgt en solfanger, hvor absorberen har en selektiv belægning. Denne solfanger er valgt, fordi den i dag er blandt de bedste på det danske marked. Det må derfor forventes, at det bliver solfangere af denne type, der vil få den største udbredelse i de kommende år.

Effektiviteten for den valgte solfanger kan udtrykkes ved følgende ligning:

$$n = 0.90 - 5.2(T_m - T_o)/E - 0.005(T_m - T_o)^2/E$$

hvor

$T_m$  er middeltemperaturen af solfangervæsken [°C],

$T_o$  er omgivelsernes temperatur [°C],

$E$  er solintensiteten [W/m<sup>2</sup>].

Solfangeren er sydvendt og har en hældning på 45°.



### 3.1.2. Lager

Undersøgelser har vist, at hvis lageret udformes, så der er en stor temperaturlagdeling kan solvarmeanlæggets ydelse forøges med mellem 5 og 15% (ref. (4)). Lageret er derfor forholdsvis højt og slankt - 1,60 m højt og 0,4 m i diameter - d.v.s. et højde/diameterforhold på 4.

Lageret er isoleret med 50 mm isoleringsmateriale, der har en varmeledningsevne på 0,045 W/m°C. Det svarer til mineraluld af type B monteret på stedet.

Lagrene er udført af stålplade med følgende godstykkelser:

	beholdervæg	nvvb	kappe
Beholder med spiral:	3 mm	-	-
Kappebeholder :	4 mm	-	3 mm
Beholder med nvvb :	3 mm	3 mm	-

### 3.1.3. Rørsystem

Rørene mellem solfanger og lager er 3/4" stålrør. De er isoleret med 30 mm mineraluld. Der regnes med 6 m rør inde i huset og 4 + solfangerarealet = 8 m på loft + udendørs.

### 3.1.4. Væske

Som solfangervæske er brugt en propylenglycol/vand-blanding med en vægtprocent af propylenglycol på 40. D.v.s. frostsikret til ca. -21 °C. Gennemstrømningen i solfangerkredsen er sat til 1 l/min. pr. m<sup>2</sup> solfangerareal.

### 3.1.5. Varmeveksler

Der er anvendt den samme varmevekslerspiral til både beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral og beholderen med nvvb. Som varmeoverføringsevne er anvendt data fra målinger på en eksisterende beholder (ref. (5)). Varmeoverføringskoefficienten er:

$$H = 180 + 2,89 \times T_1 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

hvor  $T_1$  er lagerets temperatur [ $^\circ\text{C}$ ].

Varmeoverføringsevnen for kappebeholderen er ligeledes hentet fra en prøvning af et lager (ref. (6)). Varmeoverføringsevnen pr. overføringsareal blev målt til:

$$\frac{H}{A} = 70.6 + 2 \times T_1 \text{ [W/m}^2\text{}^\circ\text{C]}$$

hvor  $T_1$  er lagerets temperatur [ $^\circ\text{C}$ ],

$A$  er det varmeoverførende areal [ $\text{m}^2$ ].

De to ovenstående varmevekslere er valgt, fordi de repræsenterer eksisterende varmevekslere og har vist sig i stand til at overføre den fornødne varmemængde.

### 3.1.6. Pumpe og styringssystem

Som pumpe er valgt en lille pumpe. Den yder på andet trin en effekt på 50 W. Pumpen starter ved en differens mellem temperaturerne i solfanger og lager på 5  $^\circ\text{C}$ . Den stopper ved en differens mellem frem og retur til lageret på 0,5  $^\circ\text{C}$ . (Se fig. 2. næste side). Denne styring er f.eks. mulig med differenstermostaten SETA fra Danfoss.

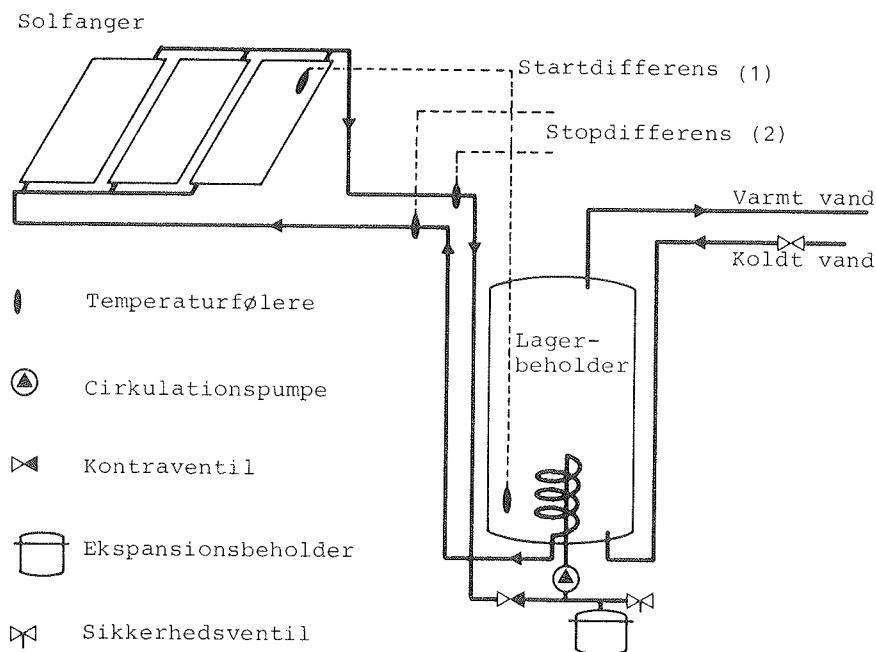


Fig. 2. Skitse over styringen af solvarmeanlæggene i beregningerne.

### 3.1.7. Tappemønster

Der tappes dagligt 200 l ved 45 °C. Hvis lagertemperaturen er højere, blandes der koldt vand i, så den ønskede temperatur opnås. D.v.s. ved høje temperaturer tappes der mindre end 200 l/døgn fra lageret.

Tappehastigheden er sat til 7 l/min. Koldtvandstemperaturen er 10 °C (hele året rundt).

I det anvendte program er indlagt et tappemønster med følgende udseende:

Kl.	Andel af daglig tappet mængde
8.00	20%
12.00	20%
18.00	40%
20.00	20%

### 3.2. Beskrivelse af anvendt program

Til beregning af ydelserne for de forskellige anlæg er anvendt et EDB-program (BSOL), der er udviklet på Laboratoriet for Varmeisolering, DTH (ref. (7), (8), og (9)).

Programmet er udviklet på baggrund af laboratoriets mangeårige erfaring med beregningsprogrammer over solvarmeanlæg. Det er udviklet i forbindelse med konsulentarbejde for Prøvestationen for solvarmeanlæg. Programmet er således udviklet og valideret ud fra prøvninger af lagre til solvarmeanlæg.

Programmet har en stor nøjagtighed, idet de ikke lineære differentiaalligninger, som beskriver solvarmeanlægget, beregnes implicit hvert tidsskridt. Det er i programmet muligt at beskrive anlæggets opbygning og funktionsmåde ved hjælp af over 100 parametre. Som input anvender programmet vejrdata fra det danske referenceår, TRY.

Outputtet fra programmet er de daglige, månedlige og årlige energistrømme, dækningsgrader, effektiviteter og drifttimer. Det er også muligt f.eks. at få udskrevet samtlige temperaturer for en enkelt dag, således at lageret kan sammenlignes med en aktuel prøvning. I denne rapport har kun årsværdierne interesse.

### 3.3. Optimering af beholderne

I dette afsnit optimeres visse af beholdernes parametre. Optimeringen er udført som følsomhedsanalyser over disse parametre. Størrelserne, der optimeres ud fra, er nettoydelsen fra anlæggene i sommermånederne, den årlige nettoydelse og den årlige totale ydelse.

Nettoydelsen er den energimængde, der tappes fra lageret.

Totalydelsen er nettoydelsen korrigeret for det primære varmesystems virkningsgrad plus sparet tomgangstab, når varmesystemet kan slukkes i sommermånederne. Totaludbyttet er altså den mængde energi (den fortrængte oliemængde), det primære varmesystem ville kræve for at give den samme mængde varmt vand som solvarmeanlægget. Det er denne størrelse, der skal benyttes i økonomiske beregninger over solvarmeanlæggets rentabilitet.

I denne del af rapporten undersøges solvarmeanlæggene i forbindelse med ét primært varmesystem - en moderne olie- eller gasfyret kedel. I beregningerne er valgt at anvende en kedel med virkningsgrad på 0,85 og et tomgangstab på 350 W - jvf. appendix A.

Til beregning af, hvor mange dage det er muligt at slukke for fyret, anvendes det i ref.(10) fundne udtryk:

$$N = \begin{cases} 150 & , \text{ for } \epsilon_s > 0,95 \\ \frac{150}{0,2} (\epsilon_s - 0,75) & , \text{ for } 0,75 \leq \epsilon_s \leq 0,95 \\ 0 & , \text{ for } \epsilon_s < 0,75 \end{cases}$$

hvor N er antallet af dage, hvor fyret kan slukkes,

$\epsilon_s$  er dækningsgraden i sommermånederne - maj - september.

Når N er fundet kan det årlige totale udbytte fra solvarmeanlægget findes:

$$Q_{\text{år}}^{\text{tot}} = \frac{Q_{\text{år}}^n}{\eta_k} + \frac{N \cdot 24 \cdot T}{\eta_k}$$

hvor  $Q_{\text{år}}^{\text{n}}$  er solvarmeanlæggets årlige nettoydbytte [kWh],  
 $\eta_{\text{k}}$  er kedlens virkningsgrad,  
 $N$  er antallet af dage, hvor fyret kan slukkes,  
 $T$  er kedlens tomgangstab [kWh].

### 3.3.1. Beholder med indbygget varmevekslerspiral

Man har længe haft dokumentation for, hvordan en beholder med indbygget varmevekslerspiral bedst udformes, når den skal indgå i et solvarmeanlæg (f.eks ref. (6)).

Der er derfor ikke her foretaget følsomhedsanalyser og optimering for denne beholdertype.

Den eneste parameter, der her er relevant at diskutere, er varmevekslerspiralens udformning. Her viser erfaringerne, at den skal være placeret så langt nede mod bunden som muligt. På den måde vil varmevekslerspiralen altid arbejde på lagerets koldeste temperatur, hvilket øger solfangerens effektivitet. Varmevekslerspiralen er derfor placeret i de nederste 10 cm af beholderen. Hvis varmeveksleren i stedet for var placeret, så den ragede halvt op i beholderen (hvilket er tilfældet med de fleste beholdere i dag), viser kørslen med edb-programmet, at det vil betyde en forringelse af nettoudbyttet og totaludbyttet på henholdsvis 8 og 12%. Den valgte beholder er afbildet i fig. 6.

I den senere vurdering af lagertyperne tages der udgangspunkt i beholderen med indbygget varmevekslerspiral. D.v.s. de to andre lagertyper sammenlignes primært med denne beholdertype.

### 3.3.2. Kassebeholder

Brugsvandsmængden er på forhånd givet - 200 l. Andre parametre såsom højde/diameter forholdet er også fastlagt.

Den parameter, der derfor har indflydelse på solvarmeanlæggets ydelse, er kappens (varmevekslerens) placering på beholderen. For at øge udbyttet fra solfangeren skal denne helst arbejde med den laveste temperatur, d.v.s. kappen skal gå helt ned til bunden af beholderen. Solfangeren kan alt efter solindstrålingen kun hæve solfangervæskens temperatur med et vist antal grader (når flowet og indløbstemperaturen er givet). Det betyder, at det ikke er ligemeget, hvor højt oppe kappen starter på beholderen. Hvis den starter for højt, vil solfangervæsken ofte transportere varme fra lagerets top mod bunden. Temperaturlagdelingen i lageret bliver da ødelagt med mindre anlægsydelse til følge. Naturligvis må kappens udstrækning heller ikke blive for lille, idet det varmeoverførende areal da også bliver for lille.

Fig. 3 viser følsomhedsanalysen over kappens udformning. Som

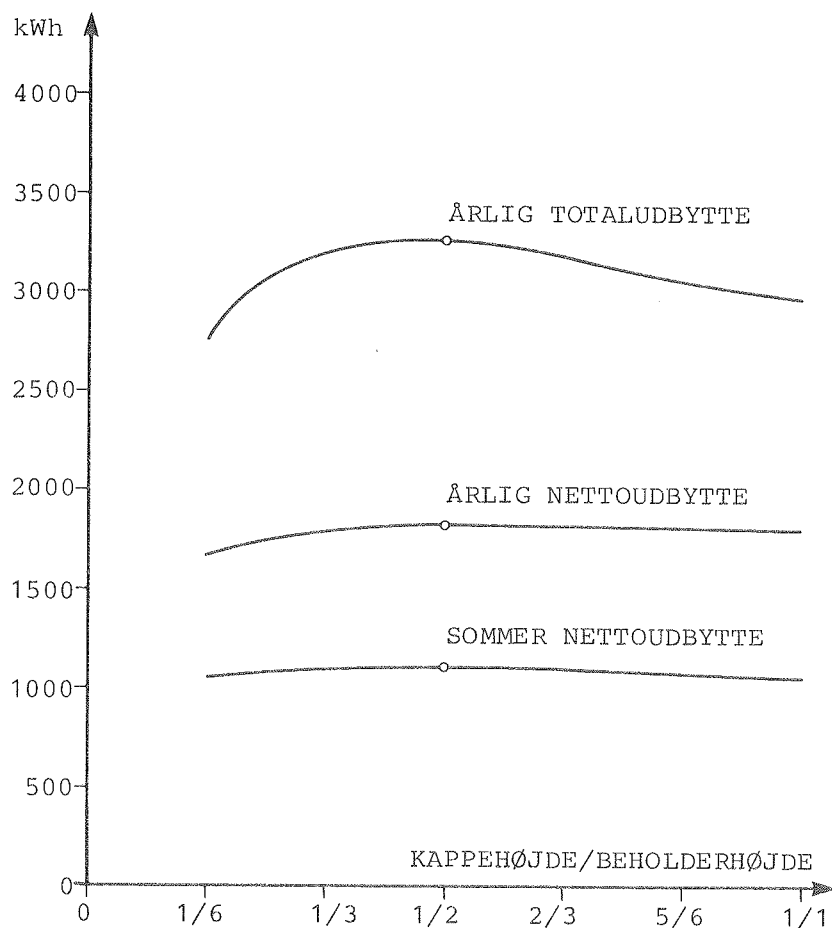


Fig. 3. Kappens placerings betydning for det årlige udbytte.



det ses af kurverne, er der et ret stort område omkring højden  $= 1/2 \times$  beholderhøjde, der er optimal. Højden af kappen  $= 1/2 \times$  beholderhøjde er dog svagt bedst. Derfor vælges denne udformning af kappen til brug i de senere beregninger (se fig. 6). I dag har kappebeholdere ikke denne udformning. Kappen starter højere oppe på beholderen samtidig med, at den standser før beholderbunden. De eksisterende kappebeholdere har heller ikke et højde/diameter forhold på 4. Forholdet ligger omkring 2-3. Hvis beholderen, som benyttes i de efterfølgende beregninger, sammenlignes med en eksisterende kappebeholder - Fønix type Fønix-Plasto (med samme volumen), viser det sig, at den eksisterende beholders totale årlige udbytte er 6.4% dårligere. Her tegner kappens placering sig for den største forringelse - 5.2%, mens højde/diameterforholdet her kun betyder en forringelse på 1.2 %. En forøgelse af højde/diameterforholdet ud over det i dag anvendte, giver ikke den store gevinst. Men i forbindelse med beholdere med indbygget varmevekslerspiral, vil det give bedre mulighed for at placere varmevekslerspiralen i det nederste lag (= mindste daglige tapping), da dette lag vil få en større højdemæssig udstrækning.

### 3.3.3. Beholder med neddykket varmtvandsbeholder (nvvb)

Ved denne beholder er der også på forhånd fastlagt højden og diameteren. Udformningen af varmeveksleren er også fastlagt, idet denne skal arbejde på den laveste temperatur i tanken. D.v.s. den skal være placeret i bunden af beholderen.

Der laves her følsomhedsanalyser over to parametre: nvvb's volumen og højde.

På fig. 4 og 5 er resultaterne fra disse følsomhedsanalyser optegnet. På fig. 4 ses det, at ydelserne vokser med voksende volumen af nvvb. Det skyldes, at varmen fra solfangerkredsen overføres til brugsvandet via to vekslersystemer: Gennem en varmevekslerspiral samt ved naturlig konvektion og ledning gennem nvvb's væg og bund. Varmeoverførslen sker derfor lang-

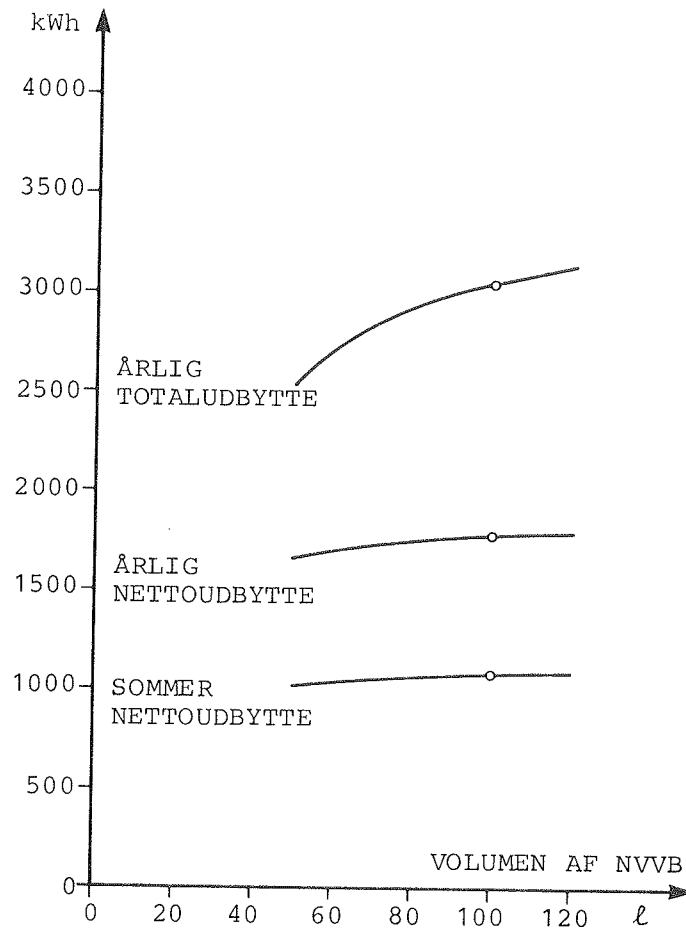


Fig. 4. Den neddykkede varmtvandsbeholders volumens betydning for det årlige udbytte.

somt. Jo større nvvb er, jo mere tid er der til at få overført varmen. Som det ses, er kurverne stejlere ved volumen under 80 l. Det skyldes, at den maksimale tapning er på 80 l. For nvvb mindre end 80 l risikerer man, at mere end hele volumenet i nvvb skal tappes for at få den ønskede mængde (ved den rette temperatur). Den mængde vand, der skal tappes ekstra, kan da ikke nå at blive opvarmet (tappehastigheden er 7 l/min).

Det er ikke muligt at lave nvvb vilkårlig stor, idet der skal være plads til en spalte mellem nvvb og lagervæggen, samt plads til varmevekslerspiralen. Nvvb skal i dette tilfælde helst ikke være over halvdelen af lagerets totale volumen. Derfor er nvvb valgt til at have et volumen på 100 l.

Af fig. 5 ses, at ydelsen vokser jo højere nvvb bliver. Det skyldes forøgelse af stratifikationen og bedre udnyttelse af lagervolumenet og varmevekslerspiralen. Jo højere nvvb bliver, jo længere ned i lageret kommer dens bund - og dermed også det kolde område. Varmevekslerspiralen kan derfor placeres i bunden af lageret. Hele lageret bliver derved udnyttet samtidig med at varmevekslerspiralen kan arbejde på de laveste temperaturer.

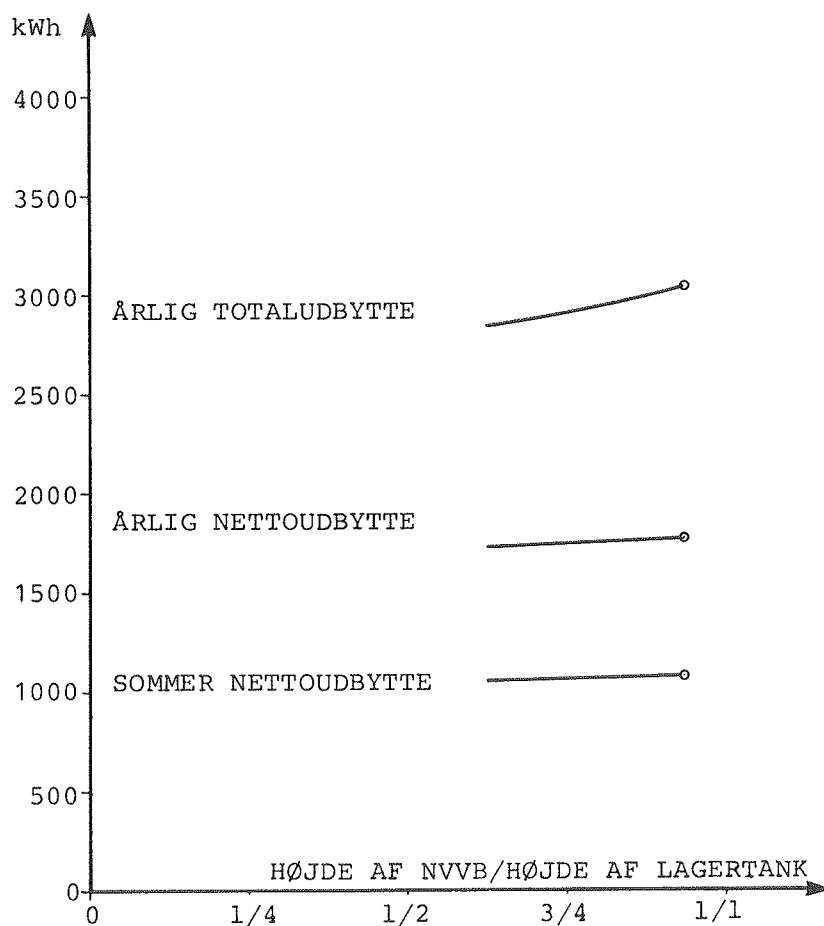


Fig. 5. Den neddykkede varmtvandsbeholders højdes betydning for det årlige udbytte.

Nvvb kan dog ikke gøres vilkårlig høj, der skal være plads til varmevekslerspiralen. En højde af nvvb på 1,5 m er derfor valgt som udgangspunkt. Denne beholder er vist i fig. 6.

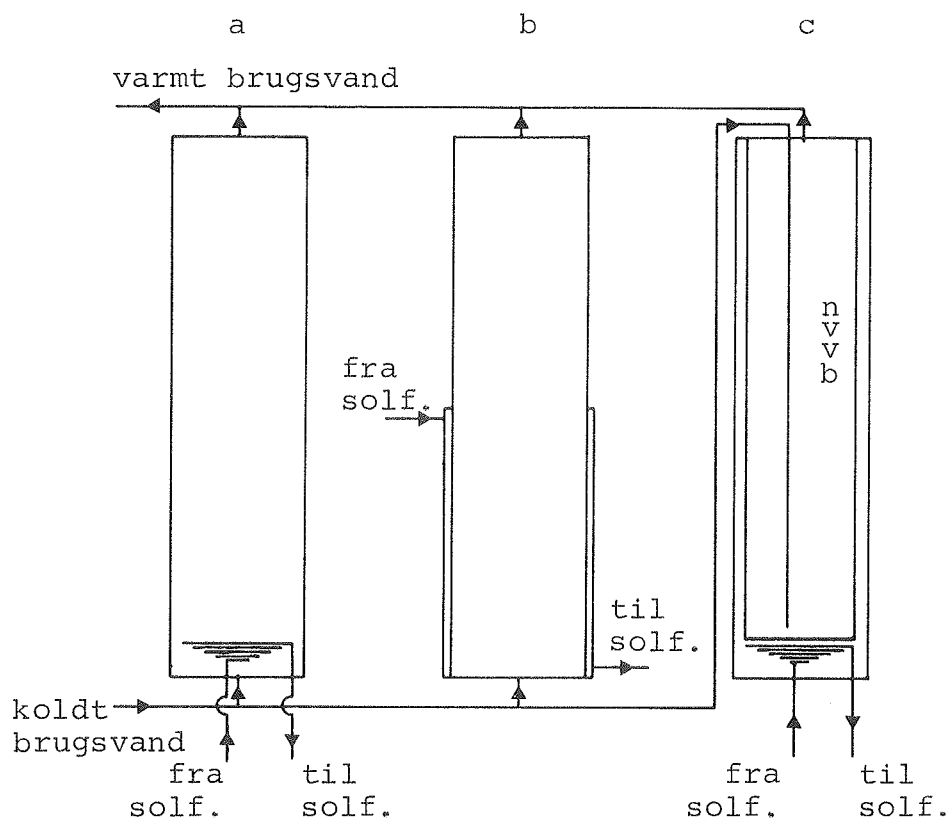


Fig. 6. Den endelige udformning af de tre beholdere, der foretages økonomiske beregninger over.

### 3.3.4. Sammenligning af ydelserne

Det beregnede udbytte for solvarmeanlæggene med de forskellige lagertyper er listet i tabel 1.

Beholdertype	sommerydelse netto	årlig ydelse netto	total årlig ydelse
	kWh	kWh	kWh
Indbygget varmeveksler	1140	1890	3560
Kappebeholder	1100	1820	3250
Indbygget nvvb	1080	1770	3040

Tabel 1. Udbyttet for solvarmeanlæg med de tre beholdertyper.

Forskellen mellem ydelserne for beholderen med indbygget varmevekslerspiral og ydelserne for de to andre beholdertyper fra tabel 1 er i tabel 2 opstillet som procentværdier.

Beholdertype	sommerydelse netto	årlig ydelse netto	total årlig ydelse
	%	%	%
Kappebeholder	3.5	3.7	8.7
Indbygget nvvb	5.3	6.3	14.6

Tabel 2. Kappebeholderen og beholderen med nvvb's mindre ydelse i forhold til beholderen med indbygget varmeveksler.

Grunden til, at beholderen med indbygget varmevekslerspiral er bedst, kunne skyldes, at anlæggene som før nævnt er en smule underdimensioneret, for bedre at kunne vise forskellene. I fig. 7 er ydelserne for de forskellige anlæg optegnet med forskellige solfangerarealer. Som det ses af kurverne, holder beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral sit absolutte forspring. Procentuelt falder forspringet i den totale ydelse dog ved 5 m<sup>2</sup>. Her er forspringet 6.0 og 10.2 % for henholdsvis en kappebeholder og en beholder med nvvb. Det relativt lave udbytte fra beholderen med nvvb kunne skyldes, at varmevekslerspiralen er for lille. Derfor er der lavet en beregning, hvor varmevekslerspiralens varmeoverføringssevne er fordoblet. Dette giver kun en forøgelse af totaludbyttet på 1,9%.

I beholderen med nvvb er der en dobbelt adskillelse mellem solfangervæsken og brugsvandet. Det er derfor lovligt at benytte ethylenglycol i stedet for propylenglycol som solfangervæske. Ethylenglycol har bedre termiske egenskaber end propylenglycol, men er giftigere. Denne forbedring gav under 0,2% forøgelse i totaludbyttet.

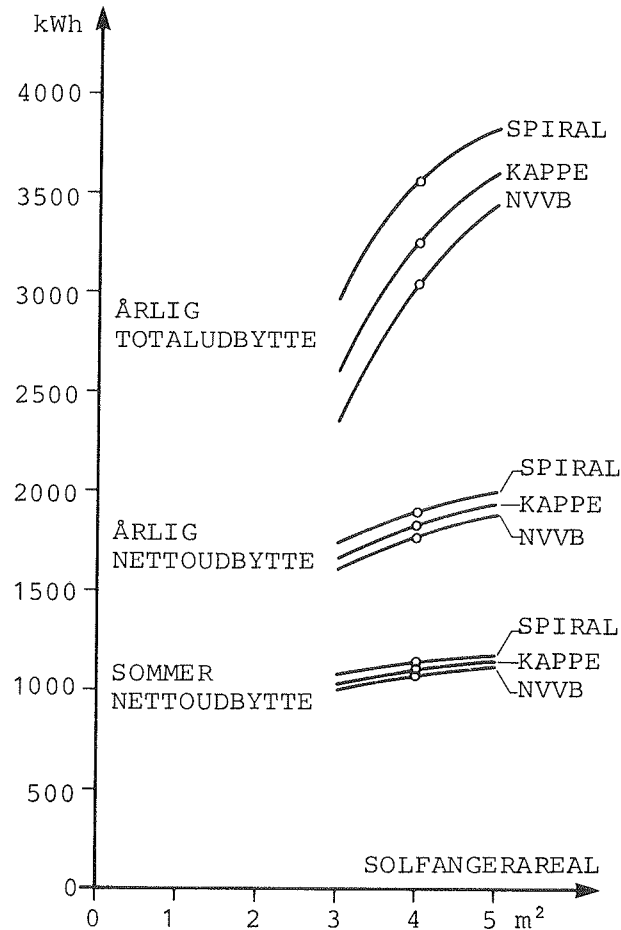


Fig. 7. De årlige ydelser for de tre anlægstyper som funktion af solfangerarealet.

Beregningerne over udbytterne fra solvarmeanlæg med de tre beholdertyper viser altså, at beholderen med indbygget varmevekslerspiral er ydelsesmæssigt bedst egnet. I beregningerne er der ikke taget hensyn til, at kappebeholderen og beholderen med nvvb har flere rørgennemføringer i den varmeste del (toppen) af beholderne. Dette giver større varmetab, idet disse gennemføringer virker som kuldebroer. Hvis kuldebroerne isoleres så godt, at de ikke betyder noget for ydelsen, vil det til gengæld fordyre anlæggene. Der tages heller ikke hensyn til, at det i dag er lettest (billigst) at placere hjælpeudstyret (pumper, ekspansionsbeholder, sikkerhedsventil o.s.v.) i et isoleret rum under beholderen med indbygget varmevekslerspiral. Dette mindsker også anlæggets varmetab.

Beholderen med indbygget varmevekslerspiral er altså yderligere lidt bedre i forhold til de andre beholdertyper, end beregningerne viser. Beholderen med nvvb er dårligst egnet på grund af dårlig varmeoverføring fra solfangervæske til brugsvandet.

Denne beholders styrke ligger, hvor en dobbeltadskillelse er nødvendig - f.eks. i kombinerede anlæg til rum- og brugsvandsopvarmning.



### 3.4. Økonomien i solvarmeanlæg med de tre beholdertyper

Det foregående afsnit viste, at beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral ydelsesmæssigt er bedst. Men dermed er det ikke vist, at det bedst kan betale sig at bruge denne beholder. Hvis en af de to andre beholdere er væsentligt billigere end beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral, kan dette evt. overskygge den dårligere ydelse.

Allerede på dette tidspunkt kan beholderen med nvvb udskilles. Denne beholder er i dag langt dyrere at producere end de to andre, især ved små beholdervolumener. Der produceres heller ikke så små beholdere af denne type. Der er dog en mulighed for at billiggøre denne lagertype, idet lagervolumenet kan holdes trykfri. Derved kan der spares materiale eller benyttes billigere materialer.

#### 3.4.1. Priser på anlæg og komponenter

Et solvarmeanlæg (på 4 m<sup>2</sup> med en lagertank på 200 l) koster i dag ca. 25.000,- kr. (83-kr.) inkl. moms og montage. Denne pris er resultat af en vurdering mellem priserne på forskellige aktuelle og beregnede anlæg (ref. (11). (12) og (13)). Det antages her (ligesom i ref. (12)), at selve solfangerprisen andrager 2.000,- kr. pr. m<sup>2</sup> solfangerareal.

##### 3.4.1.1. Beholderpriser

Da beholderne har samme udformning og størrelse antages det, at installationsprisen og pris for isoleringsarbejdet er ens for begge beholdertyper. Fig. 8 viser prisfunktionen for henholdsvis beholdere med indbyggede varmevekslerspiraler og kappebeholdere. Prisfunktionerne er resultatet af en undersøgelse over priserne på markedet. Appendix B indeholder en nærmere gennemgang af denne undersøgelse. De to kurver viser, at for små beholdervolumener er kappebeholderen billigst. Det

skyldes, at der uanset størrelsen medgår en vis mængde merarbejde til fremstilling af en beholder med indbygget varmevekslerspiral. Ved store beholderstørrelser udgør denne arbejdsindsats en relativt mindre del af den samlede beholderpris. Ved store beholderstørrelser bliver materialeprisen derimod mere og mere dominerende. Da kappebeholderen er mest materialekrævende, vil prisen på denne stige relativt hurtigere end prisen på beholderen med indbygget varmevekslerspiral.

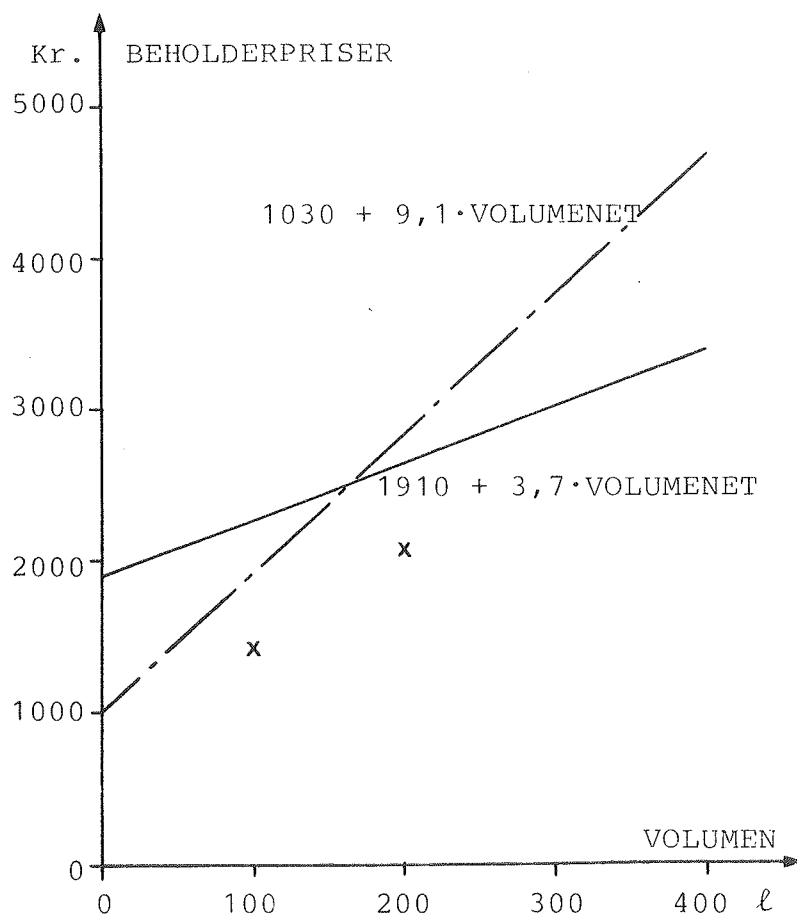


Fig. 8. Beholderpriser (excl. isolering, inkl. moms) som funktion af beholderstørrelsen.

--- beholder med indbygget varmevekslerspiral,  
 — godkendt kappebeholder,  
 x billigste kappebeholder.

Den anvendte kappebeholder (med en enkelt kappe - Fønix type Fønix-Plasto) er den eneste på markedet, der er godkendt til anvendelse i solvarmeanlæg. Denne beholder er ikke den bil-

ligste. For at få hele spektret med, er der også fundet priser på den billigste kappebeholder. Denne beholder er ikke godkendt til brug i solvarmeanlæg, idet kappen er trykprøvet ved et mindre tryk, end der normalt anvendes i solfangerkredsen.

De anvendte priser for beholdere på 200 l er da:

Beholder med indbygget varmevekslerspiral:	2650 kr. inkl. moms
Godkendt kappebeholder	: 2850 kr. " "
Billigste kappebeholder	: 2040 kr. " "

#### 3.4.2. Sammenligning af priser

En kappe kan indeholde væsentlig mere solfangervæske end en varmevekslerspiral. En 200 l kappebeholder kan ifølge ref. (14) og (6) rumme ca. 28 l mere væske end varmevekslerspiralen. Solfangervæske koster 7,- kr. excl. moms (ref. (11)). D.v.s. solvarmeanlæg med en kappebeholder har en merpris på ca. 240,- kr.

I de følgende beregninger tages der udgangspunkt i et solvarmeanlæg med en beholder med indbygget varmevekslerspiral. Prisen for de to andre anlæg kan derfor findes af:

$$(25.000 - 2.650) + \text{beholderpris} + 240 \text{ [kr]}$$

Prisen på de tre anlæg er:

Beholder med indbygget varmevekslerspiral:	25.000,- kr.
Godkendt kappebeholder	: 25.440,- kr.
Billigste kappebeholder	: 24.630,- kr.

Anlæg med den godkendte kappebeholder er altså 1,8% dyrere end anlæg indeholdende beholderen med indbygget varmevekslerspiral. Et anlæg med den billigste kappebeholder er 1,5% billigere.

Da beholderen med den indbyggede varmevekslerspiral yder 8,7% mere end kappebeholderen, er denne beholder bedst, også set fra et økonomisk synspunkt.

De 8,7% i merydelse kan også udtrykkes som, at beholderen med indbygget varmevekslerspiral må koste ca. 80% mere end kappebeholderen (da beholderprisen kun udgør ca. 10% af anlægsprisen), hvis anlæggene skal være lige rentable.

Fig. 8 viser, at kappebeholdere er billigere ved små beholderstørrelser. Det kunne derfor tænkes, at kappebeholdere var mere rentable ved helt små anlæg. Der er derfor lavet ydelsesmæssige og økonomiske beregninger for et anlæg på 2 m<sup>2</sup> med et lager på 100 l. Mindre anlægsstørrelser vil næppe blive aktuelle. Det daglige forbrug er her 100 l varmt vand.

Totalydelsen for de to anlæg bliver da henholdsvis 2340 og 2060 kWh/år. Anlægget med en beholder med indbygget varmevekslerspiral er her 12% bedre end anlægget med en kappebeholder.

Anlægspriserne er her:

Beholder med indbygget varmevekslerspiral:	18.000 kr.
Godkendt kappebeholder	: 17.750 kr.
Billigste kappebeholder	: 17.250 kr.

Her er anlæggene med kappebeholderne henholdsvis 1,4 og 4,2% billigere end anlægget med beholderen med indbygget varmevekslerspiral.

Beholdere med indbygget varmevekslerspiral egner sig således bedst både ydelsesmæssigt og økonomisk til solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

### 3.5. Konklusion på lagertyper

En beholder med indbygget varmevekslerspiral er i dag det bedst egnede vandlager til solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. På grund af den højere ydelse må denne beholder være 80-120% dyrere (for henholdsvis en 200 og 100 l's beholder) end en kappebeholder, og alligevel være mindst lige så rentabel som denne. Den høje procentsats skyldes, at prisen på beholderen kun udgør omkring 10% af anlæggenes samlede pris.

For de to undersøgte beholdervolumener (100 og 200 l) er den billigste kappebeholder kun 37 og 23% billigere end beholderen med indbygget varmevekslerspiral.

Selv om beholderen med indbygget varmevekslerspiral er bedst, er det ikke ensbetydende med, at den er færdigudviklet. Den beholderudformning, der er anvendt i beregningerne, findes ikke på markedet i dag. Højde/diameter forholdet er f.eks. mindre på de eksisterende beholdere, ligesom varmeveksleren ikke er placeret i bunden af beholderen, men rager et stykke op i denne - ofte halvt op.

Beholderen i beregningerne er ikke vanskeligere eller dyrere at fremstille end de eksisterende. Der kræves blot et marked for disse beholdere, før produktionsapparatet hos beholderfabrikanterne omstilles til at kunne fremstille beholdere af denne type.

# LAGERSTØRRELSER



#### 4. Lagerstørrelser

Som nævnt i indledningen, er solvarmeanlægs økonomi meget afhængig af det daglige forbrug, anlægget dimensioneres efter. Dette er især tilfældet ved små brugsvandsanlæg. Det er derfor vigtigt at kende varmtvandsforbruget, før man dimensionerer et anlæg.

Men efter hvilke kriterier skal der dimensioneres når varmtvandsforbruget er kendt. Det har længe været muligt, ved hjælp af EDB-programmer at optimere solvarmeanlæg. Det er dog de færreste, der har adgang til sådanne programmer. Denne del af rapporten går derfor en anden vej. Her opstilles der simple tommelfingerregler for, hvor stort lager og solfangerareal skal være, for at være økonomisk optimal.

Tommelfingerreglerne er fundet på basis af følsomhedsanalyser over forbrug, lagerstørrelser, solfangerareal og anlægspriser foretaget med et EDB-program. Tommelfingerreglerne giver derfor det samme resultat som EDB-optimeringen, hvad angår størrelsen af lager og solfanger som funktion af det daglige forbrug.

Til sidst foretages følsomhedsanalyser over forskellige ændringer i det daglige tappemønster. Dette er gjort for at klarlægge, om en ændring i forbrugsvanerne (med samme årlige gennemsnitlige daglige forbrug) vil ændre den optimale størrelse af solvarmeanlæggene, som tommelfingerreglerne foreskriver. Der er ligeledes foretaget undersøgelser af, om fe-rier i sommerperioden rykker ved den optimale anlægsstørrelse.



#### 4.1. Anlæg og beregningsmodel

Første del af rapporten konkluderede, at beholdere med en indbygget varmevekslerspiral er bedst egnet i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. I de følgende beregninger anvendes derfor denne beholdertype som varmelager.

##### 4.1.1. Anlæg

Anlægget er næsten magen til anlægget i første del af rapporten. Kun på få punkter (som nævnes nedenfor) adskiller det her anvendte anlæg sig fra de foregående. Der anvendes således også her solfangere med selektiv belægning. Det gøres, som før nævnt, ud fra den vurdering, at det er denne type solfangere, der vil præge markedet fremover.

##### 4.1.1.1 Lager

Lageret i de efterfølgende beregninger minder mere om de i dag eksisterende, end lageret i første del gjorde. Højde/diameter-forholdet er her 3, hvilket næsten svarer til beholderne på markedet i dag.

Beholderen er også her isoleret med 50 mm mineraluld. Varmeveksleren er placeret i bunden af beholderen. Ud fra en vurdering af den nødvendige varmeoverføring er der valgt en varmeveksler, der har en så stor varmeoverføringsevne, at denne ikke er bestemmende for anlæggenes ydelser.

$$H = 100 \left( 1 + \frac{T_1}{40} \right) \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (\text{se Appendix C})$$

hvor  $T_1$  er temperaturen i lageret [ $^\circ\text{C}$ ].

#### 4.1.1.2. Tappemønster

I disse beregninger er anvendt et andet tappemønster end i rapportens første:

kl.	andel af dagligt forbrug
8.00	30%
12.00	10%
18.00	30%
20.00	30%

#### 4.1.2. Beregningsmodel

Til beregning af nettoydelse fra anlæggene er anvendt en anden EDB-model end i rapportens første del. Denne model er udviklet specielt til beregning af ydelser fra solvarmeanlæg indeholdende beholdere med indbygget varmevekslerspiral. Modellen anvender også det danske referenceår TRY's data som input. Ligesom EDB-programmet BSOL er dette program udviklet på Lab. for Varmeisolering, DTH og giver med samme input samme resultat som BSOL.

## 4.2. Anlægsydelse

Der er lavet følsomhedsanalyser over tre forbrug: 100, 200 og 300 l/døgn. 300 l/døgn må anses for at være nær det maksimale forbrug for et individuelt anlæg.

Alt efter anlægsstørrelse varierer solfangerarealet fra 1 til 10 m<sup>2</sup> og beholderstørrelsen fra 50-800 l.

### 4.2.1. Nettoydelse

I fig. 9, 10 og 11 er afbildet nettoydelsen for de tre forbrug.

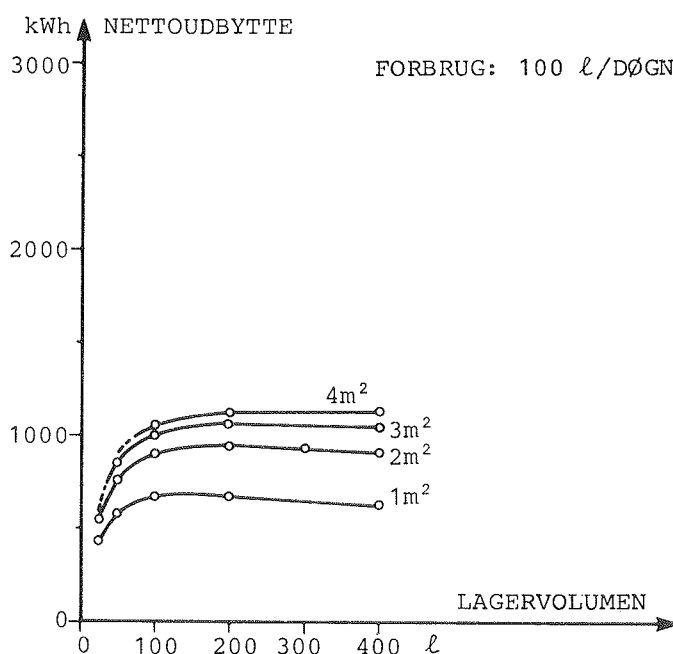


Fig. 9. Årlige nettoydelse for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 100 l ved 45 °C.

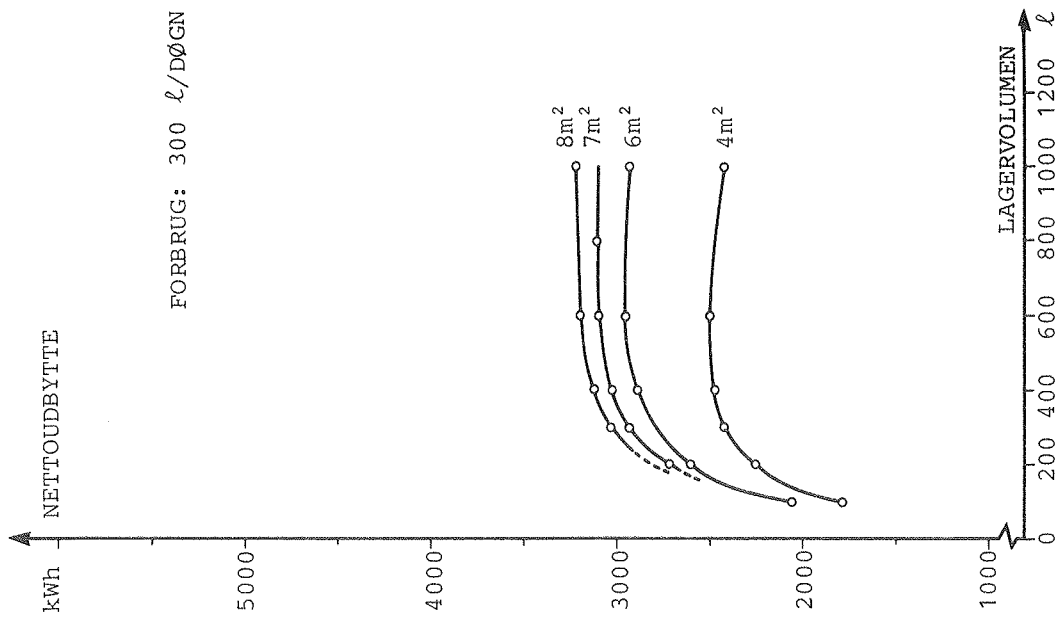


Fig. 11. Årlige nettoyielder for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 300 l ved 45 °C.

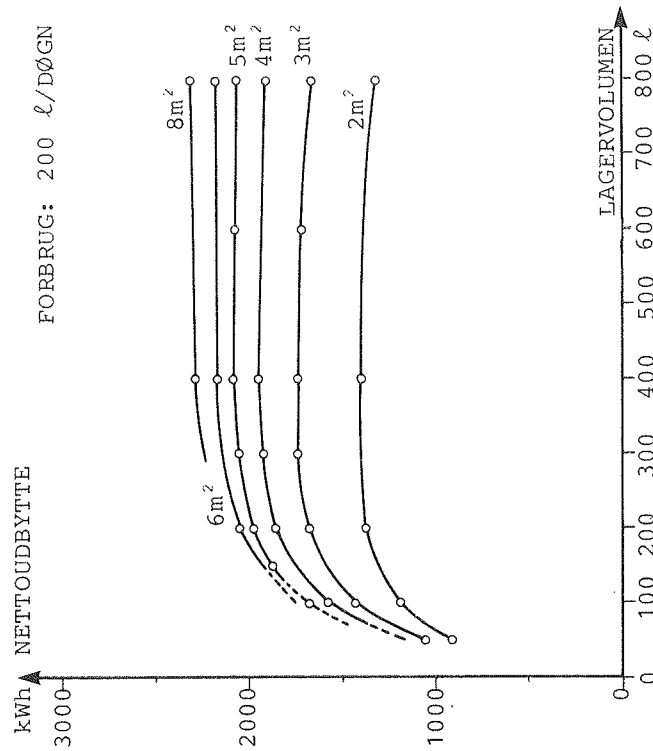


Fig. 10. Årlige nettoyielder for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C.

Som det ses af kurverne stiger nettoydelsen kraftigt med øget beholdervolumen, når lagerstørrelsen er væsentligt under det daglige forbrug. Dette er specielt tilfældet ved store solfangerarealer. Det skyldes, at den indfangede energi kun lagres i et lille volumen, temperaturen vil da stige kraftigt - her langt over 100 °C. Det betyder store varmetab og dermed mindre udbytte.

En del af kurverne falder, når beholdervolumenerne bliver meget store i forhold til solfangerarealet. Det sker, fordi volumenet, der skal opvarmes bliver så stort, at temperaturen ikke bliver så høj som ønsket. Det er derfor sværere at få glæde af energien. Dette er endnu tydeligere ved totaludbyttet, idet det sjældent er muligt at slukke kedlen, da brugsvandstemperaturen er under den ønskede.

De stiplede linier angiver anlæg, hvor den maksimale temperatur af solfangervæsken overstiger 120 °C. Det sker i anlæg med for store solfangerarealer i forhold til beholdervolumenet. Som det fremgår af Appendix D, vil den anvendte solfangervæske (40 vgt% propylenglycol) begynde at nedbrydes ved temperaturer på 120 °C over længere perioder. På grund af det store tryk i beholderen, vil brugsvandet først koge ved temperaturer, der er højere end 120 °C. Der vil dog stadig være problemer med så varmt vand - specielt skoldningsfare. Dette problem kan løses ved installation af en skoldningssikring på den varme brugsvandsledning.

#### 4.2.2. Totalydelser

På fig. 12, 13 og 14 er afbildet totaludbyttet for de tre forbrug beregnet med en moderne kedel som back-up-enhed. Fig. 15 og 16 viser totaludbyttet beregnet med henholdsvis en kondenserende og en ældre kedel som back-up (se Appendix A). Totaludbyttet er beregnet som beskrevet under afsnit 3.3. Ved små beholdervolumener "knækker" nogle af kurverne, det skyldes, at sommerdækningsgraden ved knækket kommer under 75%. Ifølge den

empiriske formel s. 22 kan fyret da ikke slukkes på noget tidspunkt i løbet af sommeren. Hvor knækket i virkeligheden vil ligge er helt afhængig af brugernes krav til temperaturen af det varme vand.

Ved helt små solfangerarealer vil det heller ikke være muligt at slukke fyret (se f.eks. 100 l/døgn og 1 m<sup>2</sup>). Som det ses af kurverne, er det muligheden for at slukke kedlen om sommeren, der betyder mest for besparelsen.

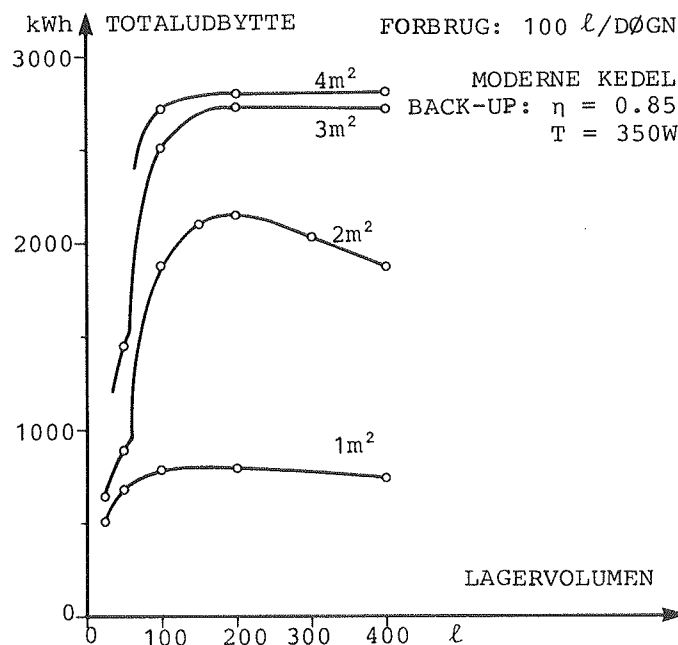


Fig. 12. Årlige totalydelser for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 100 l ved 45 °C, og en moderne kedel som back-up.

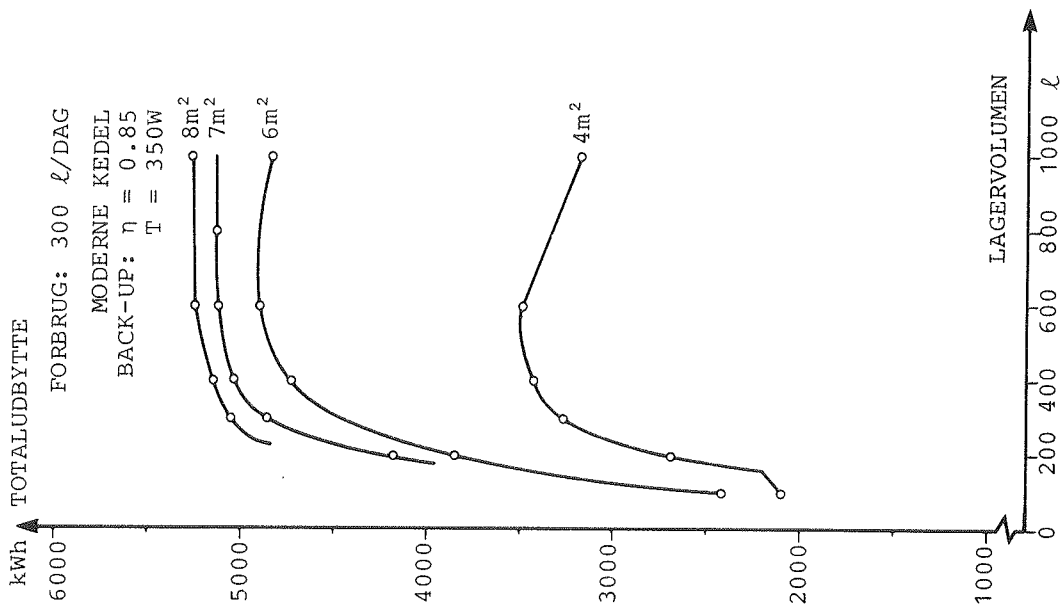


Fig. 14. Årlige totalydelser for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 300 l ved 45 °C, og en moderne kedel som back-up.

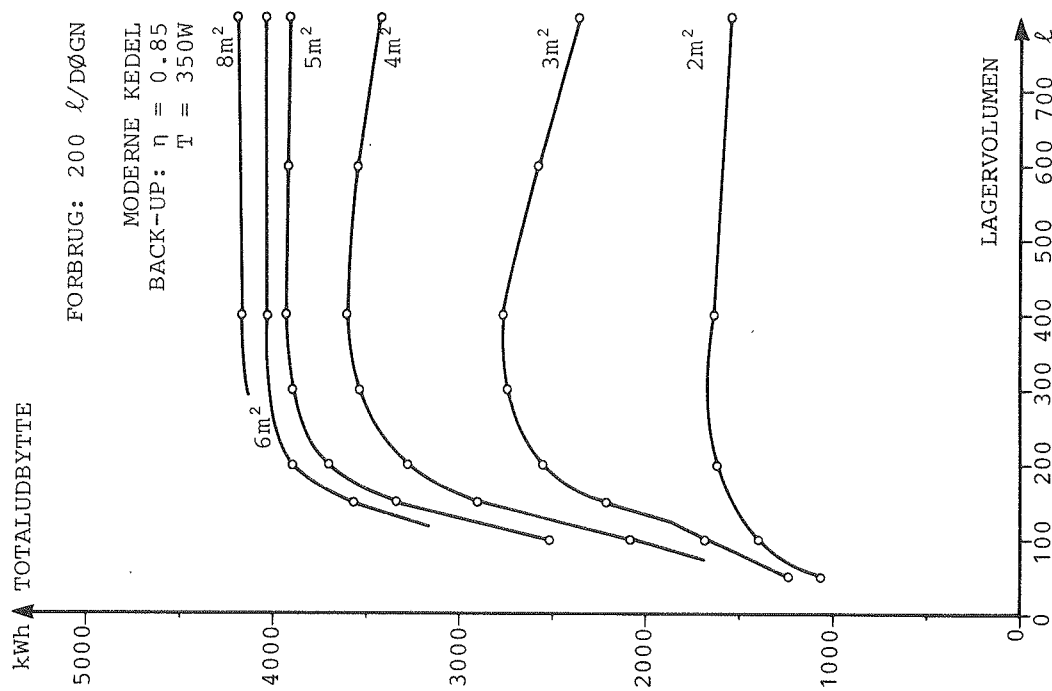


Fig. 13. Årlige totalydelser for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C, og en moderne kedel som back-up.

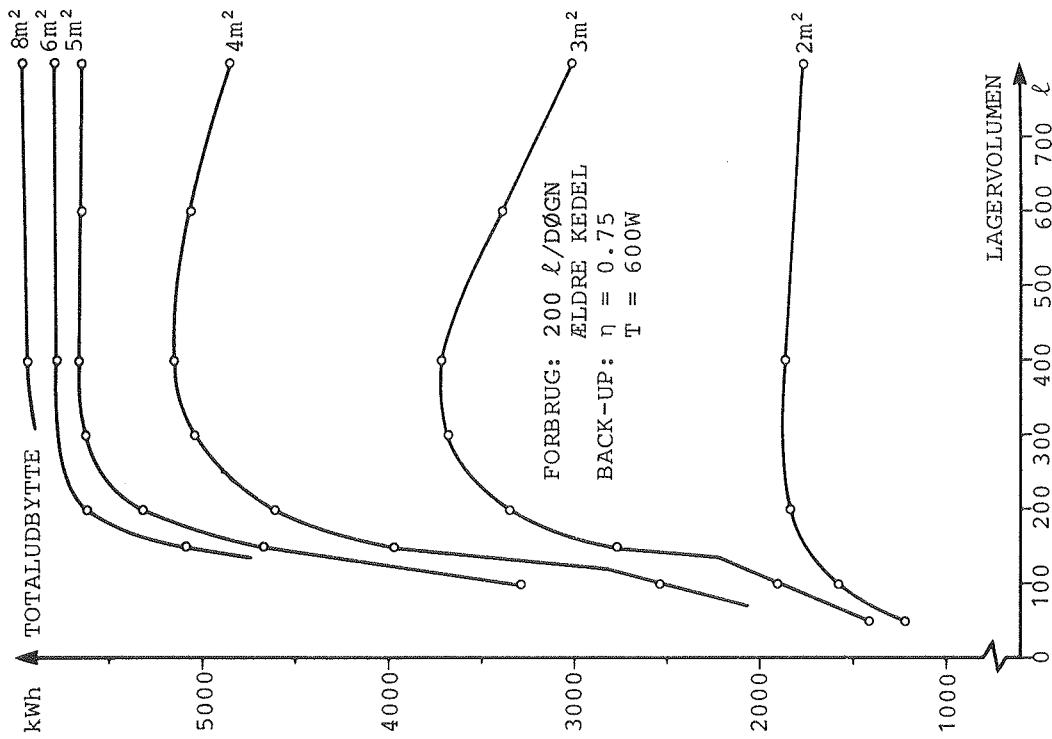


Fig. 16. Årlige totalydelser for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C, og en ældre kedel som back-up.

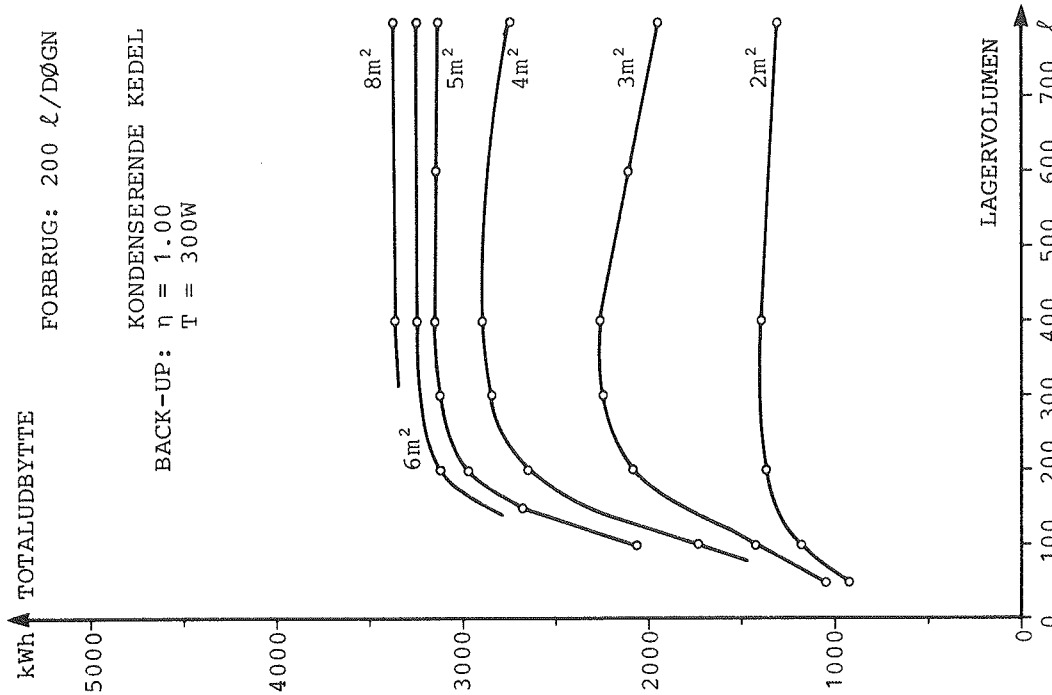


Fig. 15. Årlige totalydelser for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C, og en kondenserende kedel som back-up.



#### 4.3. Priser på anlæg

I afsnit 3.4 blev prisen på et 4 m<sup>2</sup> solvarmeanlæg med 200 l lager fastlagt til 25.000,- kr. inkl. moms og montage. Ligeledes blev solfangerprisen fastsat til 2.000,- kr. inkl. moms. Disse tal vil også blive benyttet i de følgende beregninger.

Priserne på beholdere fra afsnit 3.4 kan ikke anvendes her. Disse priser indeholdt ikke prisen for isolering af lageret. Den var inkluderet i prisen på resten af anlægget. Dette kunne benyttes i afsnit 3.4, fordi beholderne havde samme størrelse. Men her varierer beholderstørrelsen, og dermed også prisen på isoleringsarbejdet. I Appendix B er fundet en prisfunktion for isolerede beholdere med indbygget varmevekslerspiral.

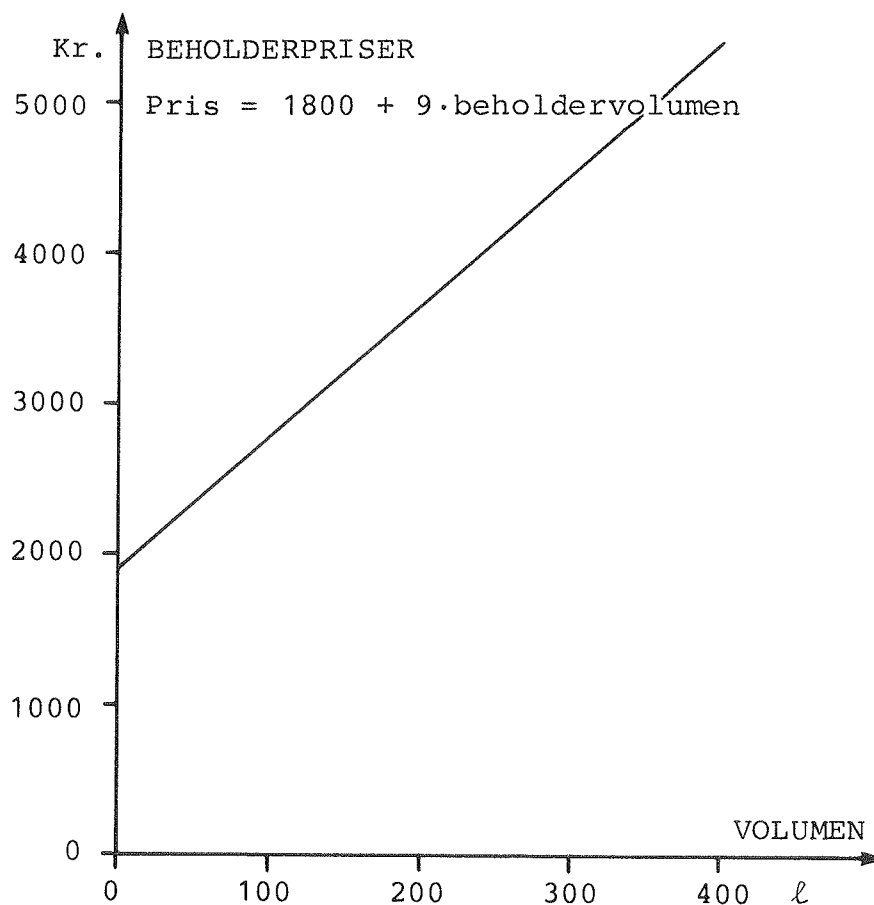


Fig. 17. Beholderpriser (inkl. isolering og moms) som funktion af beholderstørrelsen.

Prisen på et solvarmeanlæg inkl. moms og montage kan derfor udtrykkes som:

$$P = 13.400 + 2.000 \times AR + 9 \times V \quad [\text{kr.}]$$

hvor AR er solfangerarealet [ $\text{m}^2$ ],

V er lagervolumenet [l].

#### 4.4. Økonomisk optimering

Der findes mange måder, hvorpå man kan vurdere forskellige investeringers økonomi i forhold til hinanden: Internrente, nuværdi, kapitalværdi o.s.v. Her er valgt at bruge et simpelt kriterium - forholdet mellem investeringen i kr. og den totale årlig ydelse i kWh. D.v.s. hvad koster det at installere en årlig kWh.

Et sådant simpelt kriterium vil normalt give et fejlagtigt billede af investeringernes rangorden. Men da det her drejer sig om næsten ens anlæg med samme indtjeningsmønster og levetider, kan kriteriet anvendes.

Prisen pr. installeret årlig kWh er i fig. 18, 19 og 20 afbildet for de tre forbrug. Back-up-enheden er her en moderne kedel. I fig. 21 og 22 er afbildet et forbrug på 200 l med henholdsvis en kondenserende og en ældre kedel som back-up.

Der optimeres efter lavest mulig installationspris pr. årlig kWh. D.v.s. det punkt på kurverne, der er lavest. I fig. 19 og 20 er der ikke indtegnet henholdsvis 4 og 6 m<sup>2</sup> samt 6 og 8 m<sup>2</sup>. Det skyldes, at disse kurver ligger næsten oven i henholdsvis 5 m<sup>2</sup> og 7 m<sup>2</sup>, således at afbildningen ville blive uoverskuelig, hvis de var medtaget. 5 m<sup>2</sup> og 7 m<sup>2</sup> er dog de to kurver der ligger lavest.

Det ses, at de laveste punkter (med o på kurverne), kan udtrykkes meget simpelt:

Den optimale lagerstørrelse findes ud fra det gennemsnitlige daglige forbrug ved at lægge 50 l til dette forbrug i liter ved 45 °C.

Det optimale solfangerareal er 1 m<sup>2</sup> for hver 50 l lager (for solfangere med selektiv belægning).

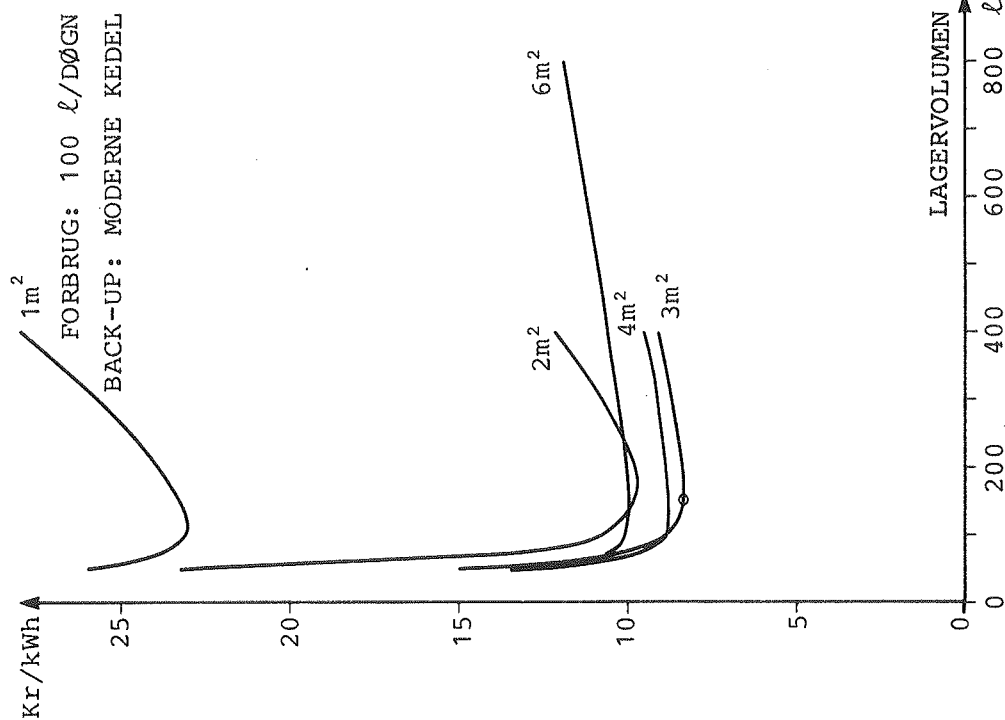


Fig. 18. Forholdet mellem investering [kr] og årlige totalydelse [kWh] for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 100 l ved 45 °C, og en moderne kedel som back-up.

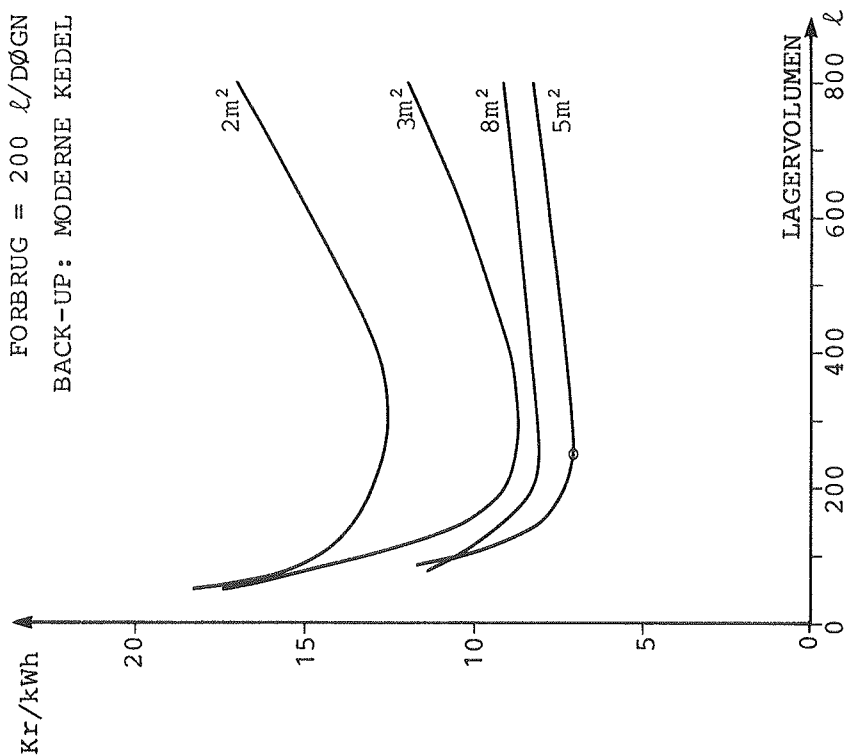


Fig. 19. Forholdet mellem investering [kr] og årlige totalydelse [kWh] for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C, og en moderne kedel som back-up.

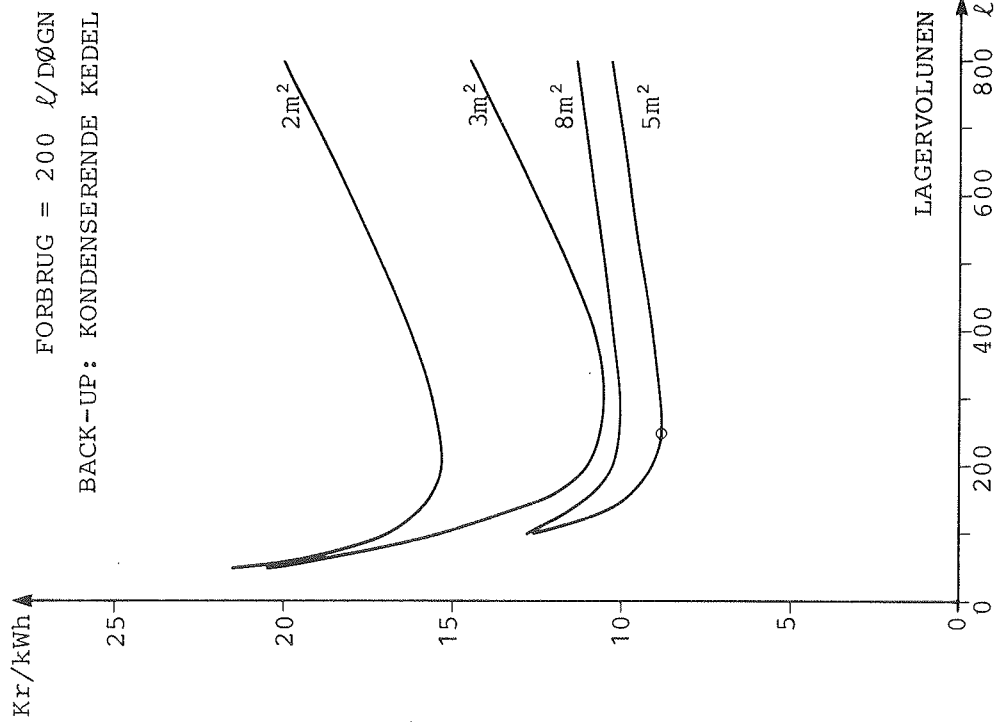


Fig. 21. Forholdet mellem investering [kr] og årlige totalydelse [kWh] for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C, og en kondenserende kedel som back-up.

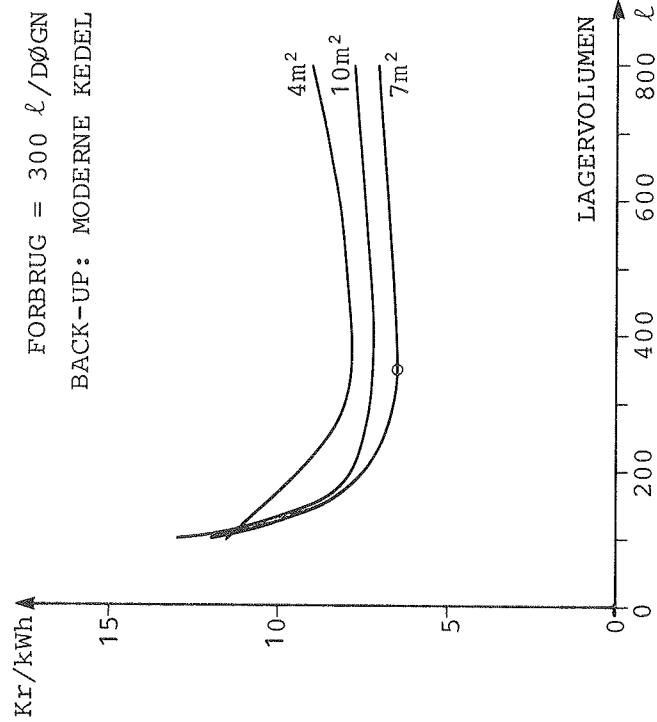


Fig. 20. Forholdet mellem investering [kr] og årlige totalydelse [kWh] for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 300 l ved 45 °C, og en moderne kedel som back-up.

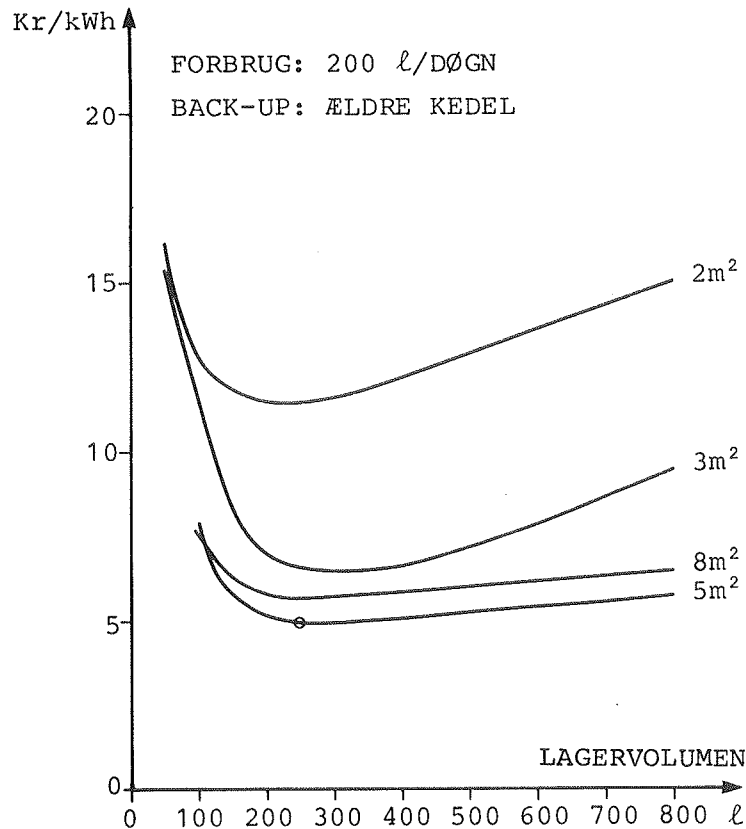


Fig. 22. Forholdet mellem investering [kr] og årlige totalydelse [kWh] for solvarmeanlæg med et dagligt varmtvandsforbrug på 200 l ved 45 °C, og en ældre kedel som back-up.

eller:  $V = D + 50 \text{ l}$

$$AR = \frac{V}{50}$$

hvor  $D$  er det gennemsnitlige daglige forbrug i liter ved 45 °C,  
 $V$  er lagerets volumen [l]  
 $AR$  er solfangerarealet [m²].

Kurverne viser samtidigt, at hvis der er tvivl om det gennemsnitlige daglige forbrug, skal der hellere overdimensioneres lidt end underdimensioneres. Det gælder specielt for anlæg til forbrug større end 200 l/døgn. For anlæg til forbrug lige omkring 100 l/døgn er det vigtigere at have det rigtige dimensioneringsgrundlag, for at kunne fastlægge den nødvendige

anlægsstørrelse. Økonomien er dog mest afhængig af solfangerarealet.

En tredje ting kurverne viser er, at det er billigere at installere en kWh, jo større anlægget er. Et anlæg til forbrug på 200 l/døgn er således 13% billigere pr. energienhed, end et anlæg til 100 l/døgn. Anlæg til et forbrug på 300 l/døgn er 21% billigere.

Ovenstående tommelfingerregler skal tages med et gran salt. De er udviklet for lagre og solfangre, hvis størrelse kan ændres vilkårligt. I praksis vil det ofte ikke være muligt at opnå præcis den lagerstørrelse eller det solfangerareal, tommelfingerreglerne foreskriver. Hvis de faktiske størrelser afviger for meget fra tommelfingerreglernes størrelse, må man ud fra de faktiske oplysninger og kurverne i denne rapport skønne sig til, om lager og solfanger bør henholdsvis over- eller underdimensioneres for at give den bedste rentabilitet.

#### 4.5. Ændringer i tappemønsteret

I forrige afsnit blev der fundet tommelfingerregler for det økonomiske optimum ved eet specielt tappemønster. Er disse tommelfingerregler uafhængige af ændringer i forbrugsvaner (med samme årlige gennemsnitlige daglige tapning), eller er de knyttet til forbrugsmønsteret? Det giver det følgende svar på.

Der er valgt at se på følgende ændringer i tappemønsteret:

- 1) større morgenforbrug,
- 2) skiftende stort og lille forbrug hver anden dag,
- 3) stort week-end forbrug,
- 4) mindre sommerforbrug.

Disse følsomhedsanalyser er alle foretaget for et anlæg på 4 m<sup>2</sup> med en lagertank på 200 l. Det gennemsnitlige dagsforbrug er 200 l. Back-up-enheden er en moderne kedel (andre back-up-systemer viser samme tendens).

- 1) Følsomhedsanalysen over større morgenforbrug har følgende ændringer i det daglige tappemønster:

kl.	"uændret"	stort morgenforbrug
6.00	0	30%
8.00	30%	30%
12.00	10%	10%
18.00	30%	0
20.00	30%	30%

Resultatet af følsomhedsanalysen er afbildet på fig. 23. Som det ses af figuren, bliver økonomien lidt dårligere ved denne ændring i tappemønsteret. Det var også forventet, idet der her ligger et større forbrug, hvor solfangeren ikke kan nå at lade op. Samtidigt tappes der mest først på morgenen, hvor lageret har tabt varme i løbet af natten.



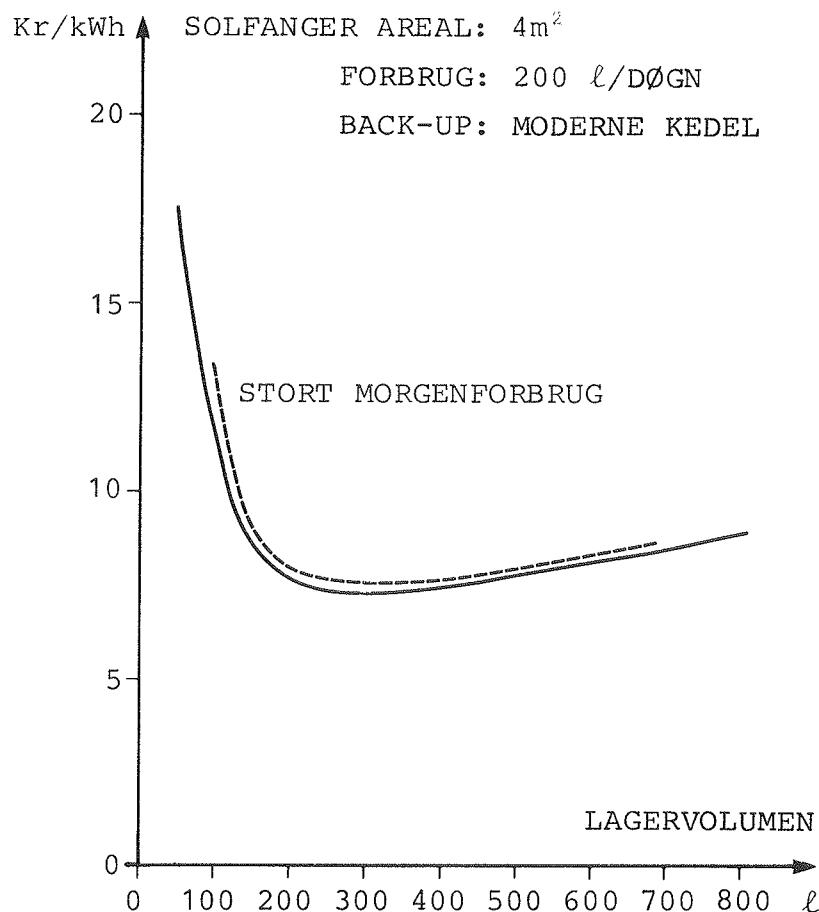


Fig. 23. Følsomhedsanalyse over skift i det daglige tappemønster  
—— uændret tappemønster,  
----- stort morgenforbrug.

Men kurverne viser også, at den optimale anlægsstørrelse ikke ændres.

- 2) Varieres forbruget på en sådan måde, at der hver anden dag tappes hhv. 130 og 270 l, fås næsten den samme ydelse som når der tappes den samme mængde hver dag. Der er for det meste under 1% afvigelse mellem værdierne for de to tappemønstre.

Lageret er altså i stand til at gemme størstedelen af energien fra den ene dag til den anden. Denne følsomhedsanalyse rækker heller ikke ved tommelfingerreglerne.

- 3) Ved stort week-end forbrug regnes der med, at der de fem hverdage tappes 160 l/døgn og i week-enden 300 l/døgn. Resultatet er afbildet i fig. 24.

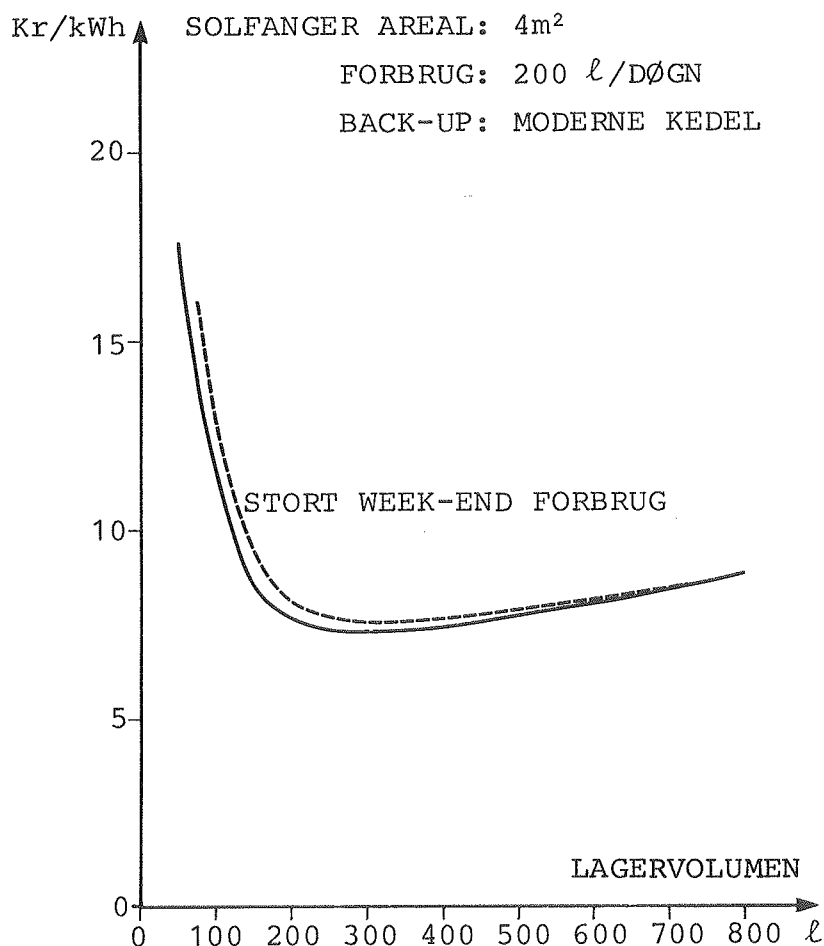


Fig. 24. Følsomhedsanalyse over skift i det ugentlige tappemønster

———— uændret tappemønster,  
----- stort week-end-forbrug.

Figuren viser, at jo større beholderen er, jo mindre betyder ændringen i tappemønsteret. Det skyldes, at med større beholdere kan energien lagres længere.

Heller ikke denne følsomhedsanalyse giver anledning til ændringer i tommelfingerreglerne.

- 4) I afsnit 4.2 blev det antaget, at tappemængderne var ligeligt fordelt over året. For at undersøge, hvad fordelingen over året betyder, er der foretaget en følsomhedsanalyse, hvor tappemængden svinger som en cosinus-funktion (stadig med samme gennemsnitlige daglige tapning over året som den ligeligt fordelte tapning). Svingningen har en frekvens på et år og en amplitude på 60 l/døgn. Den største tapning finder sted 1. januar med 230 l. Følsomhedsanalysen er afbildet på fig. 25. Når forbruget om sommeren falder, burde det totale årlige udbytte også falde. Det er om sommeren, der er størst mulighed for at opsamle energi. Men følsomhedsanalysen viser noget andet.

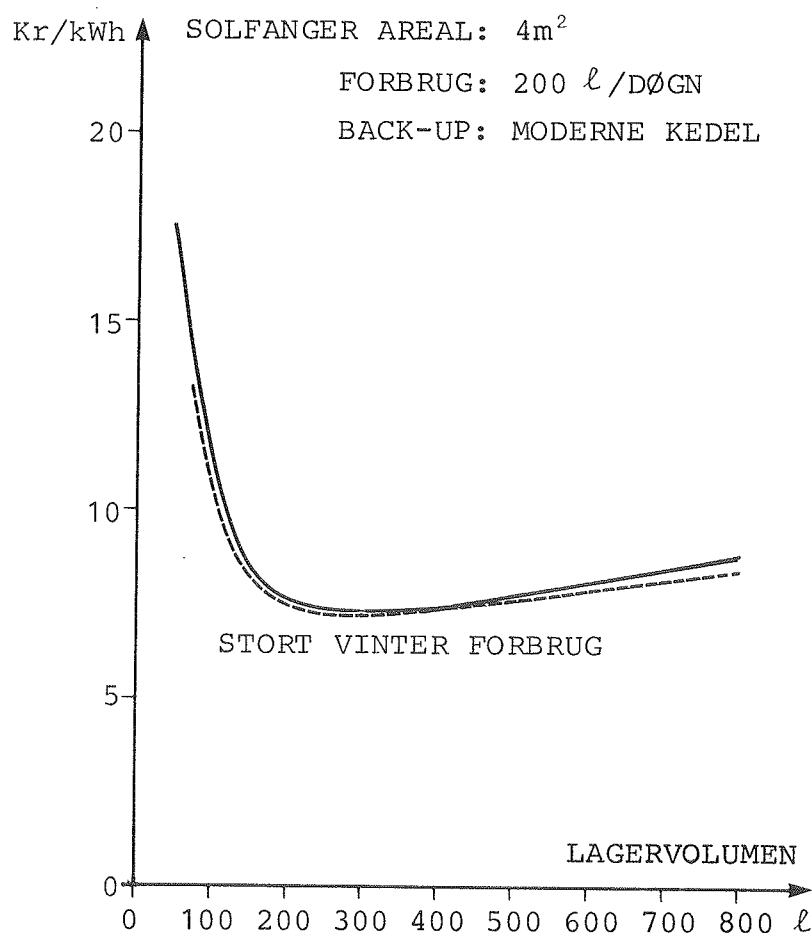


Fig. 25. Følsomhedsanalyse over skift i det årlige tappemønster  
 — uændret tappemønster,  
 ----- stort vinterforbrug.

Nettoudbyttet fra solfangeren for et anlæg med et lager på 200 l falder med ca. 5%. Men da dækningsgraden om sommeren stiger fra 90 til 92%, kan oliefyret slukkes i længere tid. Det sparede tomgangstab mere end opvejer faldet i nettoudbytte.

De to kurver mødes ved et lagervolumen på 400 l. I dette punkt opvejer tabet i nettoydelse den øgede besparelse i tomgangstab. Efter 400 l begynder sommerdækningsgraden at falde (fordi der ofte ikke opnås de ønskede tappetemperaturer). Sommerdækningsgraden falder dog langsomt ved det svingende årlige forbrug.

Af fig. 25 fremgår det, at solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning skal dimensioneres efter det daglige sommerforbrug. Anlæggene skal dimensioneres således, at der opnås en så stor sommerdækningsgrad, at man undlader at tænde for fyret i sommermånederne.

Figuren viser samtidigt, at svingningen i forbruget over året ikke ændrer ved anlæggenes optimale størrelse. Tommelfingerreglerne ændres derfor heller ikke.

#### 4.5.1. Ferier

Ferier afholdes for det meste i sommerperioden. Hvis brugerne af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning tager på ferie om sommeren, sparer de ikke tomgangstab i denne periode. Fyret kunne under alle omstændigheder slukkes. Samtidigt falder forbruget i perioden med størst dækningsgrad. I fig. 26 er afbildet følsomhedsanalyser over to forskellige ferietyper: 3 uger i juli (industriferie) og 2 uger i hver ende af sommerperioden (ialt 4 uger - de første 2 uger i maj og 2 uger sidst i september).

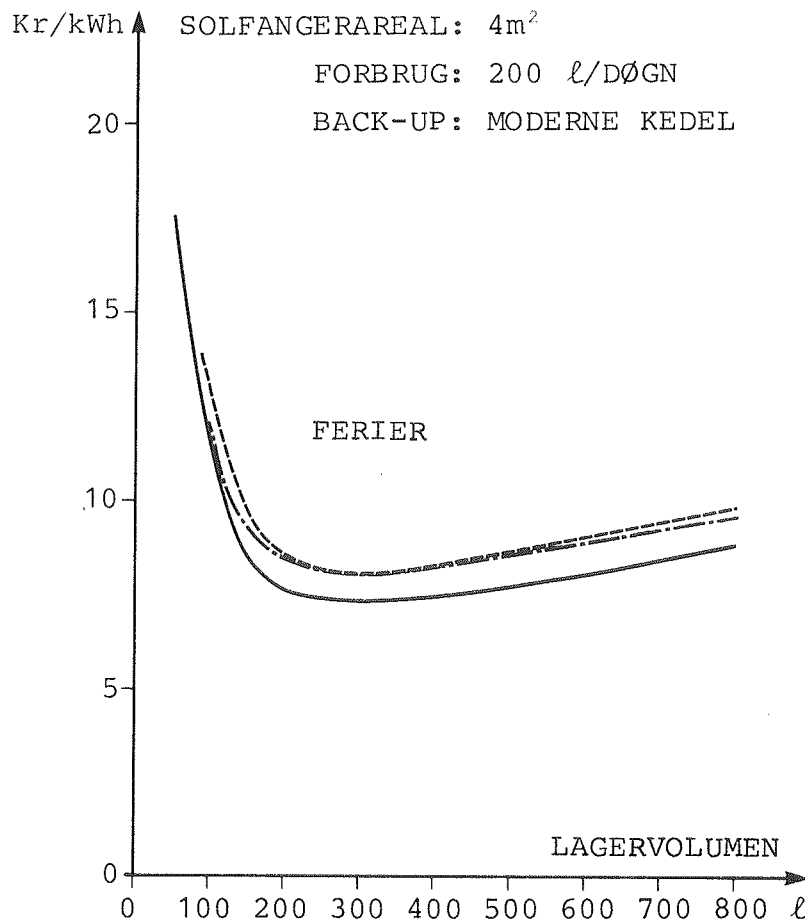


Fig. 26. Følsomhedsanalyse over sommerferieners indflyselse på anlægsstørrelsen

— uændret tappemønster,  
----- industriferie,  
-.-.-.- spredt ferie.

Som det ses af figuren bliver økonomien i anlægget lidt dårligere, men den optimale størrelse ændres ikke. Økonomien ved at holde "spredt" ferie er bedre end ved industriferie, for lagerstørrelser større end 300 l og mindre end 200 l. Denne forskel skyldes først og fremmest, at juli-udbyttet betyder mere for sommerdækningsgraden end maj- og september-udbyttet, da det er i juni, juli og august de største energimængder kan opsamles.

Ændringer i forbrugsvanerne ændrer nok ved anlæggenes rentabilitet, men ikke ved tommelfingerreglerne til dimensionering af optimale anlægsstørrelser.

Målinger af forbrugsvariationers indflydelse på aktuelle anlæg i ref. (14) har samme konklusion: De optimale anlægsstørrelser er uafhængig af forbrugsmønsteret.

#### 4.6. Rentabiliteten i solvarmeanlæg

I de foregående afsnit er der både fundet ydelser og priser på solvarmeanlæg til brugsvandsopvarming. For tre forbrugsstørrelser er der desuden fundet de økonomisk mest optimale anlægsstørrelser. Disse størrelser siger dog ikke noget om rentabiliteten for brugeren. I dette afsnit undersøges derfor rentabiliteten for de tre anlægsstørrelser ved hjælp af de fundne ydelser og priser.

##### 4.6.1. Økonomiske forudsætninger

Økonomien for investeringer kan som før nævnt beregnes på flere forskellige måder. Her er valgt at se på kapitalværdien i forhold til anlægsprisen. Kapitalværdien er fremtidige indtægter og udgifter tilbagediskonteret til anlægsåret. Kapitalværdien er altså den pris, anlægget maksimalt må koste for at være rentabel.

Tabel 3 indeholder de økonomiske forudsætninger for de følgende økonomiberegninger.

Gasoliepris	0,35 kr/kWh	1) og 2)
El-pris	0,725 "	2)
Prisstigninger/inflation	8% p.a.	3)
Energiprisstigninger	10% p.a.	4)
Nominel kalkulationsrente	16% p.a.	5)
Marginal trækprocent	55%	6)

- Tabel 3.
- 1) Der regnes med en nedre brændværdi på 10.000 kcal/kg = 9,77 kWh/l.
  - 2) Priserne er fra 15. sept. 1983 og inkl. moms. El-prisen er for NESAs forsyningsområde.
  - 3) Tallet stammer fra ref. (15) og bygger på Det Økonomiske Råds sekretariat.
  - 4) 2% i realprisstigning er Energiministeriets skøn ref. (16).
  - 5) Opringning til Handelsbanken uge 40, 1983. Banken beregner sig ud over renten en provision på 2% af det lånte beløb.
  - 6) Der er her anvendt en mindre marginaltrækprocent end mange har. Ved højere marginale trækprocenter øges rentabiliteten.

Man regner i dag med, at solvarmeanlæg kan holde i 15 til 20 år. I tabel 4 er der listet nuværdifaktorer for henholdsvis 15 og 20 år. Nuværdifaktorerne bruges til at tilbagediskontere fremtidige indtægter og udgifter til anlægsåret.

nuværdifaktor	15 år	20 år
Energiprisstigning $\alpha_{\overline{a}r} \times x$	18.55	26.51
Andre prisstigninger $\alpha_{\overline{a}r} \times$	15.93	21.64

Tabel 4. Nuværdifaktorerne for henholdsvis 15 og 20 år.

Kapitalværdien kan da beregnes ved hjælp af følgende formel:

$$K = (Q_s \cdot P_o^0 - Q_{el} \cdot P_{el}^0) \alpha_{\overline{a}r} \times x - v_o \alpha_{\overline{a}r} \times$$

hvor  $Q_s$  er det årlige totale udbytte fra solvarmeanlægget, [kWh],  
 $P_o^0$  er olieprisen i år 0 [kr],  
 $Q_{el}$  er det årlige el-forbrug til pumpen, [kWh],  
 $P_{el}^0$  er el-prisen i år 0 [kr],  
 $\alpha_{\overline{a}r} \times x$  er nuværdifaktoren for energiprisen med en levetid på år (fra tabel 4),  
 $v_o$  er vedligeholdelsesomkostningerne i år 0 [kr],  
 $\alpha_{\overline{a}r} \times$  er nuværdifaktoren for andre priser med en levetid på år (fra tabel 4).

Den årlige vedligeholdelsesudgift antages at være 20 kr/år inkl. moms (ref.(17)).



#### 4.6.2. Rentabiliteten af anlæggene

Tabel 5 viser, hvor stor en brøkdel kapitalværdien udgør af anlægsprisen.

Anlæg	levetid år	Back-up-enhed		
		moderne kedel	kondense- rende kedel	ældre kedel
3 m <sup>2</sup> solfang 150 l/døgn 100 l/døgn	15 20	0,56 0,80	0,45 0,64	0,71 1,03
5 m <sup>2</sup> solfang 250 l/døgn 200 l/døgn	15 20	0,79 1,13	0,61 0,87	1,18 1,69
7 m <sup>2</sup> solfang 350 l/døgn 300 l/døgn	15 20	0,86 1,24	0,70 0,98	1,25 1,79

Tabel 5. Forholdet mellem kapitalværdien og anlægsprisen. Anlægsprisen er uden statstilskud. Når tabelværdien er over 1, kan investeringen betale sig. Hvis tabelværdien er under 1, skal prisen på anlægget formindskes med  $(1 - \text{tabelværdien}) \times 100\%$ , før investeringen er rentabel.

Tabel 5 viser, at hvis solvarmeanlæg holder mellem 15 og 20 år, vil de være rentable, hvis prisen på anlæggene reduceres med mellem 0 og 30% (statstilskud ikke medregnet) alt efter størrelse på anlæg og back-up-enhed - selv med en lille marginal trækprocent (55%).

Tabellen viser også, at solvarmeanlæg med den her benyttede udformning sammen med kondenserende kedler umiddelbart vil få svært ved at blive rentable. I dag er der kun installeret få

kondenserende kedler. Den gennemsnitlige kedel ligger et sted mellem en ældre og en moderne kedel. Kondenserende kedler bliver installeret i forbindelse med nybyggeri eller renovering af oprindelige opvarmningsanlæg. I disse tilfælde er det i høj grad muligt at integrere solvarmeanlægget med det primære opvarmningssystem. Både solfanger og kedel kan f.eks. køre på den samme varmtvandsbeholder - en såkaldt kombibeholder. På den måde kan prisen reduceres så meget, at en investering i solvarmeanlæg er rentabel (ref. (18)).

Tabel 5 viser det samme som en sammenligning mellem fig. 18, 19 og 20. Rentabiliteten stiger med størrelsen på anlæggene, forudsat at anlæg og forbrug passer sammen.

#### 4.7. Konklusion på lagerstørrelser

Denne del af rapporten viser, at en ydelsesmæssig og økonomisk optimering kan ske fra et meget simpelt sæt af tommelfingerregler:

Lagerstørrelse = dagligt forbrug i liter ved 45 °C + 50 l

$$\text{Solfangerareal} = \frac{\text{lagerstørrelse i liter}}{50} \text{ m}^2$$

Der forudsættes i disse tommelfingerregler en solfanger med en effektivitet svarende til de solfangere med selektiv belægning, der i dag markedsføres i Danmark. Små solvarmeanlæg (med et forbrug omkring 100 l/døgn) skal optimeres omhyggeligt for at opnå den bedst mulige rentabilitet.

Det er dog meget svært at få en korrekt værdi for forbruget. Målinger vil f.eks. i sig selv være med til at ændre forbruget. Desuden ændres denne værdi let, bl.a. ved ændring i vaskevaner, familieforøgelse, fraflytning af unge, ejerskift o.s.v. Så det tilrådes, at solvarmeanlæggene ikke optimeres for knebent i forhold til det aktuelle forbrug, men at der tages hensyn til en evt. udvikling af forbruget.

Ved større anlæg (> 200 l/døgn) er rentabiliteten knap så afhængig af forbruget. Det er her bedre at overdimensionere lidt, hvis der er tvivl om det faktiske forbrug. Undersøgelserne viser desuden, at rentabiliteten vokser med anlægsstørrelsen, forudsat at forbruget og anlægsstørrelsen passer sammen.

Følsomhedsanalyser viser, at den optimale anlægsstørrelse - og dermed tommelfingerreglerne - er uafhængige af ændringer i tappemønstre. Det forudsætter dog, at den gennemsnitlige daglige tappemængde over året er benyttet ved dimensioneringen af anlæggene.

Prisen på små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarming skal reduceres med mellem 0 og 30 % (uden statstilskud), før anlæggene bliver rentable for brugere med lille trækprocent. Anlæg til dækning af store forbrug eller i forbindelse med en dårlig back-up-enhed er allerede i dag rentable (uden statstilskud).



# BILAG



## Appendix A

### Back-up-enheder

Denne rapport omhandler kun solvarmeanlæg i kombination med olie- eller gasfyrede kedler.

Hvis man vil beregne den mængde energi, en traditionel kedel skal have indfyret for at yde samme energimængde som et solvarmeanlæg, er det nødvendigt at kende kedlens virkningsgrad og tomgangstab. Som det fremgår af fig. 27, er der mange kombinationer af disse to størrelser.

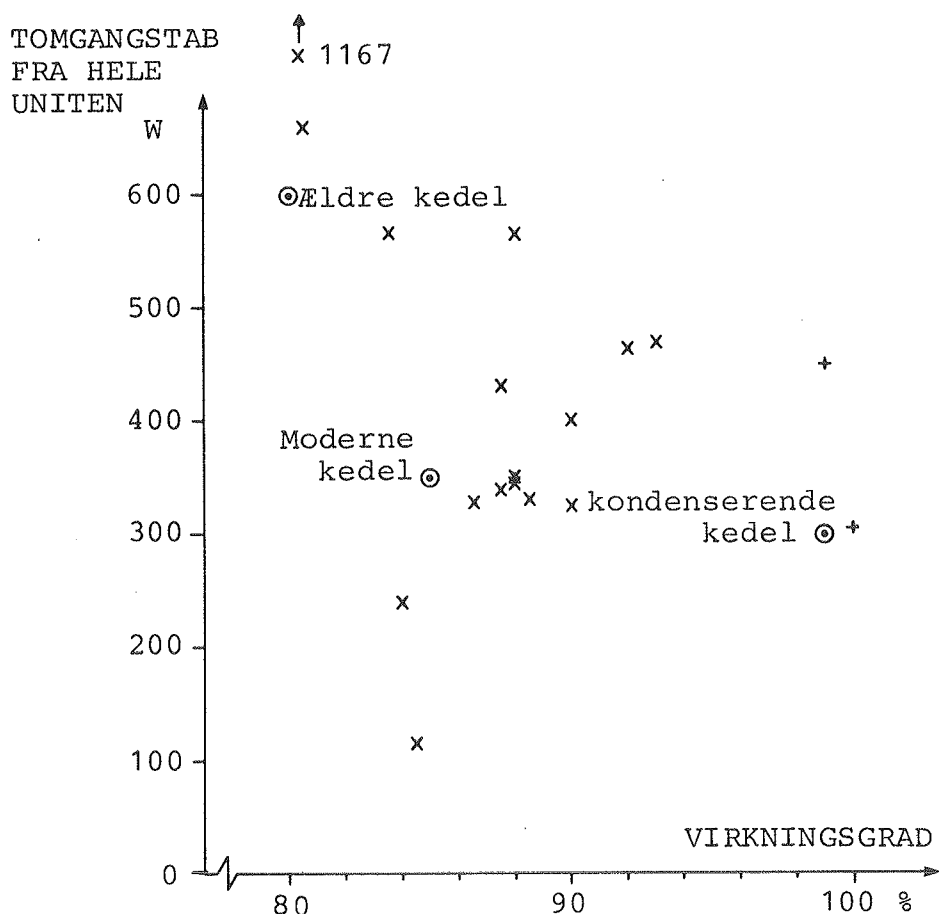


Fig. 27. Forskellige kedlers virkningsgrad og tomgangstab (ref. (19))

- x almindelige kedler,
- + kondenserende kedler og
- o valgte kedler.



I beregningerne af solvarmeanlæggenes totale årlige ydelser er der valgt at anvendte tre typer kedler for at vise spektret: En moderne kedel, en kondenserende kedel og en ældre kedel. De tre valgte kedler er indtegnet på fig. 27 sammen med måleresultater fra eksisterende kedler.

Kedeltype	Virkningsgrad %	Tomgangstab W
Moderne kedel	85	350
Kondenserende kedel	100	300
Ældre kedel	80	600

Tabel 6. De benyttede kedlers virkningsgrad og tomgangstab.

## Appendix B

### Priser på beholdere

Prisfunktioner for beholdere med indbygget varmevekslerspiral er dannet på baggrund af priser fra beholderfirmaet Metro. Disse beholdere vurderes dels at være de bedst egnede, dels at være billigst. Ud fra katalogprisen inkl. moms dannedes prisfunktionen i fig. 28. Denne prisfunktion stemmer overens med andre undersøgelser (f.eks. ref. (20)).

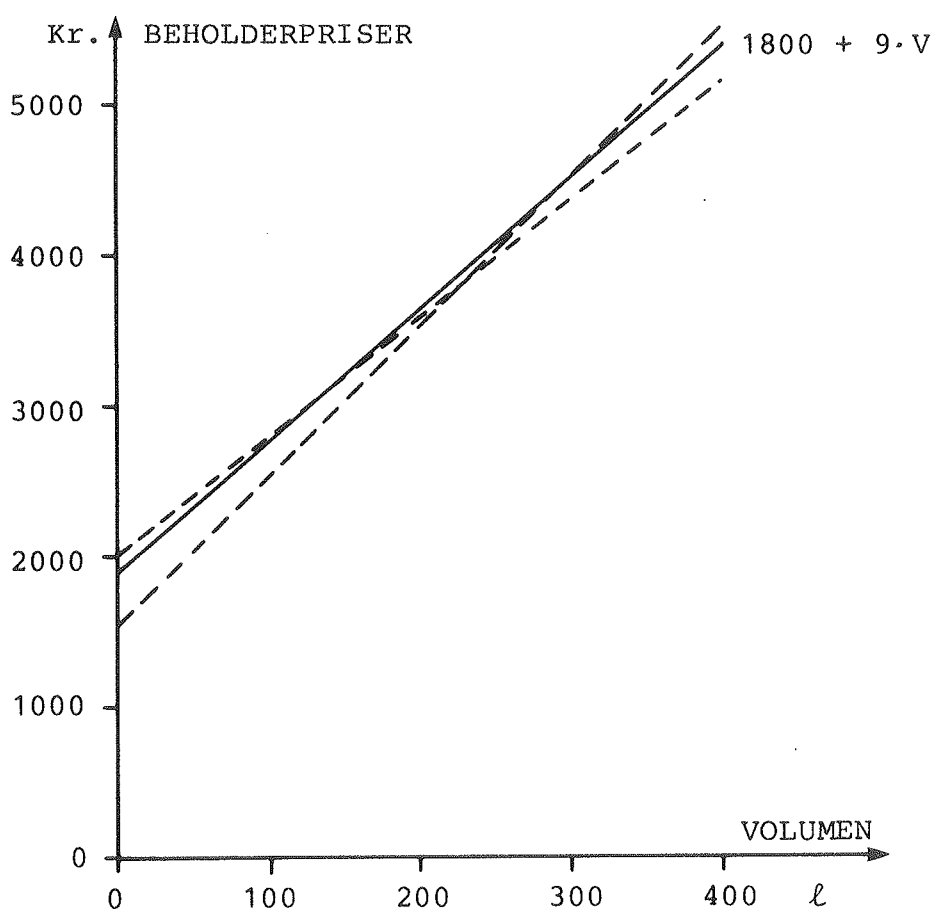


Fig. 28. Prisfunktion for beholdere med indbygget varmevekslerspiral (inkl. moms og isolering) afhængig af beholderstørrelsen  
----- faktiske priser,  
———— valgt prisfunktion.

Til vurderingen mellem forskellige lagertyper er brug for prisfunktioner, der ikke medregner isoleringsomkostningerne.

Prisfunktionen for beholderen med indbygget varmevekslerspiral er dannet dels på baggrund af to overslag fra fabrikanten, (med og uden isolering, - overslaget med isolering er fratrasket isoleringsomkostningerne (beregnet ved hjælp af ref. (21))), dels ved at fratrække isoleringsomkostninger (beregnet ved hjælp af ref. (21)) fra katalogpriserne.

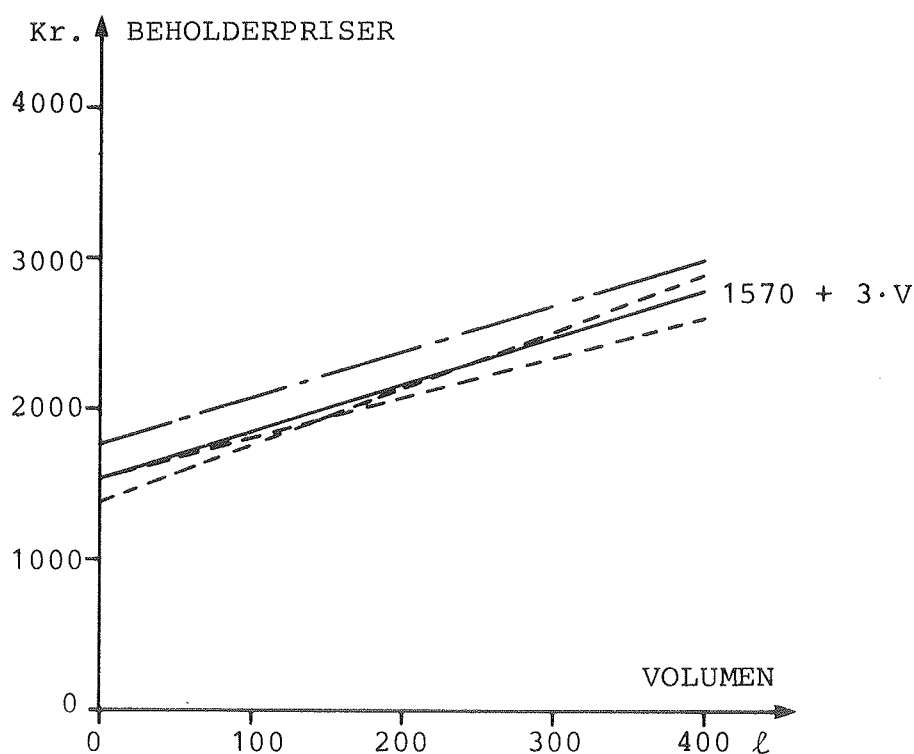


Fig. 29. Prisfunktion for beholdere med indbygget varmevekslerspiral (ekskl. moms og isolering) afhængig af beholderstørrelsen.  
---- skønnet af fabrikanten,  
-.-.- katalogprisen minus isoleringsudgiften,  
—— valgt prisfunktion.

Prisfunktionen for kappebeholderen er dannet på baggrund af prisen på den eneste godkendte kappebeholder til solvarmeanlæg. Desuden er i fig. 30 afmærket priserne på den billigste kappebeholder for en beholder på henholdsvis 100 og 200 l.

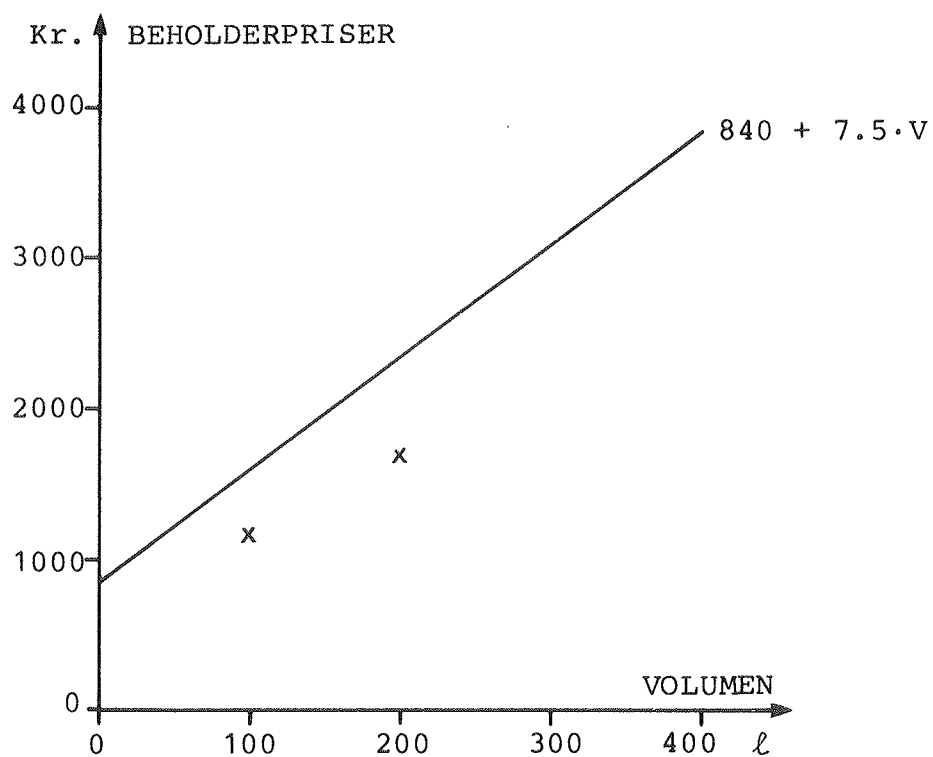


Fig. 30. Prisfunktion for kappebeholdere (ekskl. moms og isole-  
ring)  
x billigste beholdere,  
— godkendte beholdere.

## Appendix C

### Varmevekslerspiraler

Ud fra forsøg og prøvning af beholdere med indbyggede varmevekslerspiraler (ref. (4) og (22)) er skønnet et udtryk for varmeoverføringssevnen afhængighed af lagertemperaturen

$$H = \frac{150}{M} \left( 1 + \frac{T_1}{40} \right) \quad [W/^{\circ}C]$$

hvor  $M$  er en konstant,  
 $T_1$  er lagertemperaturen [ $^{\circ}C$ ].

I fig. 31 er afbildet varmeoverføringssevnen som funktion af  $M$  og  $T_1$ . I samme figur er afbildet varmeoverføringssevnen for

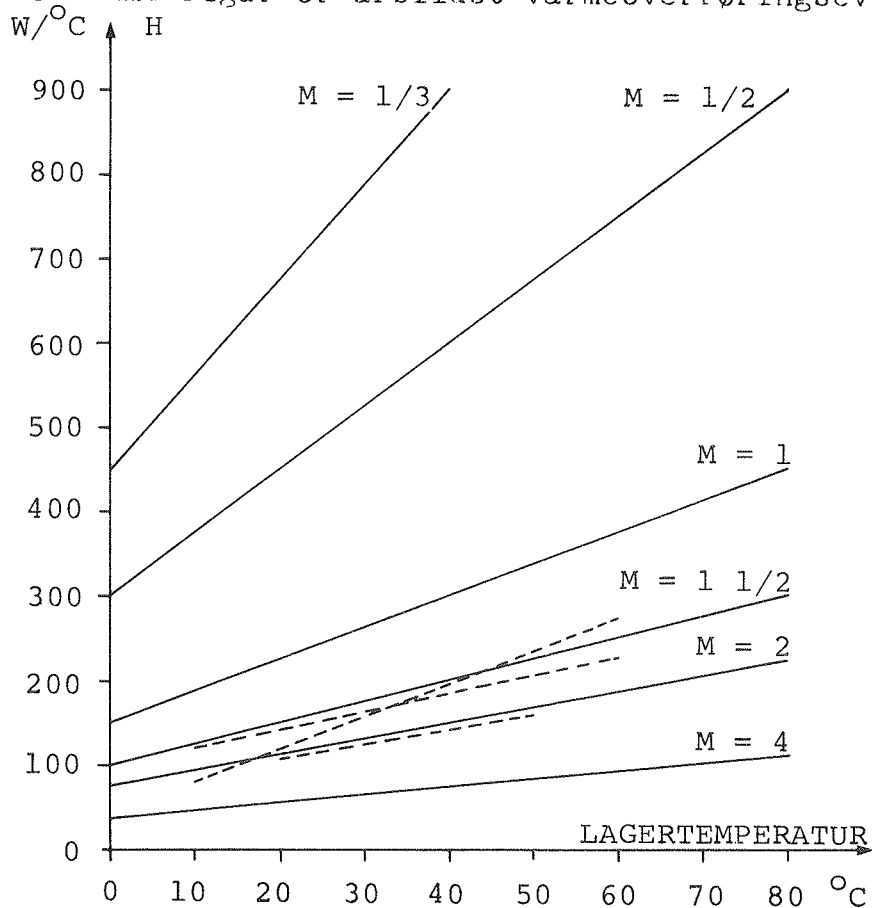


Fig. 31. Varmeoverføringssevnen for varmevekslerspiraler som funktion af lagertemperaturen  
----- målt på eksisterende beholdere,  
———— beregnet.

forskellige eksisterende beholdere. M er valgt således, at varmeoverføringsevnen er så tilpas stor, at denne ikke er bestemmende for resultatet af simuleringerne.

## Appendix D

### Data for solfangervæsken og vand.

#### Propylenglycol/vand.

I fig. 32 er angivet en 40 vægtprocents propylenglycol/vandblandings (frostsikret til ca.  $-21^{\circ}\text{C}$ ) kogepunkt som funktion af trykket (ref. (23)).

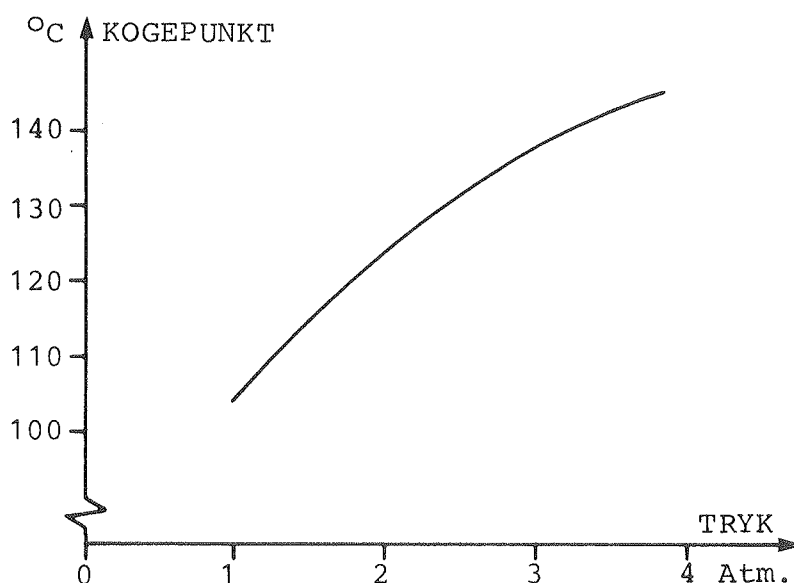


Fig. 32. Kogepunkt for propylenglycol-vand (vægtprocent = 40) som funktion af trykket.

I de fleste solvarmeanlæg udløses sikkerhedsventilen ved et overtryk på 2,5 bar, d.v.s. et absolut tryk på ca. 3,5 atm. Ved dette tryk koger den valgte solfangervæske ved  $142^{\circ}\text{C}$ .

For at glycolen ikke skal nedbrydes, angiver ref. (24): "I systemer med overtryk og med minimal tilførsel af luft kan temperaturer op til  $120^{\circ}\text{C}$  tillades". Disse forudsætninger er opfyldt for de beregnede solvarmeanlæg.

Lagrene i solvarmeanlæggene må altså ikke være så små (i forhold til solfangerarealet), at temperaturer på over 120 °C opnås.

### Vand

Fig. 33 viser kogepunktet for brugsvand.

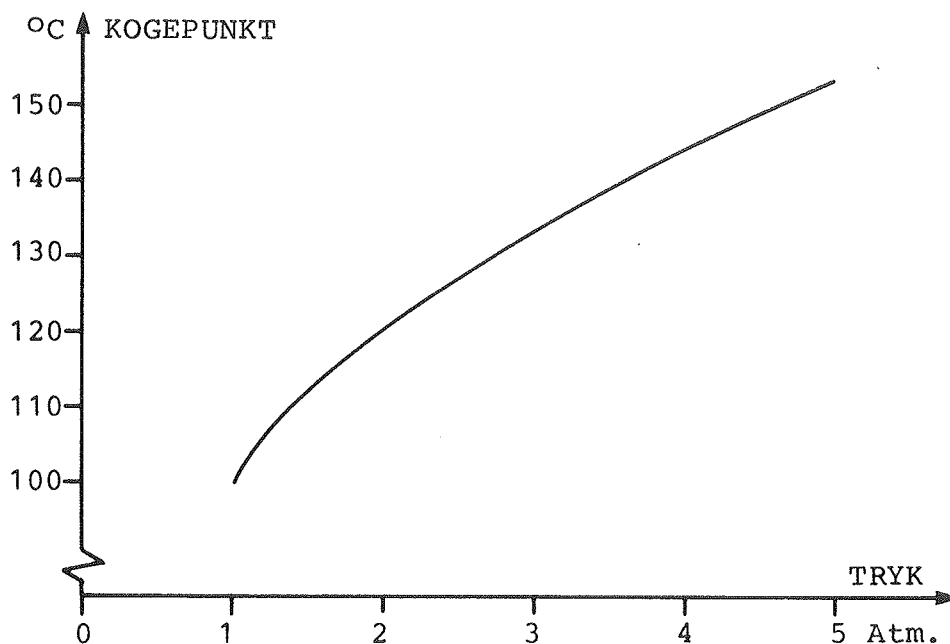


Fig. 33. Kogepunktet for vand som funktion af trykket.

Ifølge ref. (25) ligger trykket for brugsvand på mellem 2 og 6 atm. Trykket vil således altid være højere end 2 atm. Fig. 32 viser da, at brugsvandets kogepunkt vil være over 120 °C. Hvis anlægget dimensioneres således, at der aldrig opnås temperaturer i solfangervæskken på over 120 °C, vil der ikke opstå kogning af brugsvandet.



## Referencer

- (1) Varmtvandsforbrug i boliger. Niels Mejlhede Jensen. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Energiministeriets varmelagerprojekt - Rapport nr. 11. Feb. 1982.
- (2) Vandinstallationer. SBI-anvisning 118. Statens Byggeforskningsinstitut. 1979.
- (3) Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 81-19. Svend Svendsen. Lab. for Varmeisolering, DTH.
- (4) Prøvemetode for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo og Jan-Erik Larsen. Lab. for Varmeisolering, DTH. Energiministeriets varmelagerprojekt - Rapport 12. November 1982.
- (5) Prøvning af varmelager til solvarmeanlæg til brugsvand - foretaget for Prøvestationen for solvarmeanlæg. Fabrikat: Metro. Rapport 82-38. Ole Ravn. Lab. for Varmeisolering, DTH. Juli 1982.
- (6) Prøvning af varmelager til solvarmeanlæg til brugsvand - foretaget for Prøvestationen for solvarmeanlæg. Fabrikat: Sdr. Højrup Maskinfabrik A/S. Rapport 82-35. Ole Ravn. Lab. for Varmeisolering, DTH. 1982.
- (7) Beskrivelse og underbygning af matematiske modeller til simulering af varmelagres termiske egenskaber. Rapport nr. 82-50. Jan-Erik Nielsen og Ole Ravn. Lab. for Varmeisolering. DTH. August 1982.
- (8) Dokumentation af BSOL-Program til beregning af solvarmeanlæg til brugsvand. Rapport nr. 83-26. Jan-Erik Nielsen. Lab. for Varmeisolering, DTH. Juni 1983.

- (9) Brugervejledning til BSOL-Program til beregning af solvarmeanlæg til brugsvand. Rapport nr. 83-25. Jan-Erik Nielsen. Lab. for Varmeisolering, DTH. Juli 1983.
- (10) Solindfald og solvarmeanlæg - målt og beregnet. Meddelelse nr. 106. Henrik Lawaetz. Lab. for Varmeisolering, DTH. Oktober 1980.
- (11) Tilbud på selvcirkulerende anlæg opført som demonstrationsanlæg af Lab. for Varmeisolering, DTH. Maj 1983.
- (12) Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Svend Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgard Hansen og Vagn Ussing. Lab. for Varmeisolering, DTH. Energiministeriets varmelagerprojekt - Rapport nr. 14. December 1982.
- (13) Heat storage units using a salt hydrate as storage medium based on the extra water principle. Meddelelse nr. 116. Simon Furbo. Lab. for Varmeisolering, DTH. Januar 1982.
- (14) Thermal Performance Comparisons for a Solar Hot Water System. Ronald A. Fischer and Jr. A. Hunter Fanney. Artikel i ASHRAE Journal. August 1983.
- (15) Økonomisk vurdering af energibesparende foranstaltninger. SBI-anvisning 132. Kjeld Johansen, Michael Kvetny og Hans Skifter Andersen. Statens Byggeforskningsinstitut. 1982.
- (16) Energiplanlægning - Statusnotat 1983. Energiministeriet. Juni 1983.
- (17) Solvarme - fjernvarme. Benny Bøhm og Svend Erik Mikelsen. Afdelingen for Varmeteknik, Teknologisk

Institut og Lab. for Varmeisolering, DTH. Energiministeriets solvarmeprogram - rapport nr. 21. Maj 1983.

- (18) A solar water heating system for northern Europe. Poul-Erik Kristensen. Performance Monitoring Group. Commission of the European Communities. 1983.
- (19) Afprøvning af gasfyrede kedler. Husholdningsrådets Tekniske Meddelelser. Nr. 2. 1983.
- (20) Planlægning af varmforsyning - Forsyningskatalog. Afsnit 38 04. Styregruppen for Pilotprojekt Vester Nebel. 1983.
- (21) Priser - Husbygning 83. V&S Byggedata A/S. Januar 1983.
- (22) Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg. Simon Furbo. Lab. for Varmeisolering, DTH. Energiministeriets varmelagerprojekt - Rapport nr. 5. April 1980.
- (23) Anvendelse af forskellige væsker i solvarmeanlæg. Henrik Nielsen. Afgangprojekt på Lab. for Varmeisolering, DTH. September 1980.
- (24) ASHRAE Handbok & Product Directory. 1977 Fundamentals.
- (25) Vandforsyningsteknik. Linde-Jensen m.fl. Polytek-nisk Forlag. 1976.

## PROJEKTORGANISATION

### Styregruppe:

Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH,  
(formand)  
P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening  
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S  
E. Christoffersen, afdelingsleder, Statens Byggeforsknings-  
institut  
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening  
K. Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S  
P. Dorph-Petersen, Energiministeriet  
E. Jerking, Byggestyrelsen, Energikontoret  
N.I. Meyer, professor, Fys.Lab. III, DTH  
J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch og Krogboe  
H. Larsen, civilingeniør, Risø  
E. Petersen, lektor, Kem.Lab. I, H.C. Ørstedts Instituttet  
P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut  
P.J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen.

### Projektmedarbejdere:

N.B. Andersen, civilingeniør  
O. Balslev-Olesen, civilingeniør  
O. Dyrnum, civilingeniør  
S. Furbo, civilingeniør, stud.lic.techn.  
K. Kielsgaard Hansen, akademiingeniør, lic.techn.  
S. Østergaard Jensen, civilingeniør  
S.E. Mikkelsen, civilingeniør  
L. Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.  
P. Vejsig Pedersen, civilingeniør  
V. Ussing, civilingeniør

Liste over udkomne rapporter

Energiministeriets varmelagerprojekt:

- Nr. 1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre. Peter L. Christensen, august 1979.
- Nr. 2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Udført af Dipco Engineering ApS, november 1979.
- Nr. 3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). En metode til brug for bordregnemaskiner. Anker Nielsen, februar 1980.
- Nr. 4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). Brugervejledning for TI-59. Anker Nielsen, februar 1980.
- Nr. 5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg. Simon Furbo, april 1980.
- Nr. 6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug. Anker Nielsen, oktober 1980.
- Nr. 7. Vinduets betydning for enfamiliehusenes energiforbrug. Anker Nielsen, november 1980.
- Nr. 8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle. Simon Furbo, december 1980.
- Nr. 9. Enfamiliehus med glasbeklædte uderum. Anker Nielsen, marts 1981.
- Nr. 10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis. Peter L. Christensen, december 1981.

- Nr. 11. Varmtvandsforbrug i boliger. Niels Mejlhede Jensen, februar 1982.
- Nr. 12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo, Jan-Erik Larsen, november 1982.
- Nr. 13. Solopvarmning gennem vinduer. Niels Mejlhede Jensen, november 1982.
- Nr. 14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Sven Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing, december 1982.
- Nr. 15. Birkerød solhus. Beregninger og målinger. Niels Mejlhede Jensen, december 1983.

Energiministeriets solvarmeprogram:

- 1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg. Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse.
- 2. Solvarme-fjernvarmeanlæg. Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager.
- 3. Solvarmeanlæg i Gentofte. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport.
- 4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg. For TI-59 programmer-bar lommeregnemaskine.
- 5. Solvarmeanlæg i Herfølge. Brugsvand, 1/2 års målinger.
- 6. Solvarmeanlæg i Greve. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport.

7. Solfangeres langtidsholdbarhed. Erfaringer med solfangeres udsat for det naturlige vejrlig under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år på prøvestand.
8. Solvarmesystemprøvestand. Resultater fra det første projekt på prøvestanden.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads. Brugsvand, 3 års målinger.
10. Energiministeriets solvarmeprogram. Statusrapport, august 1980.
11. Energiministeriets solvarmeprogram. Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.
12. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af anlægene.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød. 2 1/2 års målinger på 10 m<sup>2</sup> brugsvandsanlæg.
15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte.
16. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på 1 års målinger på 2 anlæg.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge. Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri.
18. Korrosion i solfangerabsorbere. En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres væskekanaler.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm. Forundersøgelse.

20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg. Teknisk-økonomisk analyse af systemkombinationer.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl.Holte. En vurdering efter et års målinger.



## Abstract

The suitability of the different heat storage types available on the market to-day for solar heating systems for domestic hot water supply has been investigated. The investigations were based on considerations concerning the thermal performance as well as economical considerations.

The Rules-of-thumb concerning the economically best heat storage volume and solar collector area for solar heating systems for domestic hot water supply have been established. These rules are based on the quantity of the daily hot water consumption.

The influence of the consumption pattern on the economically best heat storage has been elucidated.

Finally calculations concerning the economical conditions for solar heating systems for domestic hot water supply have been carried out.