

Små konkurrencedygtige solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Simon Furbo

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

MEDDELELSE NR. 191 FEBRUAR 1988

Følgende har medvirket ved projektet:

Simon Furbo, civilingeniør
Svend Erik Mikkelsen, civilingeniør
Svend A. Svendsen, civilingeniør
Søren Østergaard Jensen, civilingeniør
Sally Lykke Høgsted, programmør
Flemming Karn, maskinarbejder
Bertil Morelli, elektromekaniker
Jørn Petersen, EFG-elev
Kirsten Weishaupt, sekretær

Endvidere rettes en tak til de solfangerfabrikanter, som har medvirket i forbindelse med prisfastsættelsen og kritik af de forskellige anlæg.

En speciel tak rettes i forbindelse med design og opførelse af demonstrationsanlægget til:

Emanuel Brender, BATEC
Arne Skovslund, Haarlev Installationsforretning Aps

I forbindelse med måling af demonstrationsanlæggets ydelse rettes en tak til husets beboer:

Gunn Britt Møllerstrøm, Dyssevangen 4, Ølsemagle, Køge.

RESUME

Projektets formål var at udvikle små brugsvandsanlæg med et pris/ydelse forhold, som er 30% bedre end for de anlæg, som blev markedsført i 1985.

Tre forskellige systemløsninger blev gennemarbejdet med henblik på lav pris og høj ydelse. De tre undersøgte systemløsninger var: Et traditionelt anlæg med en varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral, et tømmesystemanlæg og et anlæg, hvor den eksisterende varmtvandsbeholder anvendes som lager.

Anlæggene, eller dele af anlæggene, blev afprøvet på Laboratoriet. Solfangerfabrikanterne blev løbende holdt orienteret om projektets forløb, og solfangerfabrikanterne prissatte de forskellige anlæg. På basis heraf blev det mest lovende anlæg herefter opført som demonstrationsanlæg af BATEC. Demonstrationsanlægget var baseret på den traditionelle type med en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral. Prisen for anlægget, som blev opført i 1985 med et solfangerareal på 4,3 m², var 18.500 kr. incl. moms og uden tilskud. Dette svarer til en prisreduktion på næsten 30% i forhold til de normale anlæg, som BATEC markedsførte i 1985.

Anlægsydelsen, som blev målt igennem den første drifttid, var som forventet lige så stor som ydelsen fra de normale anlæg. Projektets mål blev derfor nået.

De opnåede forbedringer blev opnået uden ændringer af solfangerkonstruktionen og uden at anvende en lille volumenstrøm i solfangerkredsen. Mulighederne for at forbedre rentabiliteten for små solvarmeanlæg er derfor ikke udtømte.

INDHOLDSFORTEGNELSE

RESUME

1.	INDLEDNING	1
2.	PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	3
3.	UNDERSØGELSE AF FORSKELLIGE ANLÆGSTYPER	5
3.1	Anlæg med varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral	6
3.1.1	Eksperimentelle undersøgelser	6
3.1.2	Teoretiske undersøgelser	16
3.1.3	Design af solvarmeanlæg med en varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral	30
3.2	Tømmesystemanlæg	32
3.3	Anlæg hvor en eksisterende varmtvandsbeholder anvendes som lager	35
3.4	Vurdering af de tre anlægstyper	41
4.	DEMONSTRATIONSANLÆG	43
4.1	Anlægsudformning	43
4.2	Målesystem	49
4.3	Driftserfaringer	49
4.4	Måleresultater	51
4.5	Økonomiske forhold for brugsvandsanlæg	54
5.	RENTABILITETEN FOR SMÅ SOLVARMEANLÆG	57
6.	KONKLUSION	59
	SUMMARY	61
	REFERENCER	63
	FORSKNINGSUDVALGET FOR ENERGIANVENDELSE I BYGNINGER APRIL 1987	65
	LISTE OVER UDSENDTE RAPPORTER:	
	SOLVARMEPROGRAMMET	67
	VARMELAGERPROGRAMMET	69

1. INDLEDNING

Denne rapport beskriver arbejdet, som er udført under projektet "Konkurrencedygtige små solvarmeanlæg". Projektet er udført med Laboratoriet for Varmeisolering som projektleder, og indgår i Energiministeriets Energiforskningsprogram 85, EFP-85, journal nr. 1353/85-1. På Teknologisk Institut er et tilsvarende projekt "Konkurrencedygtige solvarmeanlæg til brugsvand" igangsat samtidig. Begge projekter hører under projektområdet "Konkurrencedygtige solvarmeanlæg", hvis formål er at forbedre forholdet mellem besparelse ved udnyttelse af solvarmeanlæg til brugsvand og investeringerne for sådanne anlæg med 30%.

Projektets laboratorieundersøgelser blev gennemført i 1985. Undersøgelserne resulterede i, at der blev opført et demonstrationsanlæg, som dokumenterer det forbedrede ydelse/pris forhold for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Dette anlæg blev opført i slutningen af 1985. Demonstrationsanlæggets ydelser blev herefter målt igennem et par år.

Interesserede solfangerfabrikanter har medvirket ved projektets gennemførelse, blandt andet ved at prissætte forskelligt udformede solvarmeanlæg. Demonstrationsanlægget er opført af solvarmefirmaet BATEC. Solfangerfabrikanternes interesse for projektet har medvirket til at rentabiliteten for markedsførte små solvarmeanlæg siden 1985 er forbedret.

2. PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL

Projektet blev igangsat i starten af 1985. På dette tidspunkt blev de markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning udført teknisk tilfredsstillende med gode ydelser og rimelig gode driftserfaringer.

Forbruget af varmt vand i enfamiliehuse er ofte ret lavt, således at de optimale solvarmeanlæg bliver meget små. Dette betød, at anlægsomkostningerne i 1985 blev meget tyngt af installationsomkostningerne og omkostningerne til anlæggets hjælpeudstyr. Det er derfor væsentligt, at anlæggene udformes meget enkelt, således at antallet af anvendte komponenter reduceres til et minimum, og således at installationen forenkles og dermed billiggøres.

En forenklet anlægsudformning vil derfor resultere i en væsentlig forbedring af pris/ydelse forholdet for anlæggene og anlæggene vil derfor for alvor blive attraktive.

Projektets formål var at udvikle små brugsvandsanlæg med et pris/ydelse forhold, der er 30% bedre end for de markedsførte anlæg i 1985. Der blev arbejdet med systemløsninger, som blev gennemarbejdet med henblik på lav pris og høj ydelse. De tre systemløsninger var: Et traditionelt anlæg med en varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral, et tømmesystemanlæg og et anlæg, hvor den eksisterende varmtvandsbeholder anvendes som lager.

Anlæggene, eller dele af anlæggene, blev afprøvet på Laboratoriet. Det mest lovende anlæg blev herefter opført som demonstrationsanlæg af en interesseret solfangerfabrikant for at dokumentere det forbedrede pris/ydelse forhold. Anlæggets ydelse blev målt igennem de første driftår.

Solfangerfabrikanterne blev løbende orienteret om projektets forløb, og demonstrationsanlægget blev udformet således, at det relativt hurtigt var muligt for fabrikanterne at markedsføre lignende anlæg. Projektet har derfor medvirket til at forbedre rentabiliteten for små markedsførte solvarmeanlæg siden 1985.

3. UNDERSØGELSE AF FORSKELLIGE ANLÆGSTYPER

Egnetheden af tre forskellige anlægstyper blev undersøgt:

1. Traditionelt anlæg med en varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral.
2. Tømmesystemanlæg.
3. Anlæg hvor en eksisterende varmtvandsbeholder anvendes som lager.

For alle anlægstyperne er det væsentligt, at der anvendes en effektiv og samtidig billig solfanger. Før solfangerfabrikanterne vil ændre deres markedsførte solfangere, er der behov for grundige prøvninger, både med hensyn til solfangerens effektivitet og holdbarhed. Forbedringer af markedsførte solvarmeanlægs rentabilitet, som opnås ved at forbedre solfangerkonstruktionen, kan derfor normalt først opnås efter en længere afprøvningsperiode. I dette projekt er der derfor set bort fra muligheden for gennem billiggørelse eller forbedring af solfangeren at forbedre rentabiliteten for anlæggene.

For det traditionelle anlæg er mulighederne for at forbedre rentabiliteten at udforme anlægget, så installationen lettes, at minimere komponentstørrelserne, at anvende en optimal lagerudformning, at undgå kuldebroer vha. et minimum af isolering og at forenkle solvarmeanlæggets hjælpeudstyr og styresystem.

For tømmesystemanlægget kan en række af de for det traditionelle anlæg nødvendige komponenter undværes. Da solfangeren kan tømmes både ved lave og ved høje temperaturer, kan vand benyttes som solfangervæske, og relativt billige plastmaterialer kan anvendes til varmelager og rørsystem.

For anlæg, hvor den eksisterende varmtvandsbeholder anvendes som varmelager, opnås besparelsen først og fremmest ved at lagertanken, som normalt tynger anlægsomkostningerne, kan undværes.

Undersøgelserne af hver enkelt anlægstype beskrives i det følgende, og egnetheden af den enkelte anlægstype vurderes.

3.1 Anlæg med varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral

De i [1] gennemførte undersøgelser viste blandt andet, at en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral placeret i bunden af beholderen er en velegnet lagertank i forbindelse med solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

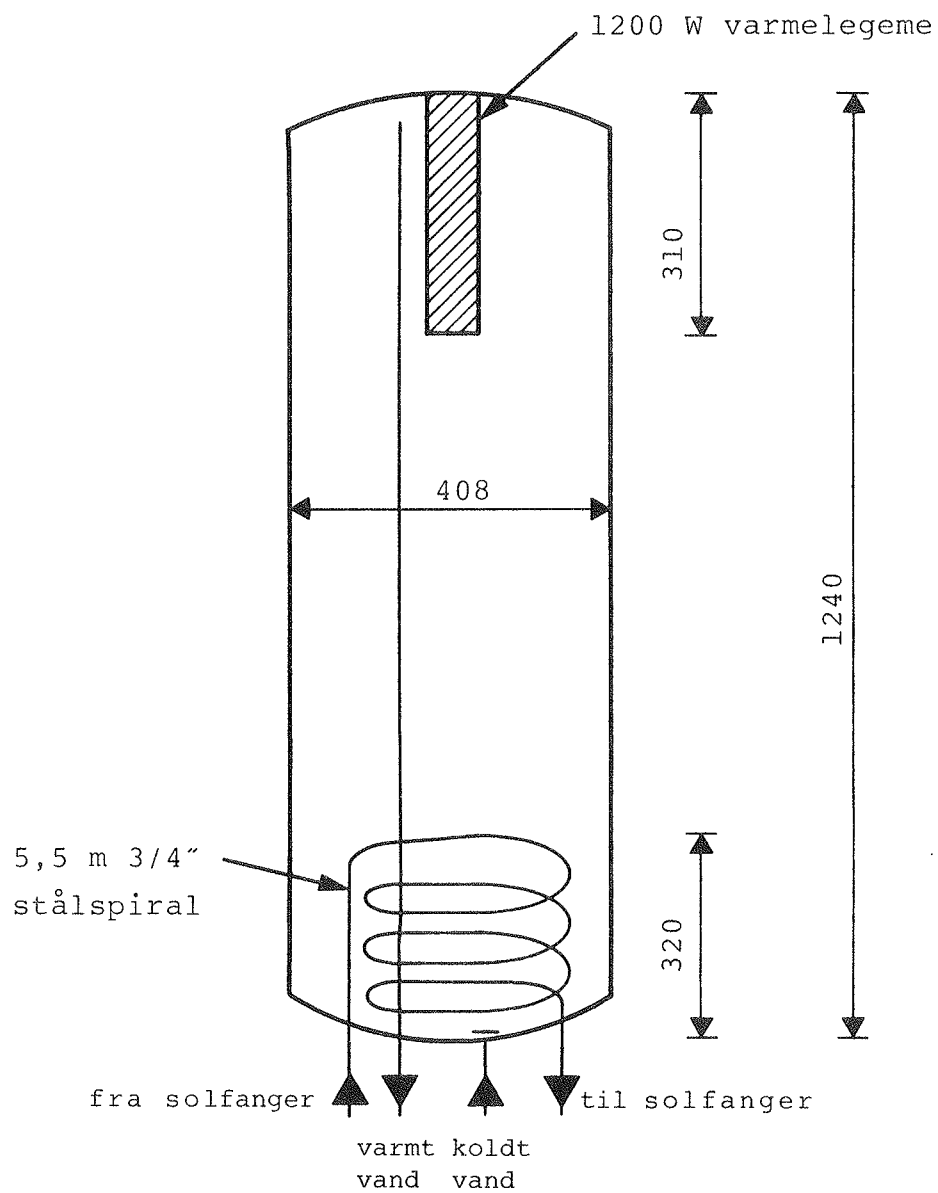
Detaljerede undersøgelser af temperaturlagdelingen i denne beholdertype er udført i [2]. Disse undersøgelser viste blandt andet, at beholdertypen er velegnet til solvarmeanlæg med simple og billige styresystemer, eksempelvis en lysfølerstyring eller en urstyring. Årsagen til, at disse styresystemer er velegnede, er at der kun kan tappes små energimængder fra beholderen gennem varmevekslerspiralen, som er placeret nederst i varmtvandsbeholderen.

Hverken i [1] eller [2] blev der gennemført undersøgelser med en beholder, som er forsynet med en el-patron til eftervarmning af brugsvandet. Der blev heller ikke foretaget eksperimentelle undersøgelser vedrørende varmetapning gennem varmevekslerspiralen.

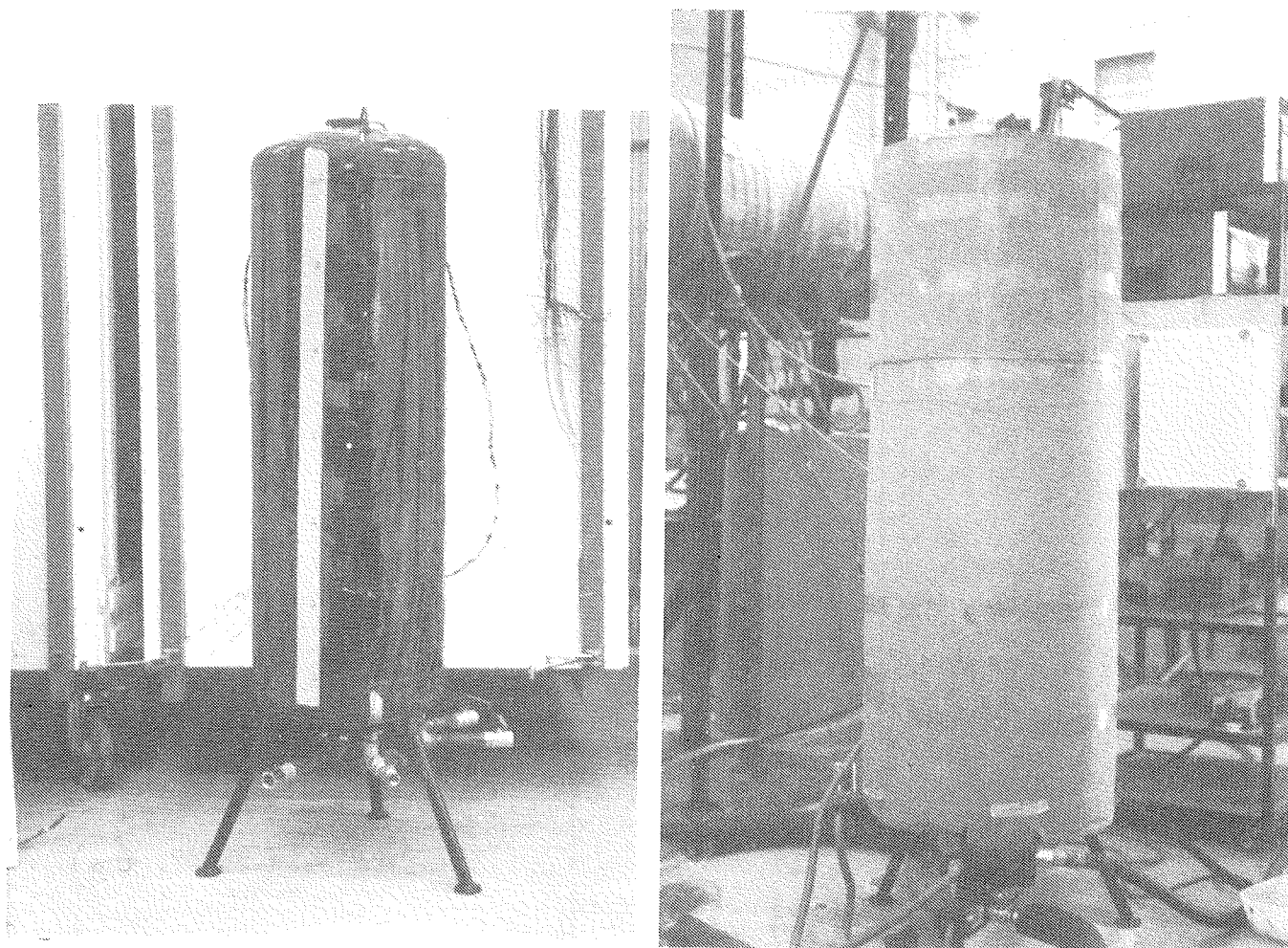
Der blev derfor i dette projekt gennemført forsøg med en varmtvandsbeholder med en varmevekslerspiral i bunden af beholderen og en el-patron i toppen af beholderen. Disse forsøg er beskrevet i det følgende afsnit.

3.1.1 Eksperimentelle undersøgelser

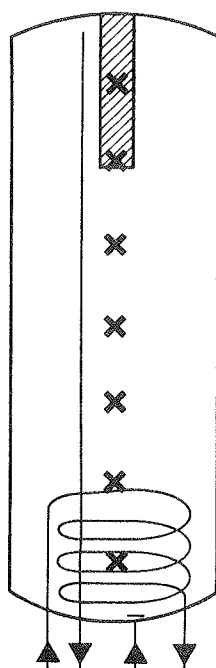
Varmtvandsbeholderen, som blev afprøvet, har et vandvolumen på 152 liter. Beholderen, som er vist på figur 1 og 2, er isoleret med 5 cm mineraluld med undtagelse af bunden, som er uisolert. Varmevekslerspiralen er placeret i beholderens nederste fjerdedel, og el-patronen er placeret i beholderens øverste fjerdedel. Beholderen er forsynet med syv termoelementer, således at det er muligt at følge lagerets temperaturer i forskellige niveauer, se figur 3.



Figur 1. Principskitse af afprøvet varmtvandsbeholder.



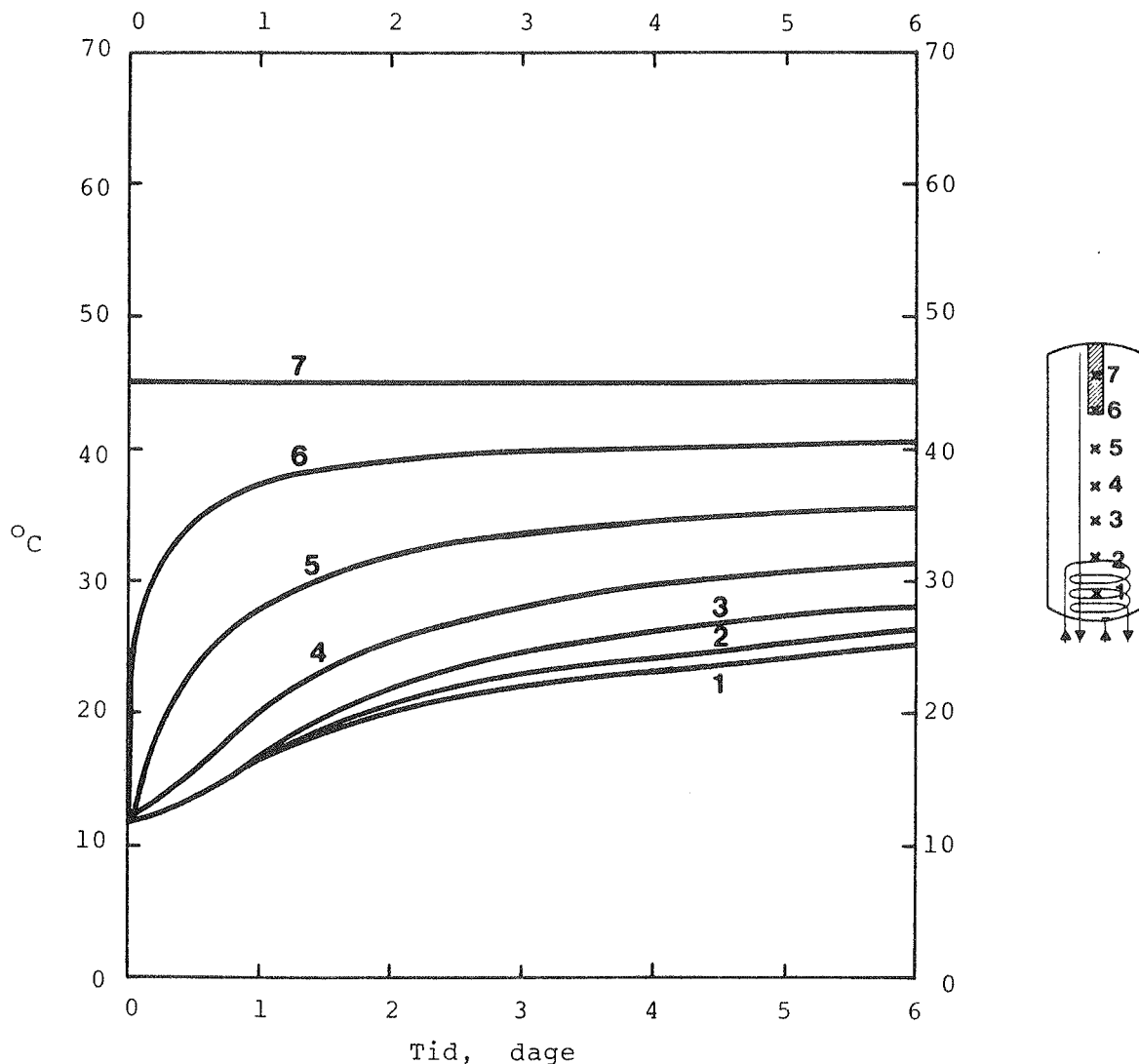
Figur 2. Varmtvandsbeholderen uisoleret (til venstre) og isoleret (til højre).



Figur 3. Placering af beholderens syv termoelementer til temperaturregistrering.

Der blev gennemført opvarmningsforsøg med el-patronen og opvarmnings- og afkølingsforsøg med varmevekslerspiralen. Som varmetransporterende medium i varmevekslerspiralen blev benyttet en 50% propylenglycol/vand-blanding.

Efter en fuldstændig tømning af beholderen til omtrent 12°C blev der igennem 6 dage foretaget en opvarmning alene ved hjælp af el-patronen. El-patronen er kun i drift, hvis temperaturen i toppen af varmtvandsbeholderen er mindre end 45°C. De målte temperaturer i varmtvandsbeholderen igennem opvarmningen er vist på figur 4. Det ses, at el-patronen hurtigt opvarmer den øverste del af varmtvandsbeholderen til den ønskede temperatur.



Figur 4. Varmtvandstemperaturer i perioden med el-patrondrift.

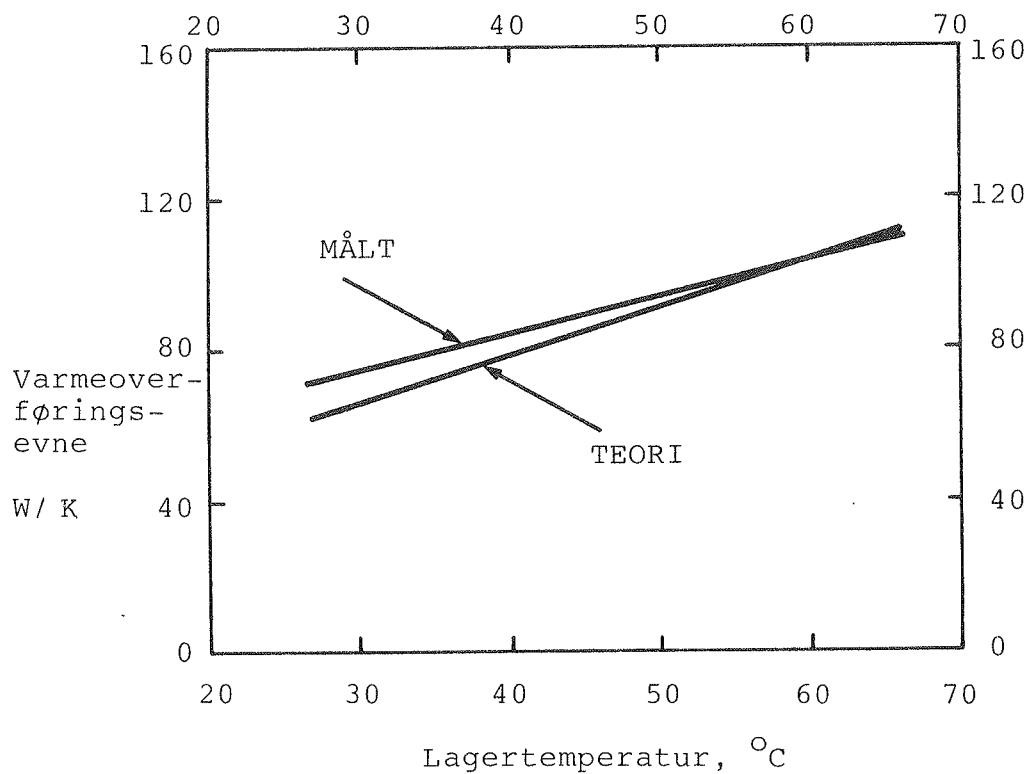
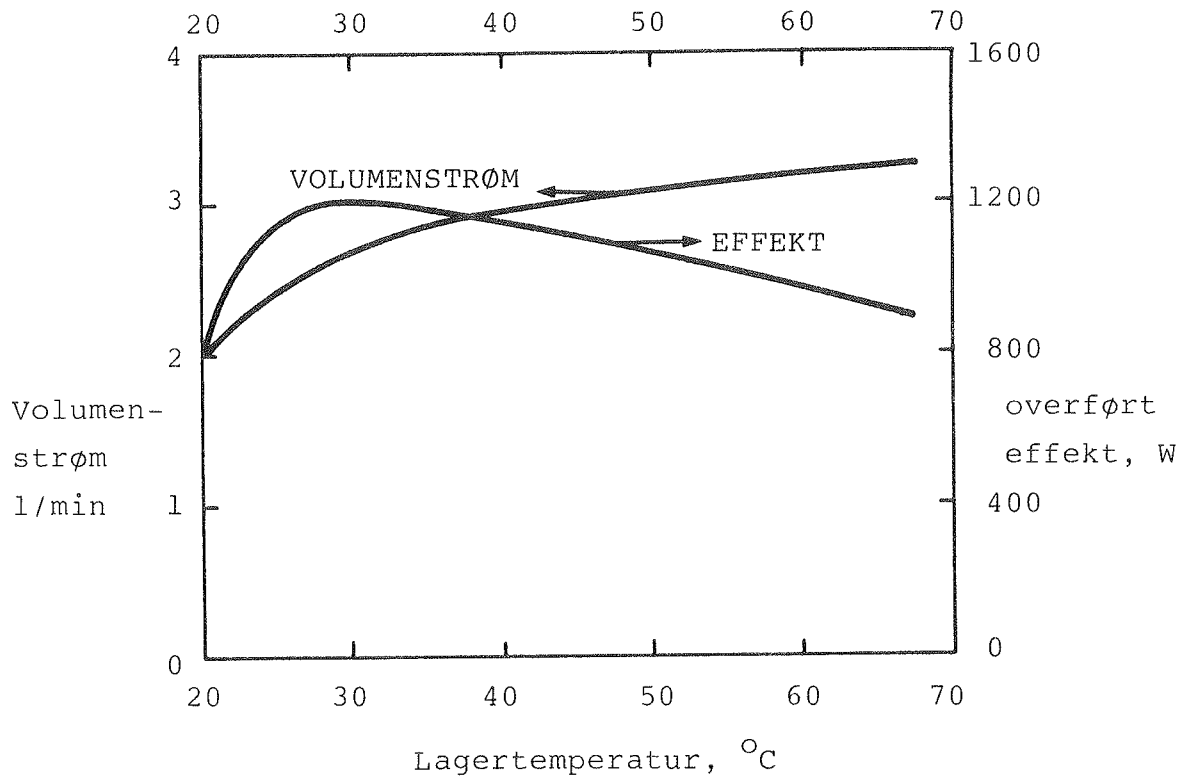
Den resterende del af beholderen opvarmes forholdsvis langsomt. Eksempelvis tager det 1 døgn før midten af beholderen når op på 20°C, og 4 døgn før midten af beholderen når op på 30°C. Årsagen til at det tager så lang tid er, at varme-transporten fra toppen af beholderen til de nedenfor beliggende dele af beholderen foregår ved ren varmeledning.

En el-patron, som placeres i toppen af en varmtvandsbeholder, kan derfor eftervarme brugsvandet uden at temperaturen i bunden af beholderen forhøjes afgørende af de højere temperaturer i toppen af beholderen. El-patrondrift vil derfor ikke reducere solfangerydelsen afgørende, hvis varmevekslerspiralen er placeret i bunden af beholderen, hvis el-patronen er placeret øverst i beholderen, og hvis beholderen er høj og slank. Disse forhold er nærmere belyst i afsnit 3.1.2.

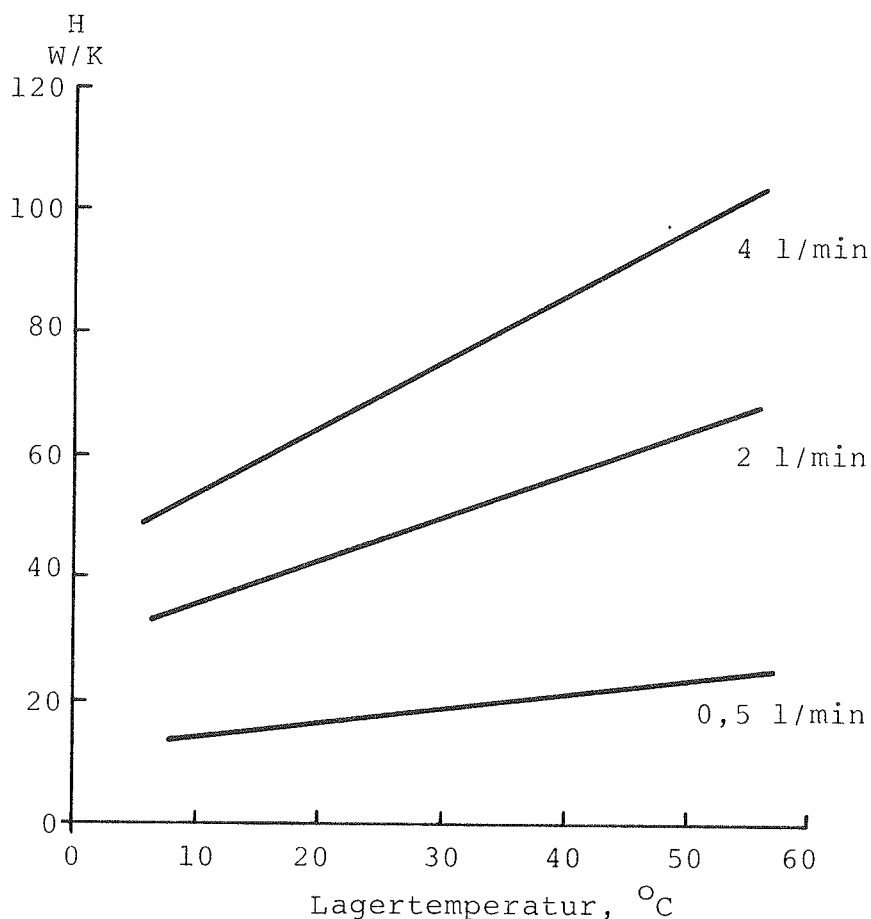
Varmelageret var tilsluttet den i [2] beskrevne lagerprøvestand. Der blev foretaget en række opvarmninger af beholderen med det varmetransporterende medium cirkulerende gennem varmevekslerspiralen. Hele beholdervolumenet opvarmes ensartet til samme temperatur. Varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen blev målt for disse opvarmninger og sammenlignet med varmeoverføringsevnen beregnet ved hjælp af den i [3] udviklede teori. Der var god overensstemmelse mellem målinger og beregninger. Et eksempel herpå er vist på figur 5, som angiver driftsbetingelserne og målte og beregnede varmeoverføringsevner for et opvarmningsforløb fra 20°C til 65°C.

Varmeoverføringsevnen afhænger stærkt af driftsbetingelserne. Dette fremgår af figur 6-9, som viser den beregnede varmeoverføringsevne for varmevekslerspiralen for forskellige driftsbetingelser.

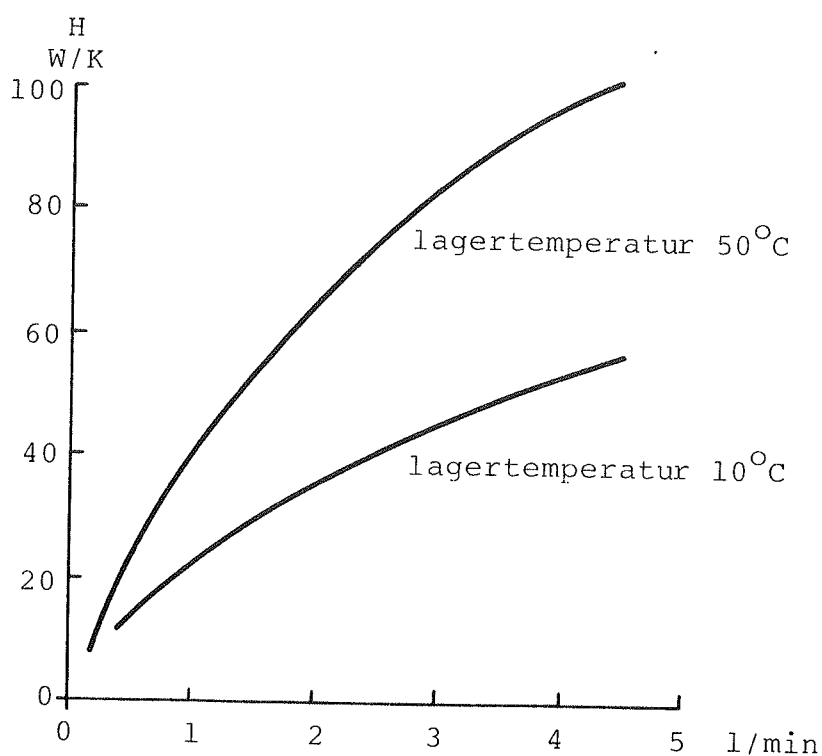
Varmeoverføringsevnen vokser for voksende lagertemperatur, volumenstrøm og effekttilførsel.



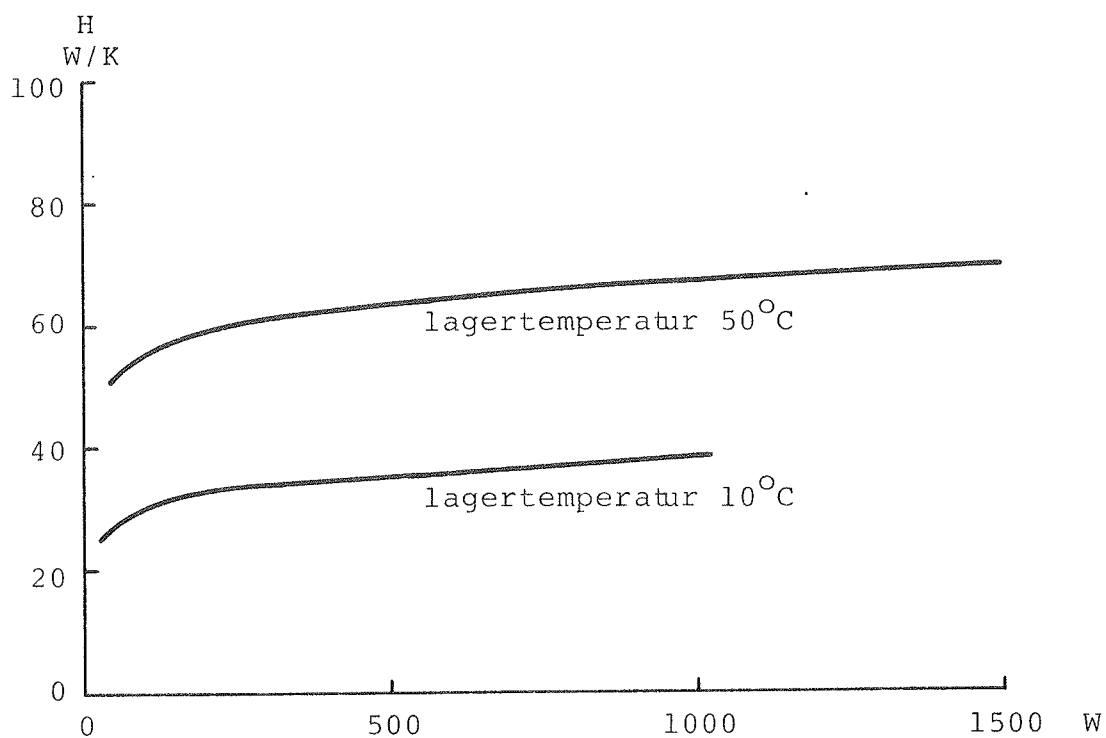
Figur 5. Driftsbetingelser og varmeoverføringsevne for et opvarmningsforløb for varmeveksler-spiralen fra figur 1.



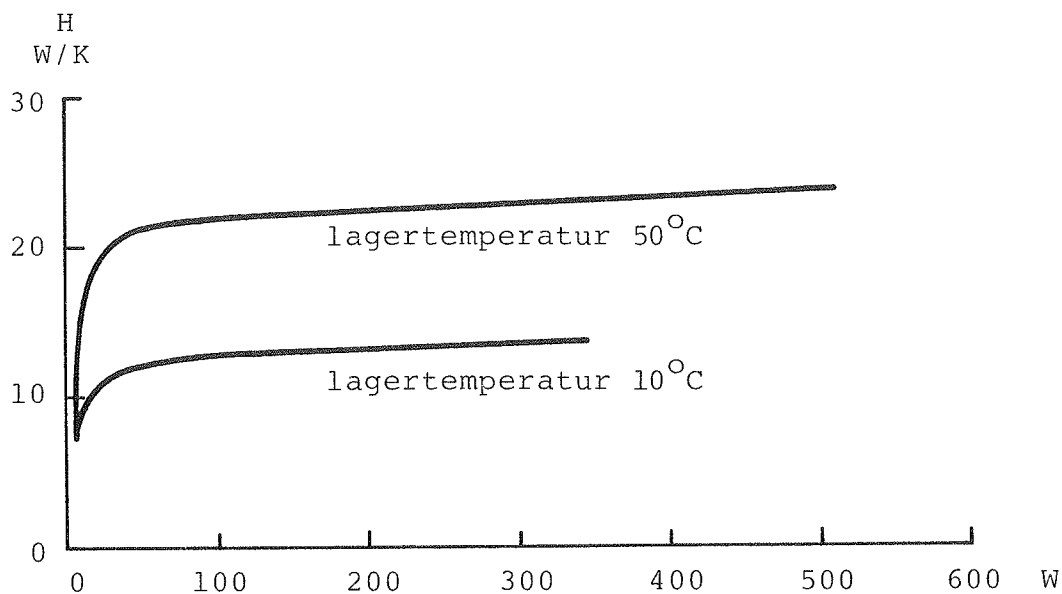
Figur 6. Varmevekslerspiralens beregnede varmeoverføringsevne som funktion af varmelagertemperaturen og volumenstrømmen, når effektoverførslen til varmelageret er 500 W.



Figur 7. Varmevekslerspiralens beregnede varmeoverføringsevne som funktion af volumenstrømmen for lagertemperaturen 10°C og 50°C og med en effektoverførsel til varmelageret på 500 W.



Figur 8. Varmevekslerspiralens beregnede varmeoverførings-
evne som funktion af effekttilførslen for lager-
temperaturen $10^{\circ}C$ og $50^{\circ}C$ og med en volumenstrøm
på 2 l/min.

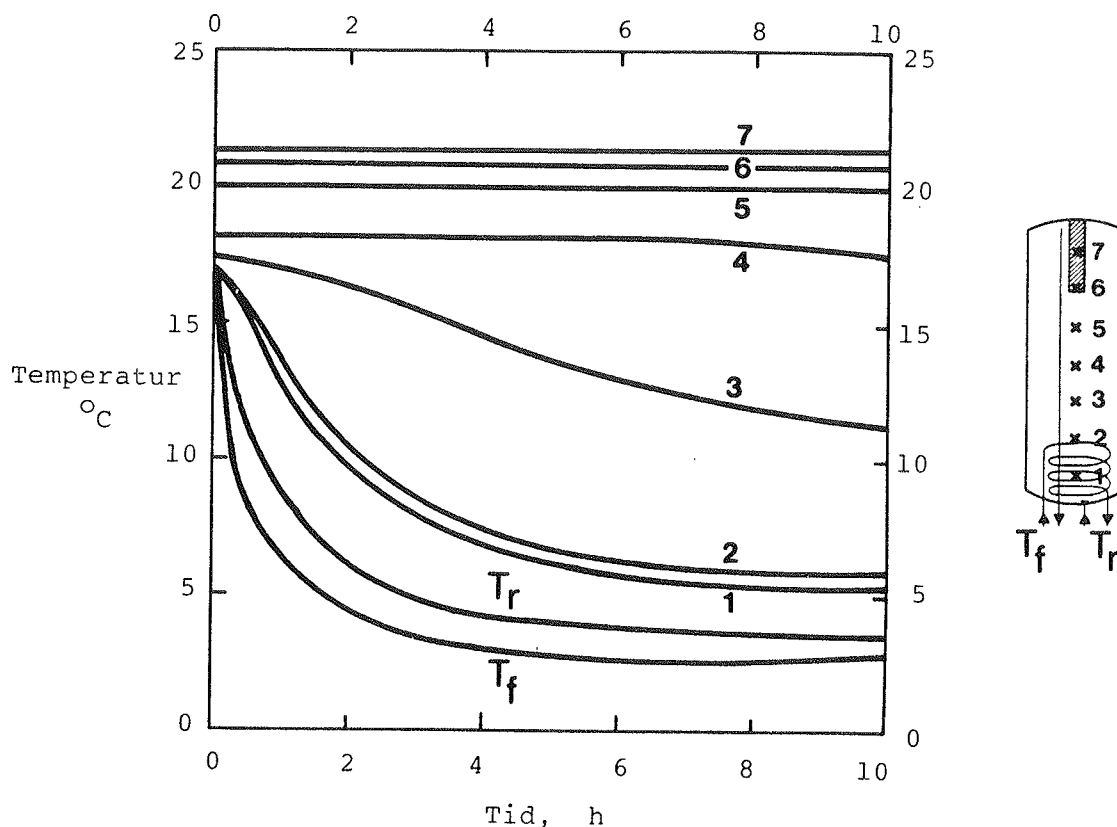


Figur 9. Varmevekslerspiralens beregnede varmeoverførings-
evne som funktion af effekttilførslen for lager-
temperaturen $10^{\circ}C$ og $50^{\circ}C$ og med en volumenstrøm
på 0,5 l/min.

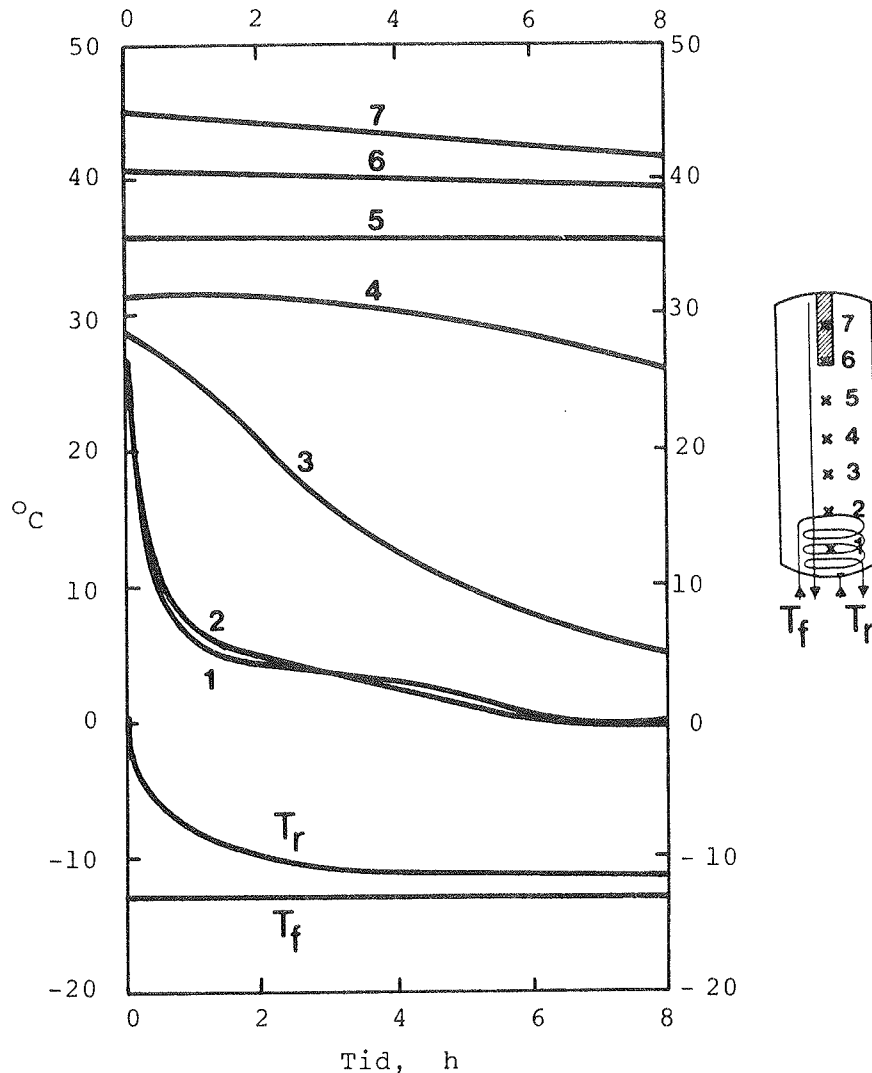
Endvidere blev der foretaget en række afkølinger af beholderen ved hjælp af det varmetransporterende medium, som blev pumpet gennem varmevekslerspiralen. Det ligger udenfor dette projekts rammer detaljeret at undersøge de varmeoverføringsmæssige forhold for varmevekslerspiraler, som benyttes til tapning af beholdere.

Der er imidlertid ingen tvivl om, at varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiraler, i perioder med tapning, er meget lille. For det første bliver lagertemperaturen omkring varmevekslerspiralen lav. Herved bliver vandbevægelserne omkring spiralen relativt langsomme på grund af de relativt små massefyldeforskelle i vandet. For det andet bliver volumenstrømmen som regel lille på grund af solfangervæskens lave temperatur og store viskositet. Endelig vil solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret i praksis, som regel, heller ikke være betydeligt lavere end lagertemperaturen omkring varmevekslerspiralen.

Eksempler på temperaturforholdene under afkølinger gennem varmevekslerspiralen er vist på figur 10 og 11.



Figur 10. Temperaturer i en afkøling med en volumenstrøm på 1,7 l/min..



Figur 11. Temperaturer i en afkøling med en volumenstrøm på 4 l/min.

Det ses, at vandvolumenet omkring varmevekslerspiralen forholdsvis hurtigt afkøles, mens beholderens midte kun afkøles lidt, og toppen af beholderen næsten ikke afkøles, selv ikke når afkølingen er ekstrem, som vist på figur 11.

Det er altså en særdeles langsommelig proces at tappe varme fra varmelageret igennem en varmevekslerspiral, som er placeret i bunden af varmelageret. Varmen transporteres nemlig fra de øverste dele af varmelageret til varmevekslerspiralen udelukkende ved varmeledning - ingen konvektion i vandet forøger varmeoverføringsevnen, som det er tilfældet under opvarmning.

Der tappes derfor kun små varmemængder fra varmelageret, hvis pumpen, som cirkulerer solfangervæsken gennem varmevekslerspiralen, er i drift i perioder, hvor solintensiteten ikke

er tilstrækkelig til, at solfangerne kan producere varme til lageret. Det er derfor muligt at benytte et simpelt styresystem, som blot sørger for, at pumpen i hvert fald er i drift, når der kan produceres varme i solfangeren.

Ved strenge afkølinger kan der opstå lokale isdannelser omkring varmevekslerspiralen. I denne forbindelse bør det sikres, at isdannelserne ikke blokerer for vandets direkte adgang til beholderens sikkerhedsventil. Styres solfangerpumpen af en lysføler eller ved hjælp af en pilotsolfanger, vil der dog ikke opstå isdannelser i varmelageret.

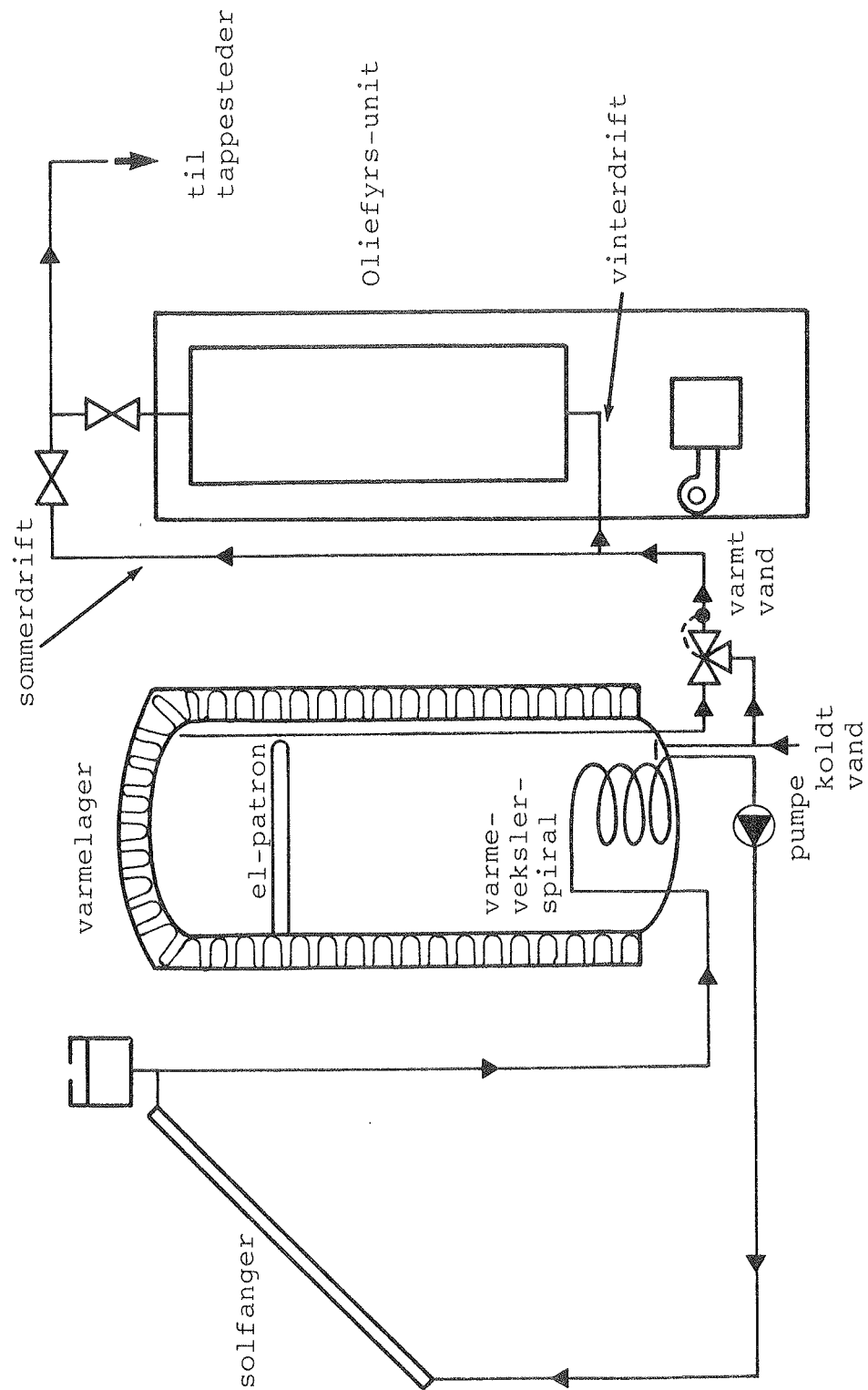
3.1.2 Teoretiske undersøgelser

I [2] blev der udviklet et detaljeret EDB-program, som kan simulere driften af en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral i et solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. EDB-programmet blev udbygget, så det er muligt at simulere driften af en varmtvandsbeholder, som også er forsynet med en el-patron. El-patronen kan placeres i et vilkårligt niveau i tanken.

Endvidere blev EDB-programmet udbygget, så det er muligt at tage forskellige styresystemer for solvarmeanlægget i beregning, og således at solvarmeanlæg, både med og uden en kontraventil i solfangerkredsen, kan tages i beregning.

Der blev indledningsvis gennemført en række beregninger af den årlige besparelse, som opnås ved brugen af solvarmeanlæg. Solvarmeanlægget, som blev taget i beregning, er skematisk vist på figur 12. De benyttede beregningsforudsætninger for solvarmeanlægget, som har et solfangerareal på 2 m², fremgår af tabel 1. I øvrigt beregnes den årlige besparelse for solvarmeanlæg, som det er beskrevet i [2]. Det forudsættes blandt andet, at oliefyret kan slukkes i 150 dage om sommeren.

Beregningerne er gennemført med de i tabel 1 angivne værdier med undtagelse af størrelsen af én parameter. Én parameter varieres ad gangen, således at det er muligt at klarlægge betydningen af hver enkelt parameter.

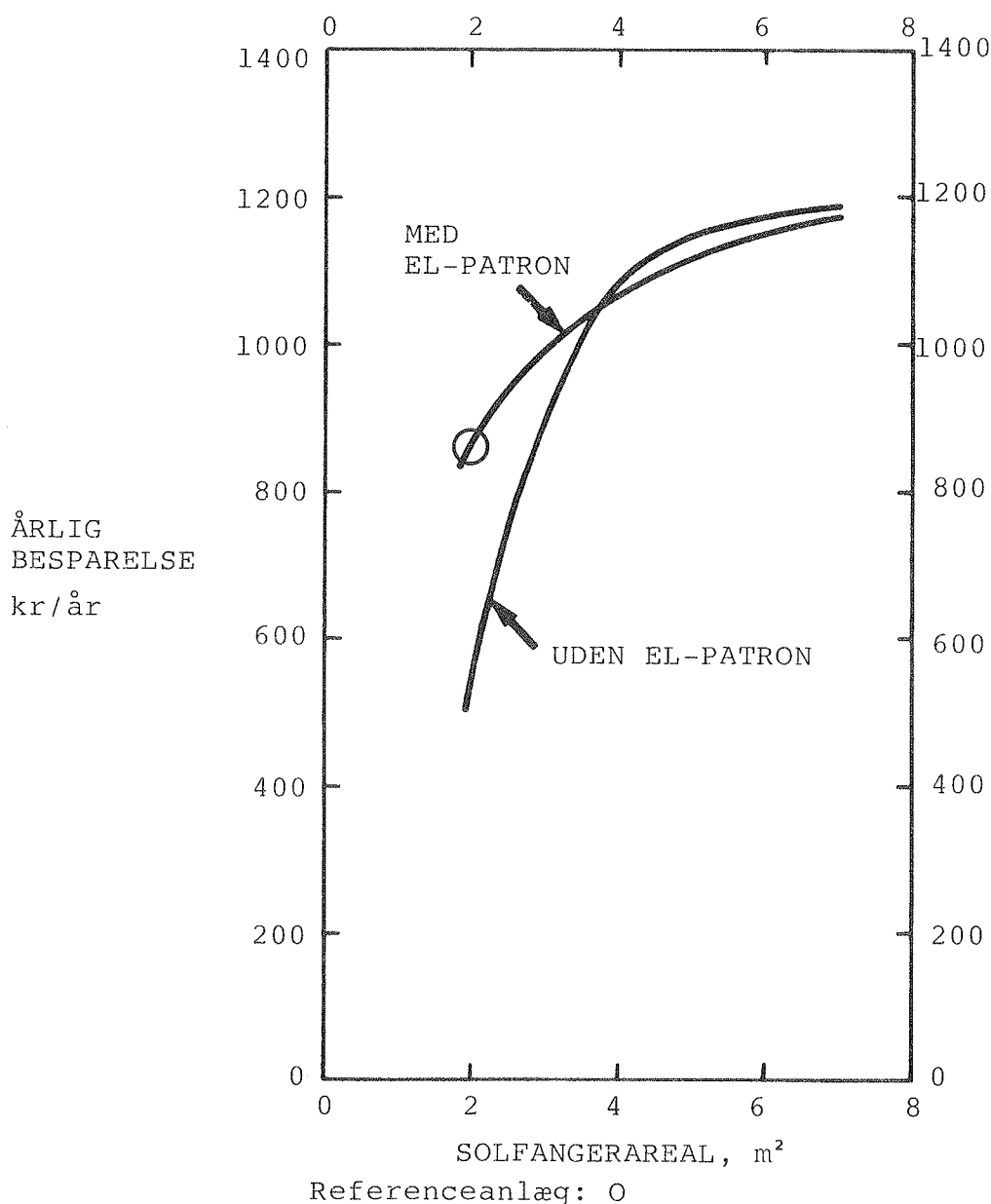


Figur 12. Skematisk illustration af solvarmeanlægget, som blev taget i beregning.

<u>SOLFANGER</u> Solfangerareal: 2 m ² Solfangereffektiviteten for små indfaldsvinkler: $\eta = 0,90 - 5,0 \cdot \frac{T_{ms} - T_{ude}}{I}$ Effektiv varmekapacitet for solfangeren: 10800 J/m ² K Solfangerhældning: 45° Solfangerorientering: sydvendt																	
<u>SOLFANGERVÆSKE</u> 50% (vægt procent) propylenglycol/vand-blanding Volumenstrøm: 0,5 l/min																	
<u>VARMELAGER</u> Beholderisoleringsmateriale: Mineraluld Omgivelsestemperatur: T _o = 20°C Antal lag i beregningsmodel: N = 6 Lagervolumen: 150 l Beholdermateriale: ST 37-2 Højde/diameter forhold: 3 <u>Godstykkelse</u> Svøb: 3 mm Endebunde: 4 mm <u>Isoleringstykkelse</u> Top: 5 cm Side: 5 cm Bund: 0 cm <u>Kuldebro</u> Top: 0 W/°C Bund: 1 W/°C <u>Varmevekslerspiral</u> Placering: I nederste lag Materiale: Kobber Udvendig diameter: 10 mm Indvendig diameter: 8,4 mm Længde: 5,0 m Tapning: Uden opblanding tappes varmt vand fra det øverste lag, mens koldt vand tilføres det nederste lag <u>El-patron</u> El-patron placeret i lagerets øverste trediedel er i operation gennem 5 sommermåneder Termostattemperatur: 45°C Effekt: 1200 W																	
<u>CIRKULATIONS Pumpe</u> Pumpeeffekt: 35 W																	
<u>STYRESYSTEM</u> Seta-styring med 4 temperaturfølere. Startdifferens: 10 K Stopdifferens: 0,5 K																	
<u>SOLFANGERKREDS</u> 14 m præ-isoleret 10/8,4 mm kobberrør (med 1 cm PUR isolering)																	
<u>VARMTVANDSFORBRUG</u> Koldt vandstemperatur: 10°C Varmt vandstemperatur: 45°C Volumen: 150 l/dag Forbrugsmønster: <table border="1" data-bbox="662 1697 1225 1832"> <thead> <tr> <th>Tæppetidspunkt</th> <th>Tappevarighed</th> <th>Varmtvandsforbrug</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kl. 7</td> <td>5 min</td> <td>45 l</td> </tr> <tr> <td>kl. 12</td> <td>5 min</td> <td>15 l</td> </tr> <tr> <td>kl. 18</td> <td>5 min</td> <td>45 l</td> </tr> <tr> <td>kl. 20</td> <td>5 min</td> <td>45 l</td> </tr> </tbody> </table>			Tæppetidspunkt	Tappevarighed	Varmtvandsforbrug	kl. 7	5 min	45 l	kl. 12	5 min	15 l	kl. 18	5 min	45 l	kl. 20	5 min	45 l
Tæppetidspunkt	Tappevarighed	Varmtvandsforbrug															
kl. 7	5 min	45 l															
kl. 12	5 min	15 l															
kl. 18	5 min	45 l															
kl. 20	5 min	45 l															
<u>OLIEFYRS-UNIT</u> Tomgangstab: 350 W Fyringsnyttevirkning: 0,85																	
<u>ENERGIPRISER</u> Olie: 0,37 kr/kWh EL: 0,67 kr/kWh																	

Tabel 1. Beregningsforudsætninger for referenceanlæg.

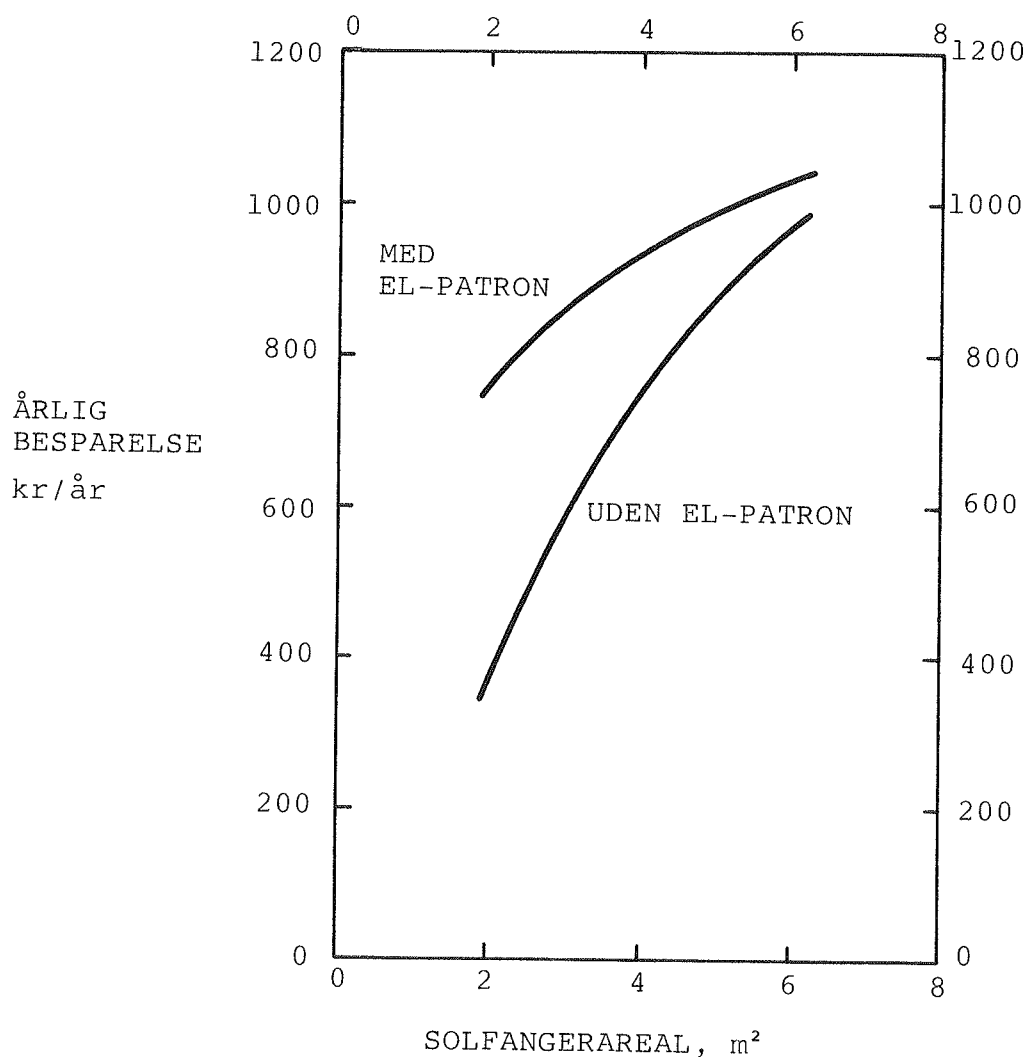
Beregningsresultaterne fremgår af figur 13-28, som viser solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af størrelsen af den enkelte parameter. Betydningen af solfangerarealet og af hvorvidt varmelageret er forsynet med en el-patron eller ej, er vist på figur 13. Den årlige besparelse vokser for voksende solfangerareal. Navnlig for små solfangerarealer er der stor forskel mellem besparelsen for et anlæg med el-patron og besparelsen for et anlæg uden el-patron. Dette skyldes, at en stor del af besparelsen opnås som sparet tomgangstab, idet det om sommeren er muligt at slukke for



Figur 13. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af solfangerarealet og af hvorvidt varmelageret er forsynet med en el-patron eller ej.

olie/gas-fyret. For anlæg uden el-patron og med små solfangerarealer er sommerydelsen for lille til at fyret kan slukkes. Derfor reduceres besparelsen for anlæg uden el-patron voldsomt, når solfangerarealet reduceres. For anlæg med el-patron er sommerydelsen, selv for små solfangerarealer, derimod tilstrækkelig stor til, at det er muligt at slukke fyret.

De tilsvarende forhold er vist for en solfanger med en dårligere effektivitet på figur 14.



Figur 14. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af solfangerarealet og af hvorvidt varmelageret er forsynet med en el-patron eller ej, når solfangerens maksimaleffektivitet er 0,82, og solfangerens varmetabskoefficient er $7,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Når det besluttet, om varmelageret skal forsynes med en el-patron, bør det huskes, at der om sommeren kan forekomme perioder med meget mindre sol end i referenceåret. I sådanne perioder er det fordelagtigt, hvis varmelageret er forsynet med en el-patron. Referenceanlægget, hvis data er anført i tabel 1, er derfor forsynet med en el-patron.

Solfangereffektivitetens betydning for den opnåede besparelse fremgår af figur 15, og styresystemets indflydelse på besparelsen er vist på figur 16. Styresystemet har ikke den store betydning for besparelsens størrelse.

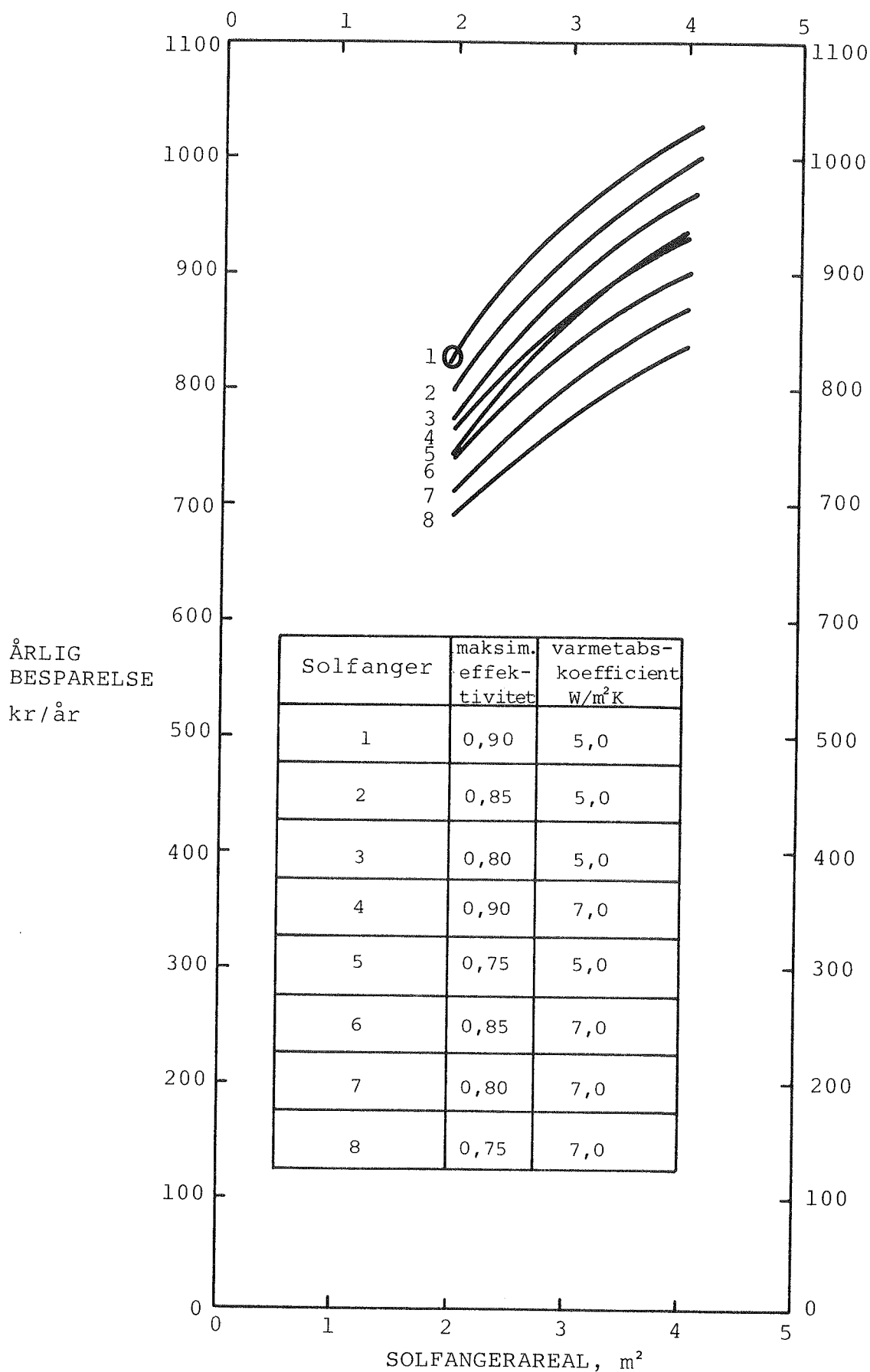
Benyttes en simpel lysfølerstyring i stedet for den avancerede Seta-styring med 4 temperaturfølere, reduceres besparelsen kun lidt. Således reduceres besparelsen med mindre end 1%, hvis pumpen kun er i drift, når solintensiteten på solfangeren er større end en på forhånd indstillet værdi, som ligger i intervallet $50 \text{ W/m}^2 - 300 \text{ W/m}^2$.

Pumpen kan også styres af en enkelt temperaturføler placeret i en lille pilotsolfanger. Anvendelse af en sådan styring vil formodentlig resultere i en større besparelse end anvendelse af lysfølerstyring.

En simpel urstyring af pumpen resulterer i en reduktion af besparelsen på 3,6%, hvis uret sørger for, at pumpen dagligt er i drift i perioden kl. 8⁰⁰-kl. 16⁰⁰. Som det ses af figur 17, kan reduktionen i besparelsen reduceres yderligere, hvis uret indstilles et par gange pr. år, fx. således at pumpen om sommeren kører fra kl. 7 til kl. 17, og om vinteren kører fra kl. 9 til kl. 15. Herved reduceres den årlige besparelse med 2,4% i forhold til besparelsen for anlægget med Seta-styringen. Besparelsen for anlæg med urstyring kan næsten blive lige så stor som besparelsen for anlæg med lysfølerstyring, hvis der foretages en indstilling af uret hver måned.

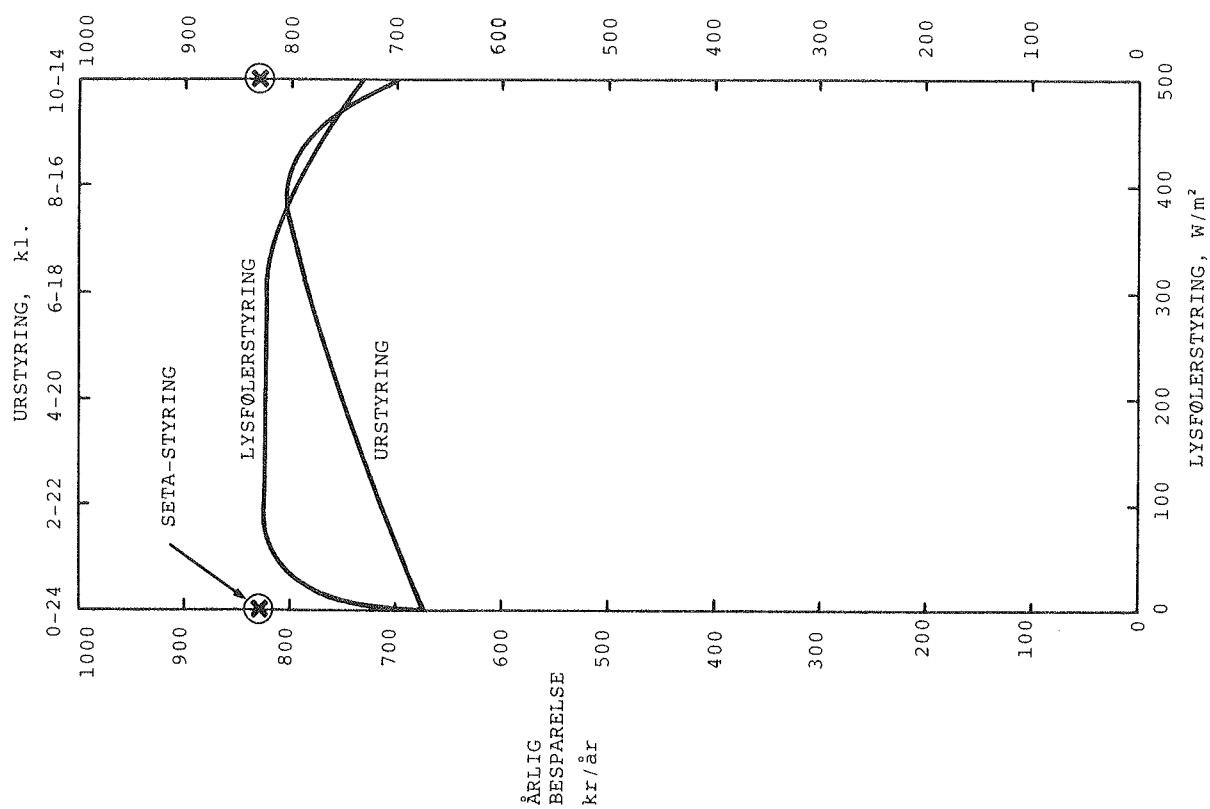
Hvis urstyring af pumpen benyttes, er det vigtigt at indstille uret efter alle strømsvigt af længere varighed.

Det skal understreges, at forudsætningen for at de simple styresystemer kan anvendes er, at varmevekslerspiralen er

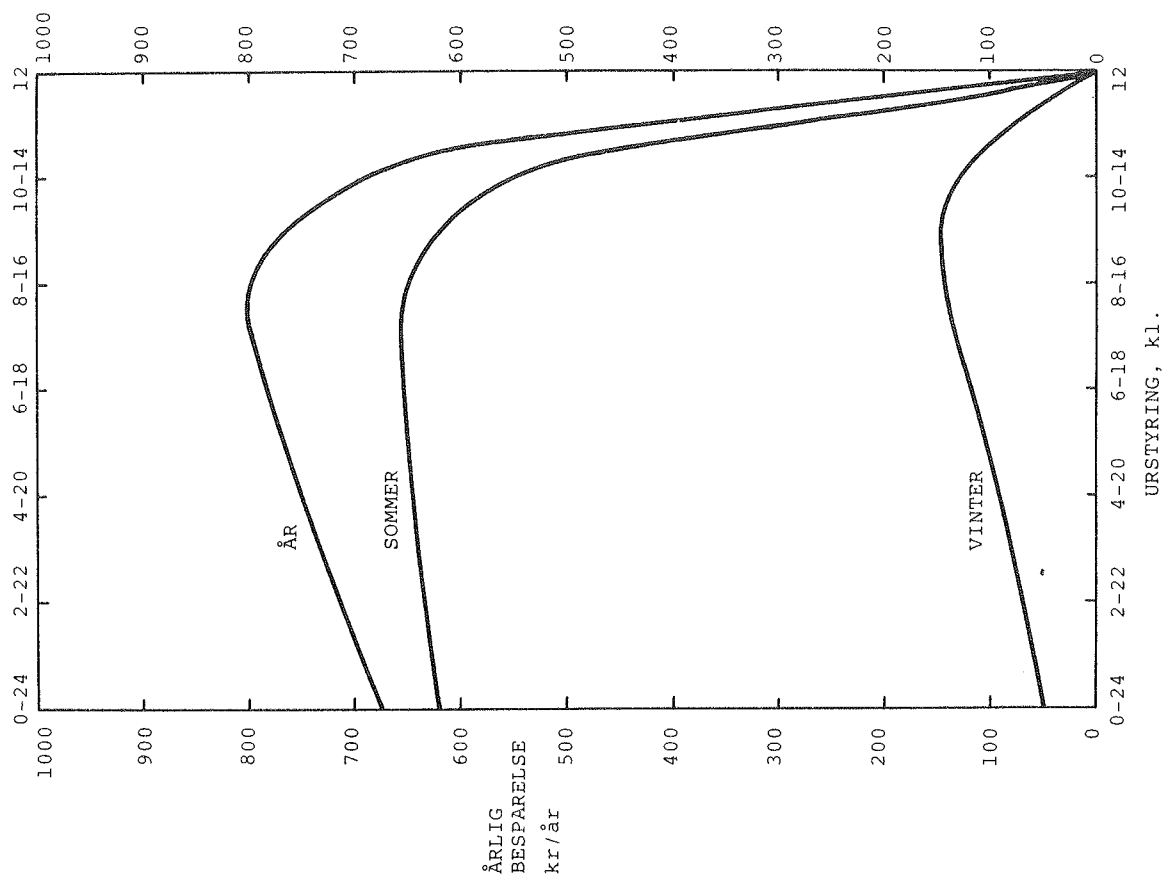


Referenceanlæg: 0

Figur 15. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af solfangerarealet og solfangereffektiviteten.



Figur 16. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af styresystemet.



Figur 17. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af urindstillingen, når pumpen styres af et ur.

placeret nederst i varmelageret, og at rørene til varmevekslerspiralen er ført ud gennem bunden af varmelageret.

Endelig bør det nævnes, at de omtalte reduktioner af den årlige besparelse ved anvendelse af simple styresystemer kan være anderledes, hvis solfangerarealet er større end 2 m^2 .

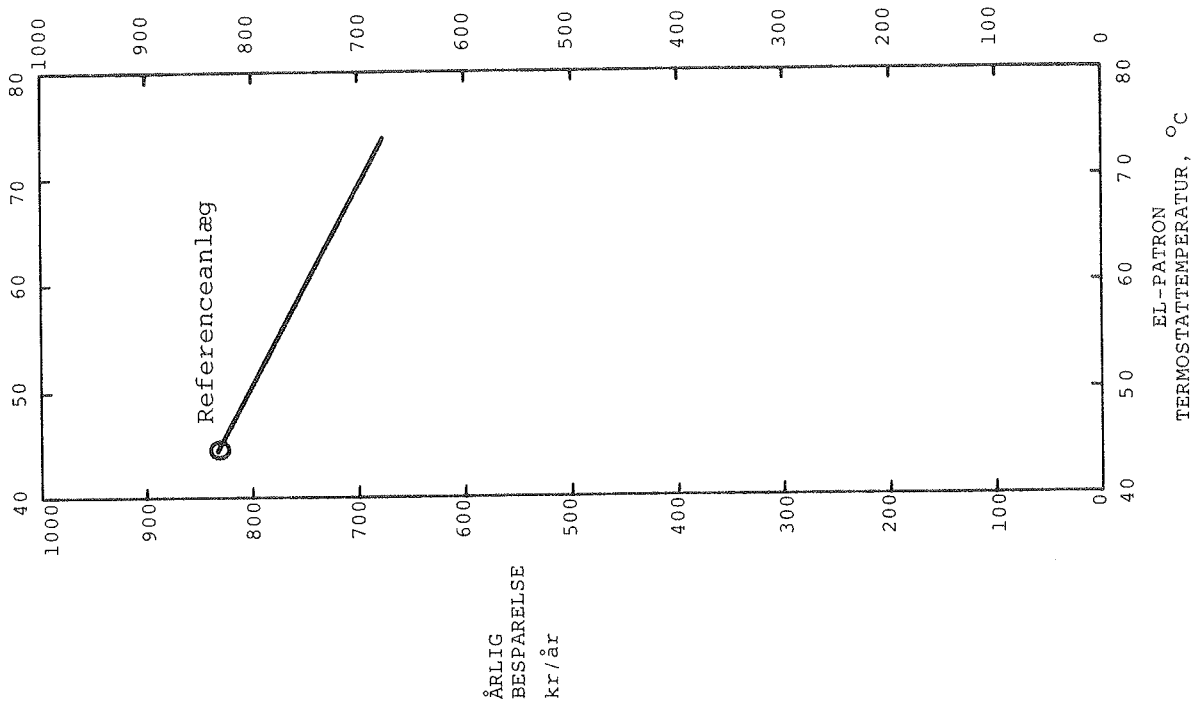
Figur 18 og 19 viser betydningen af el-patronens placering og styring for besparelsen. Både placeringen og styringen har afgørende betydning for besparelsens størrelse. Det er vigtigt, at el-patronen placeres så højt i tanken som muligt, og at el-patronens termostattertemperatur, som bestemmer temperaturniveauet, hvor el-patronens drift påbegyndes og afsluttes, indstilles så lavt som muligt. Naturligvis skal der både ved valget af placeringen og af termostattertemperaturen tages hensyn til det ønskede komfortniveau. I denne forbindelse skal det nævnes, at kravet til temperaturen og volumen af det varme vand, som altid skal være til rådighed øverst i beholderen, i praksis vil variere meget fra familie til familie.

Figur 20 og 21 viser besparelsens afhængighed af solfangerkredsens rør. Små præisolerede rør, som letter installationen, er også ud fra et ydelsesmæssigt synspunkt velegnede.

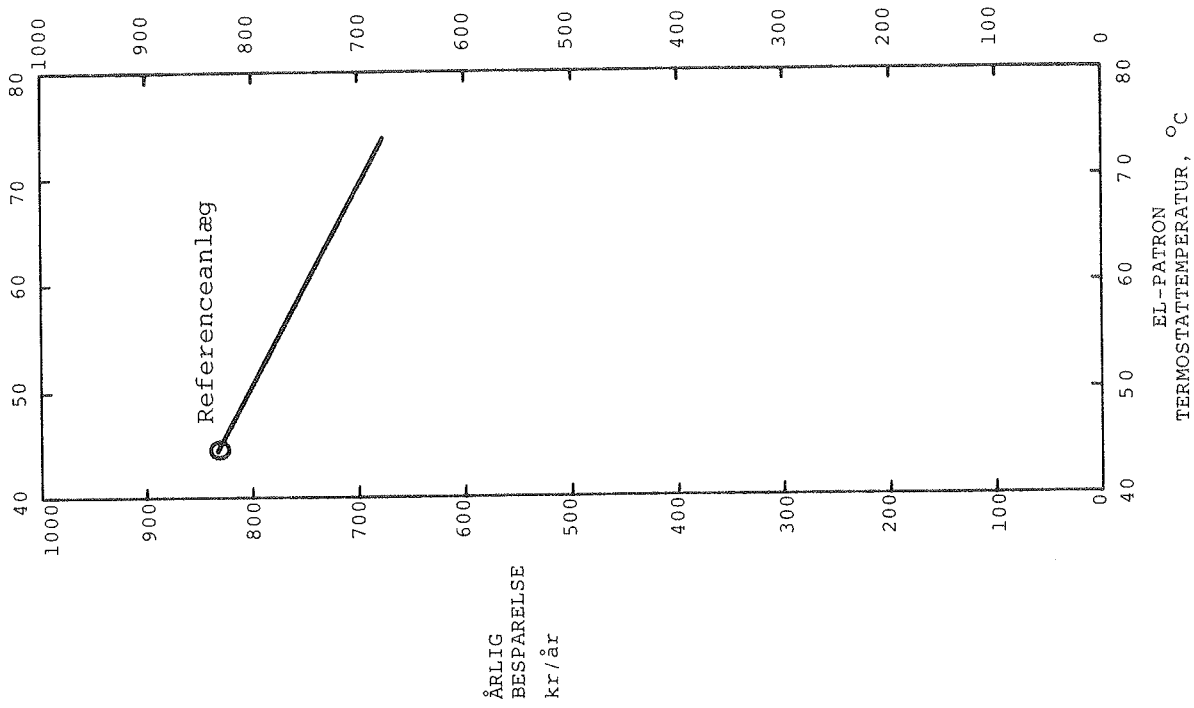
Figur 22 og 23 viser besparelsens afhængighed af henholdsvis varmevekslerspiralens længde og af volumenstrømmen. Når blot varmeveksleren er længere end cirka 5 m, og volumenstrømmen er større end ca. $0,5 \text{ l/min}$, vil besparelsen ikke forøges væsentligt, hvis varmevekslerspiralen forlænges, eller hvis der benyttes en større volumenstrøm.

Figur 24 og 25 viser besparelsens afhængighed af henholdsvis lagervolumenet og af lagerets højde/diameter-forhold. Når blot lagervolumenet er større end 150 l , svarende til det daglige varmtvandsforbrug, og højde/diameter-forholdet er større end ca. 2, vil besparelsen ikke forøges væsentligt, hvis lagervolumenet eller højde/diameter-forholdet forøges.

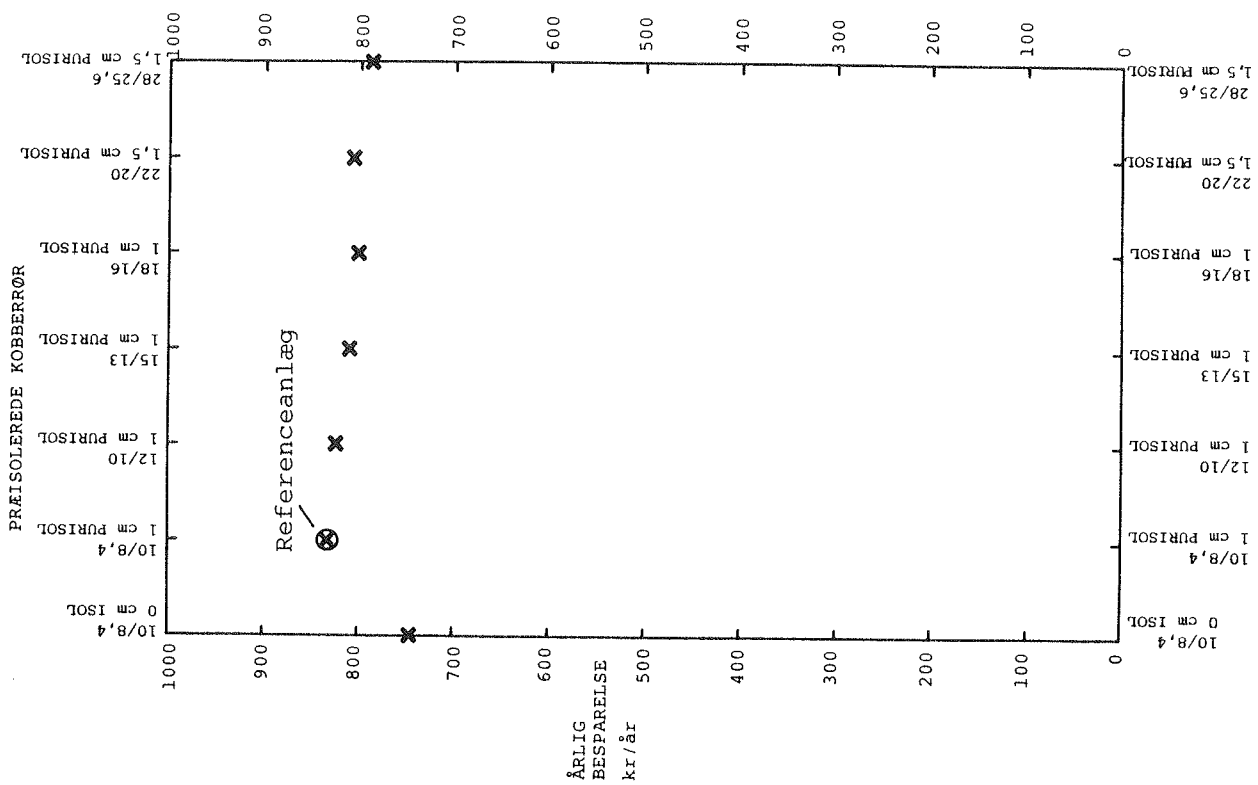
Figur 26-28 viser lagerisoleringstykkelsens betydning for besparelsen. Toppen og siden af beholderen bør isoleres med ca. 3 cm mineraluld, mens bundisoleringens tykkelse er betydningsløs. Bunden bør derfor ikke isoleres.



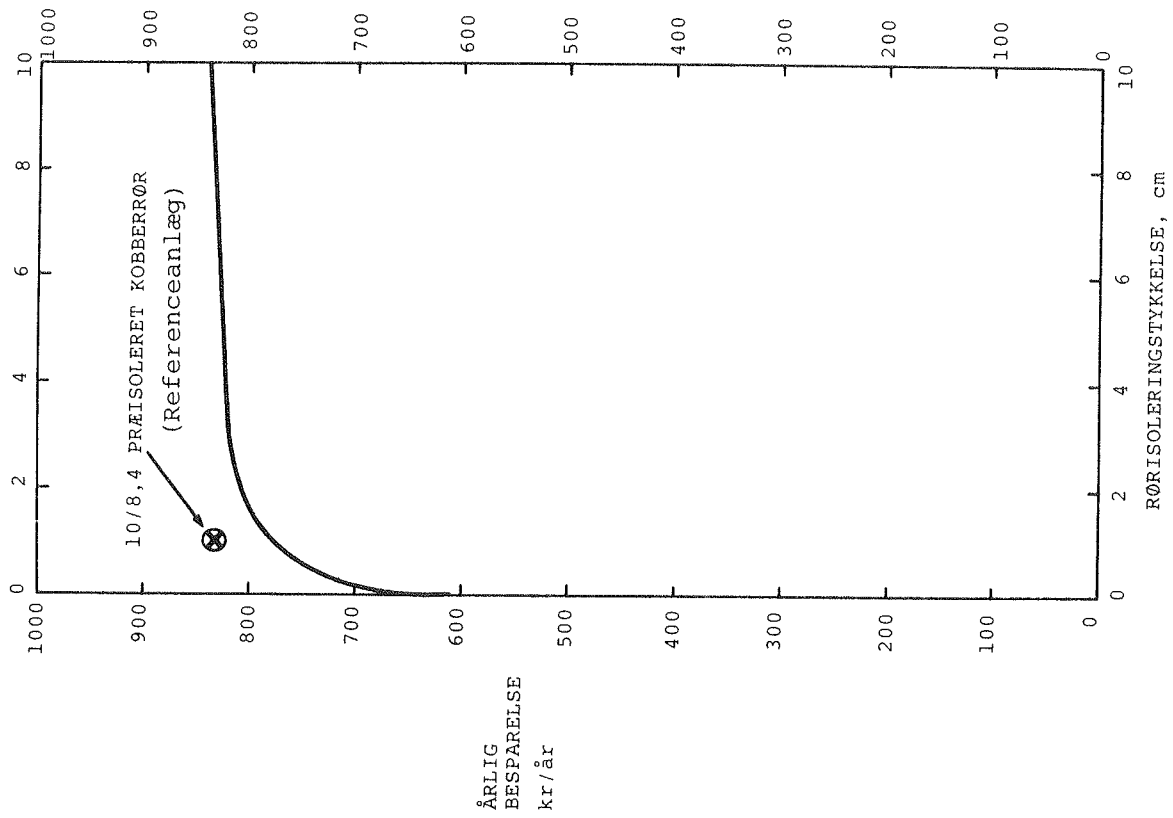
Figur 18. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af el-patronens placering i varmtvandsbeholderen.



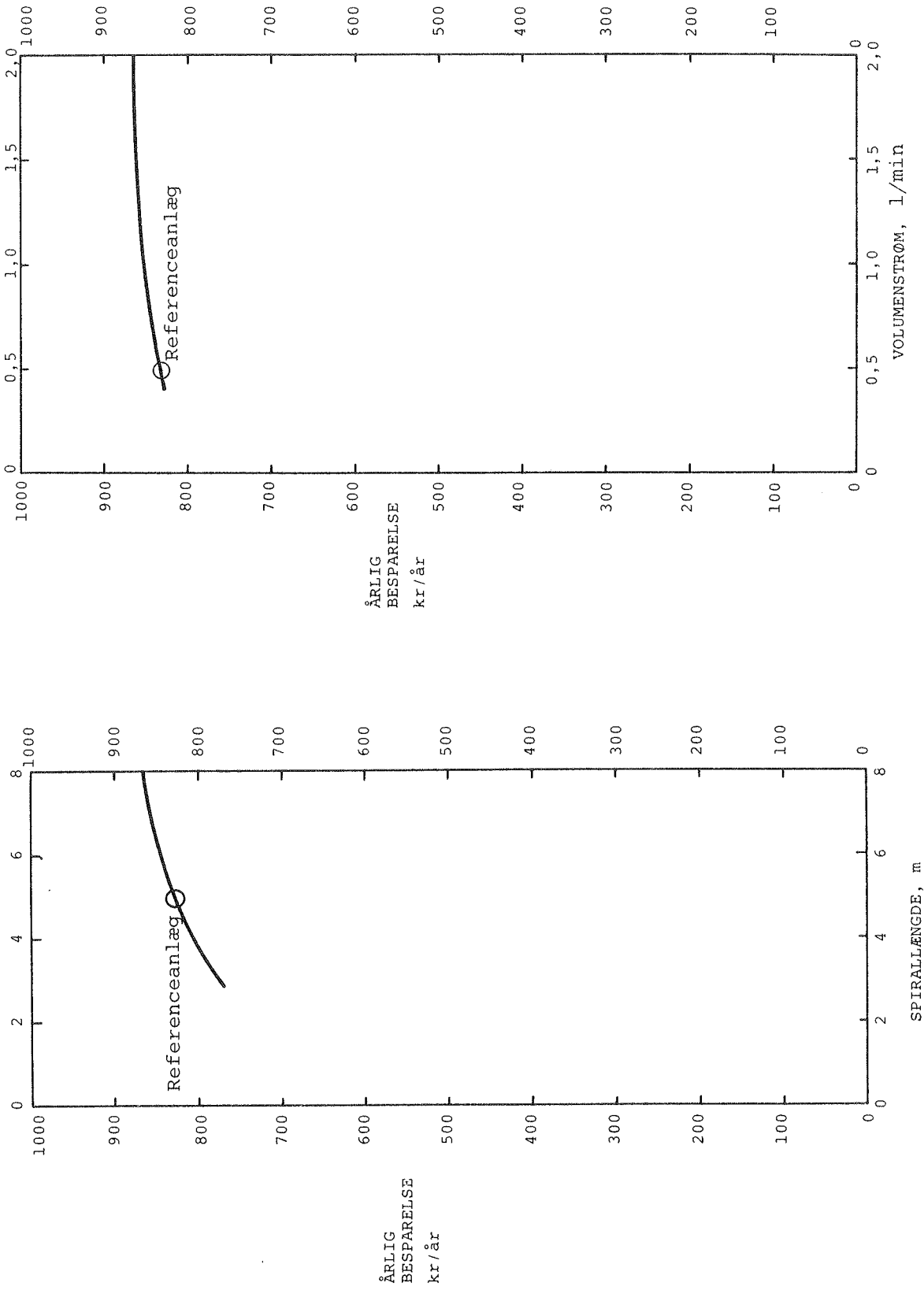
Figur 19. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af el-patronens termostattertemperatur.



Figur 20. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af solfangerkredsens rørdimension.

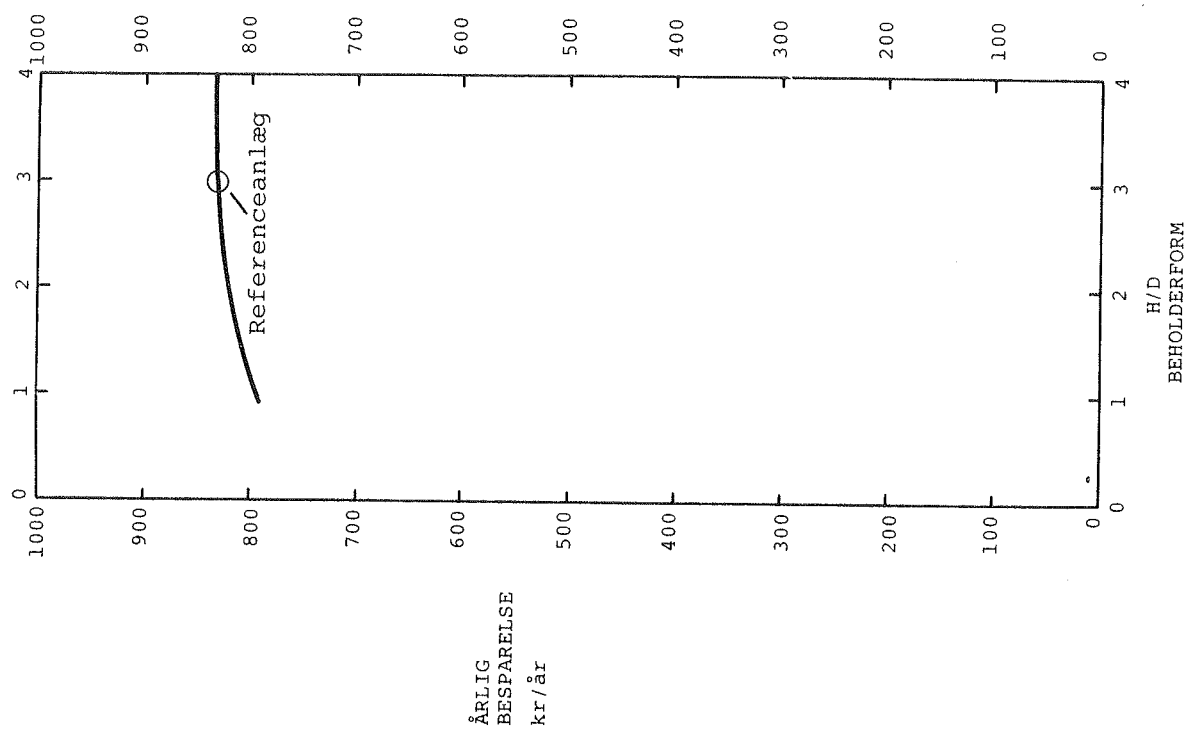


Figur 21. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af solfangerkredsens rørisolering, når der anvendes 3/4" stålrør.

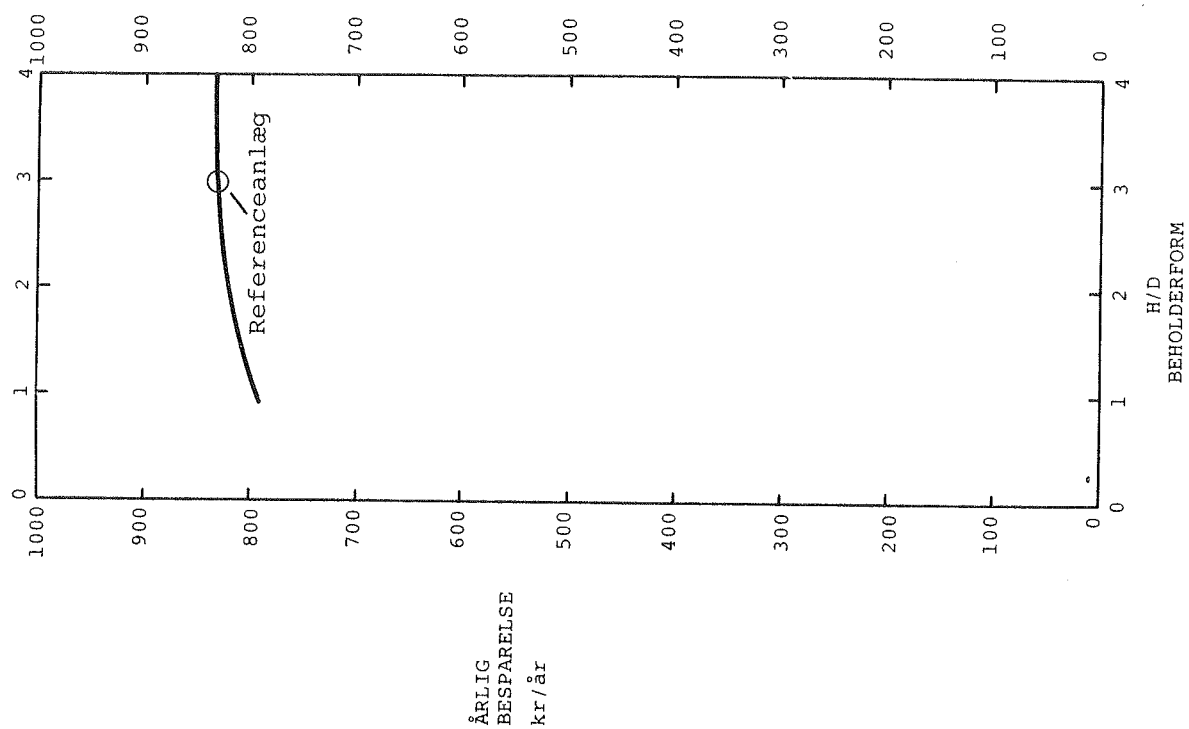


Figur 22. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af varmevekslerspiralens længde.

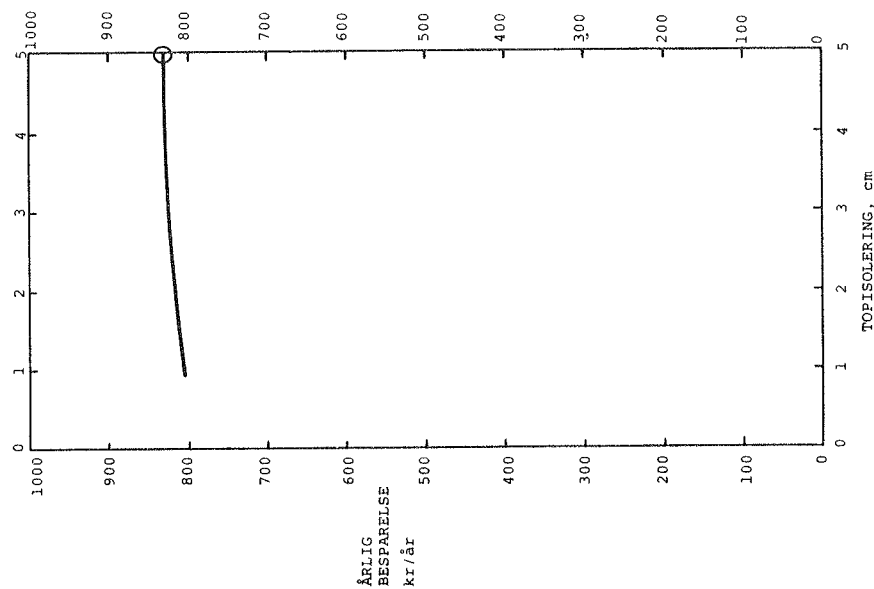
Figur 23. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af volumenstrømmen i solfangerkredsen.



Figur 24. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af lagervolumenet.

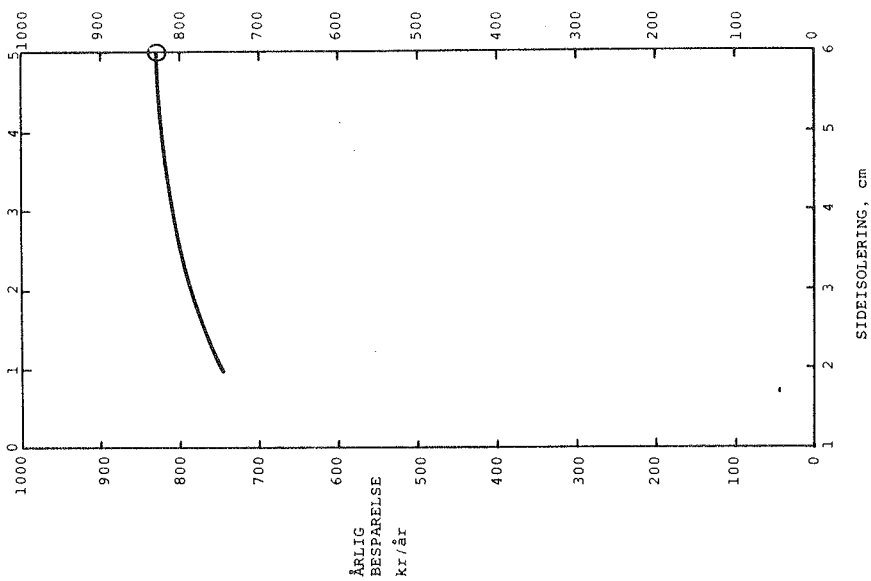


Figur 25. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af højde/diameterforholdet for varmelageret.



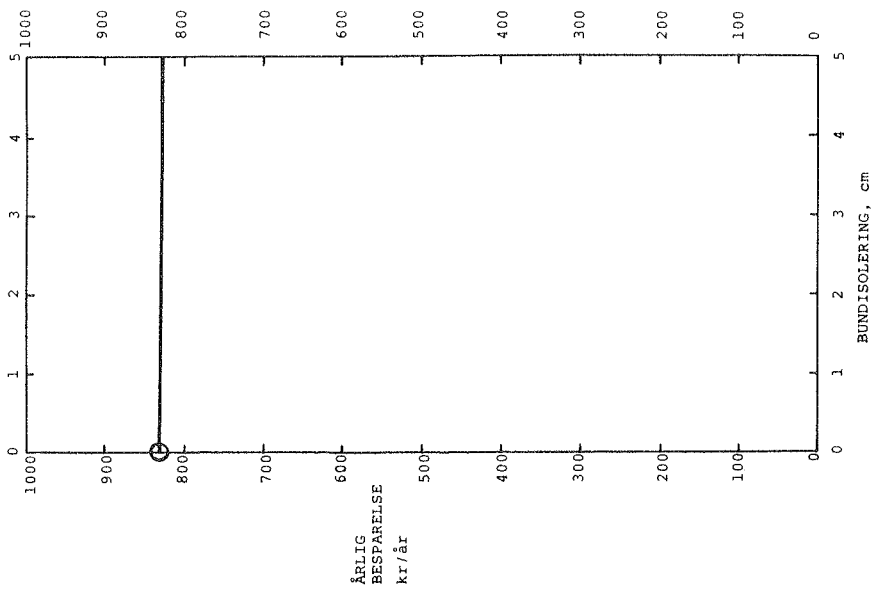
Figur 26. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af isoleringstykkelsen for toppen af varmelageret.

Referenceanlæg: O



Figur 27. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af isoleringstykkelsen for siden af varmelageret.

Referenceanlæg: O

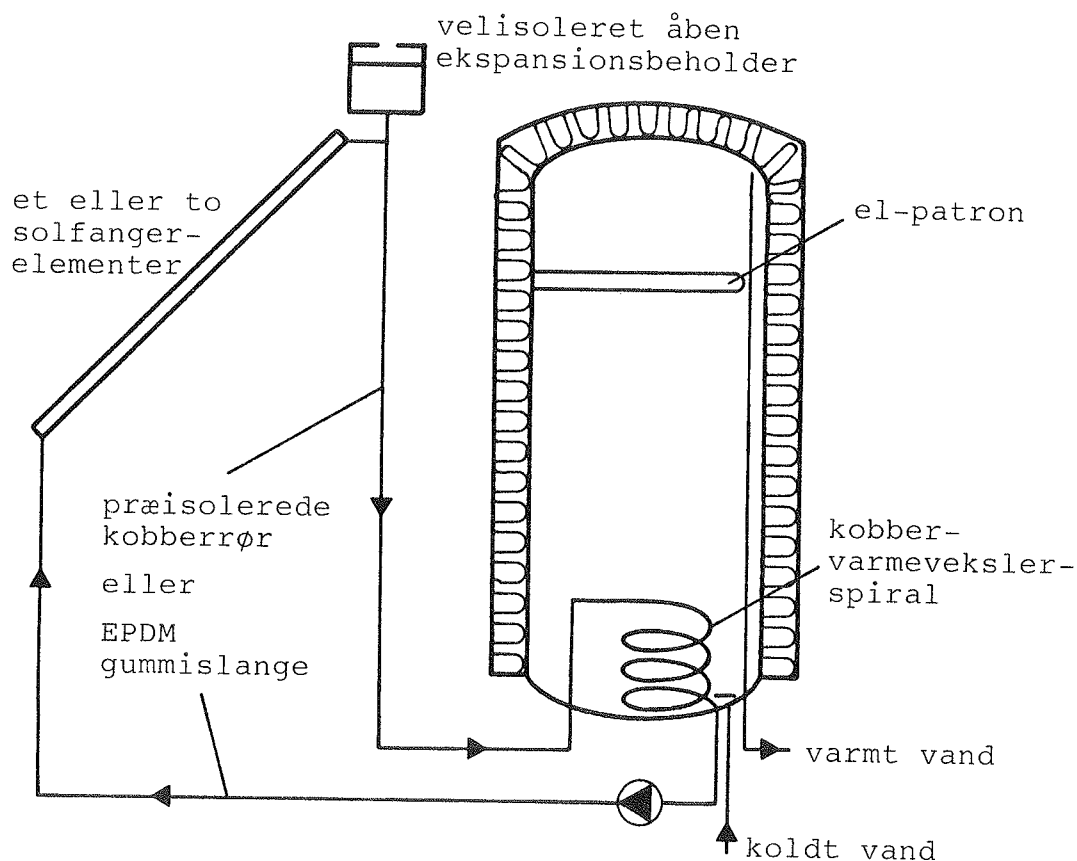


Figur 28. Solvarmeanlæggets årlige besparelse som funktion af isoleringstykkelsen for bunden af varmelageret.

Referenceanlæg: O

3.1.3 Design af solvarmeanlæg med en varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral

På basis af de gennemførte undersøgelser vurderes det, at et solvarmeanlæg til en familie med et dagligt varmtvandsforbrug på 150 l med den på figur 29 viste udformning er attraktivt med hensyn til pris, ydelse og holdbarhed.



Figur 29. Skematisk illustration af solvarmeanlæg med en varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral.

Anlægget tænkes anvendt således, at hele opvarmningsbehovet dækkes af anlægget om sommeren, hvor en el-patron i toppen af lageret er i funktion. Om vinteren, hvor el-patronen ikke er aktiv, forvarmer anlægget brugsvandet.

Solfangervæsken i de solfangere, som markedsføres i Danmark i dag, er enten udelukkende i berøring med kobber, plast eller rustfrit stål. Det er derfor uden større risiko for korrosion muligt at benytte en åben solfangerkreds, hvis der benyttes

en kobbervarmevekslerspiral i varmtvandsbeholderen, og hvis der som rør i solfangerkredsen benyttes gummislanger eller kobberør. Der er altså ikke behov for den tidligere benyttede lukkede solfangerkreds forsynet med en trykekspansionsbeholder, en sikkerhedsventil og et manometer. Solvarmeanlægget kan derfor billiggøres, både med hensyn til prisen for de benyttede komponenter og med hensyn til installationsprisen. Solfangerkredsen bør naturligvis forsynes med en lille åben velisoleret ekspansionsbeholder, som placeres over solfangeren. Denne ekspansionsbeholder er naturligvis udsat for korrosion, hvis der er tale om en stålbeholder.

I øvrigt består solfangeren af 1 eller 2 solfangerelementer med et totalt solfangerareal på ca. 2-4 m². Lagervolumenet er ca. 150-200 l, og beholderen er cylinderformet med et højde/diameter forhold ≥ 2 . Som varmevekslerspiral benyttes ca. 6-8 m 10/8,4 mm kobberør, som placeres i lagerets nederste femtedel. El-patrønen, som har en effekt på omtrent 500-1200 W og en indbygget termostat, placeres i lagerets øverste femtedel.

For at reducere varmelagerets varmetab mest muligt placeres alle lagerets rørgennemføringer i bunden af lageret. Et plastrør fra toppen til bunden af lagertanken benyttes til tapning af varmt vand. Lagerets top isoleres svarende til 5 cm mineraluld, lagerets sider isoleres svarende til 3-5 cm mineraluld, og lagerets bund isoleres ikke.

Som solfangerkredsens rør benyttes enten præisolerede kobberør, fx 10 eller 12 mm rør, som udendørs beklædes med en plastslange til beskyttelse mod sollys, eller EPDM gummi-slanger med en isolering svarende til 1 cm mineraluld.

Som pumpe benyttes en lille cirkulationspumpe, og solfanger-væsken frostsikres til $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Cirkulationspumpen styres enten ved hjælp af et ur eller ved hjælp af en fotocelle.

Solfangerkredsen forsynes ikke med en kontraventil, idet der ved selvcirkulation i solfangerkredsen kun kan tappes ubetydelige energimængder fra varmelageret, i og med varmevekslerspiralen er placeret i den nederste del af varmelageret. Anlægget billiggøres lidt på grund af den sparede kontraventil.

Det vurderes som nævnt, at anlægget, som er beskrevet ovenfor, har en god holdbarhed. Anlægget er desuden på en række punkter forenklet og dermed billiggjort i forhold til markedsførte anlæg i 1985. De foreslåede forenklinger vil ikke påvirke anlægsydelsen nævneværdigt, og det beskrevne anlæg vil derfor have et ydelse/pris-forhold, som er forbedret betydeligt i forhold til ydelse/pris-forholdene for de i 1985 markedsførte anlæg.

3.2 Tømmesystemanlæg

I tømmesystemanlæg tømmes solfangeren for solfangervæske i perioder, hvor solintensiteten ikke er tilstrækkelig til at solfangeren kan producere varme og i perioder, hvor temperaturen i solfangeren bliver så høj, at der er risiko for kogning i solfangeren.

Tømmesystemanlæg kan udformes, så prisen for anlæggets komponenter bliver rimelig lav, samtidig med at installationen bliver relativ let. Tømmesystemanlæg kan derfor opføres rimeligt billigt.

En række komponenter, som normalt benyttes i små solvarmeanlæg, kan undværes. Det gælder fx kontraventil, ekspansionsbeholder og sikkerhedsventil.

Da der ingen problemer er med frysning og kogning, kan vand benyttes som solfangervæske. Da solfangeren kan tømmes ved høje temperaturer i lageret, kan relativt billige plastmaterialer benyttes til lagerbeholderen. Desuden er skoldningssikring unødvendig. Endvidere vil anvendelsen af plast- eller gummirør eller -slinger kunne lette installationen af anlægget.

Det bør nævnes, at tømmeanlæg må formodes at have begrænset levetid, hvis der i solfangerkredsen indgår kobber, og hvis der ved hver tømning tilføres ny luft til systemet. Iltning vil i så fald forårsage en langsom korrosion.

En række forskelligt udformede tømmesystemanlæg blev skitseret og vurderet med hensyn til pålidelighed, pris, ydelse

og holdbarhed. På basis heraf vurderes det, at et solvarmeanlæg, som det på figur 30 skitserede, er attraktivt.

Varmelageret består af en PE-tank på ca. 200 l. I PE-tanken er der neddykket en varmtvandsbeholder på ca. 100 l. Dækslet på varmtvandsbeholderen er samtidig låg på PE-tanken.

Beholderen isoleres med ca. 5 cm mineraluld på siderne og med ca. 10 cm på toppen, eventuelt som granulat.

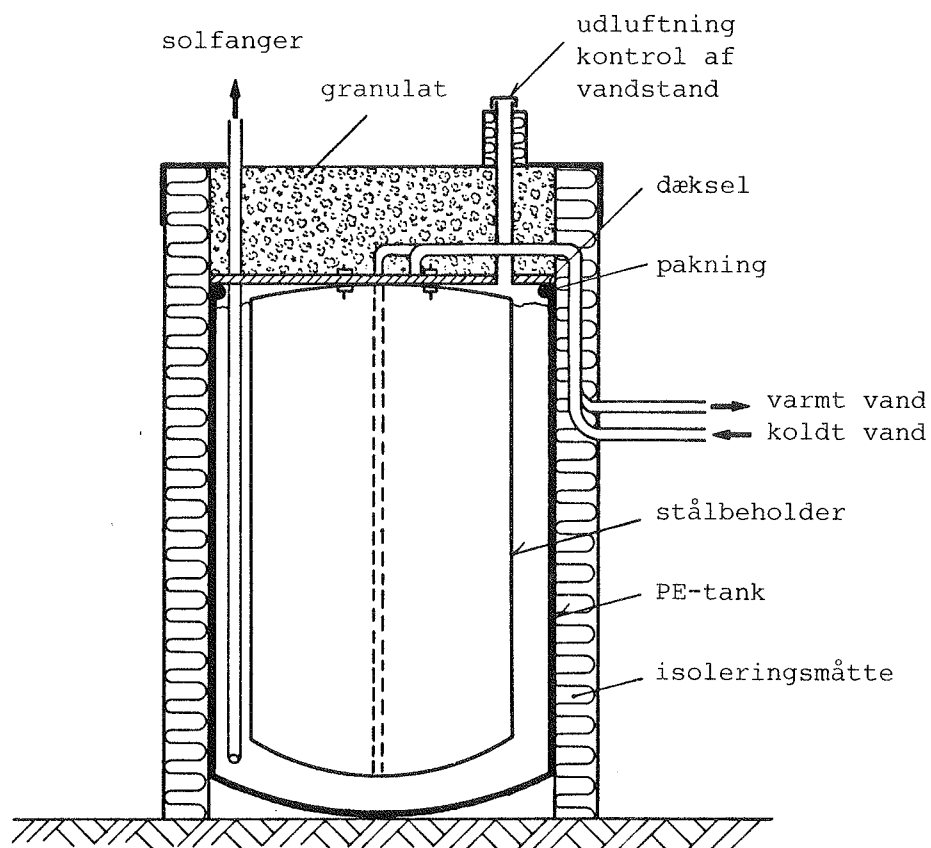
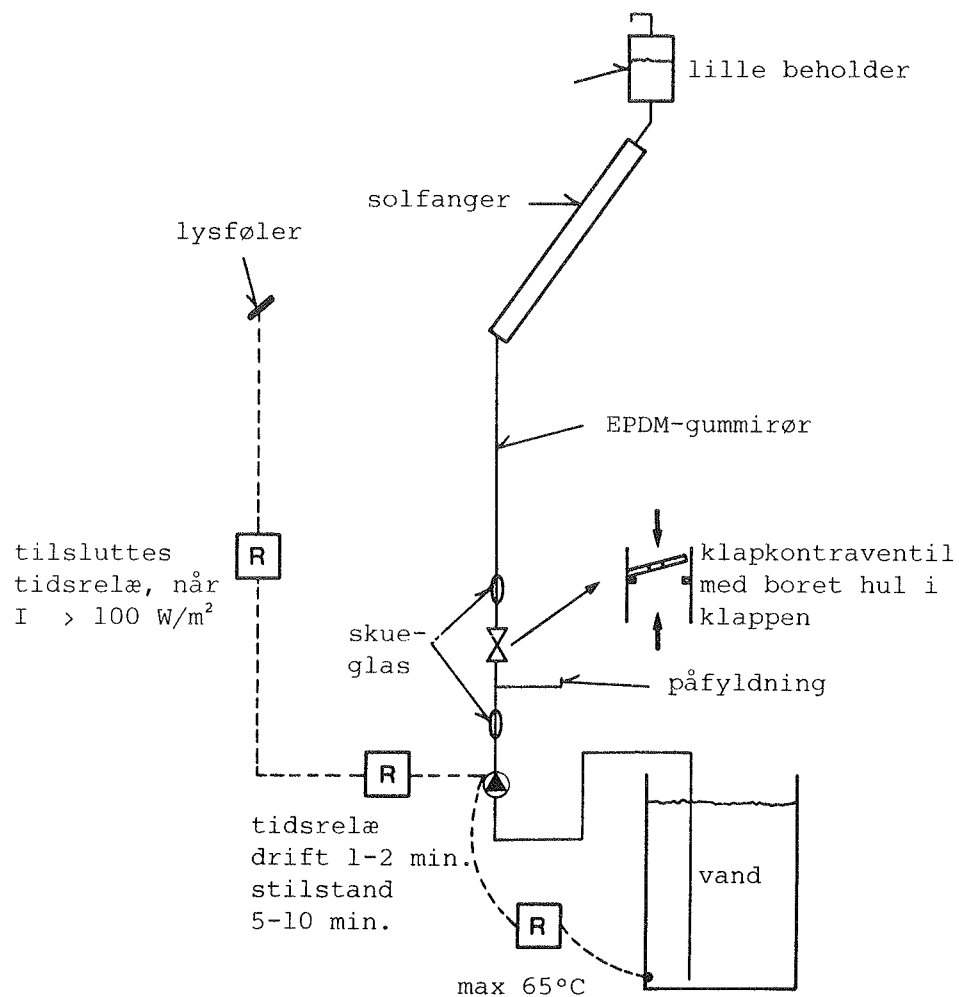
Varmtvandsbeholderen kan være af rustfrit stål eller af stål, som korrosionsbeskyttes både indvendigt og udvendigt. Pakningen mellem låget og plastbeholderen kan være en gennemskåret slange af EPDM-gummi.

Solfangerkredsen er et tømmesystem, hvor solfangeren fyldes og tømmes gennem det samme rør. Princippet er, at pumpen er styret så den er i drift i omkring 2 min., indtil den lille beholder oven over solfangeren er fyldt godt op med vand. Derefter står pumpen stille i omkring 5-10 min., indtil det opvarmede vand er løbet tilbage til varmelageret. Herefter starter pumpen påny. Der er i solfangerrøret monteret en klapkontraventil, der lukker op, når vandet pumpes op. Ved tilbageløb løber vandet gennem et lille 2-3 mm hul, der er boret i klappen.

Ved en lagertemperatur på ca. 65°C stopper pumpen, således at lageret ikke opvarmes yderligere. Pumpen styres foruden af termostaten og tidsrelæet af en lysføler. Styringen virker som en skoldningssikring og beskytter beholderen mod høje temperaturer.

Som solfangerrør kan fx benyttes en 3/4" EPDM-gummislange isoleret med ca. 2 cm mineraluld eller lignende. Den nederste del af røret kan eventuelt af hensyn til driftskontrol erstattes af en gennemsigtig silikonegummislange.

På Laboratoriets forsøgsareal blev der i foråret 1985 opført et solvarmeanlæg for at undersøge, om principperne for det ovenfor beskrevne anlæg holder i praksis. Der blev gennemført en række forsøg med det opførte anlæg, og forsøgene viste, at de omtalte principper fungerer problemløst. Det



Figur 30. Principskitse af det afprøvede anlæg øverst og af det benyttede varmelager nederst.

vurderes, at den specielle solfangerkreds og den specielle pumpedrift ikke vil reducere anlægsydelsen nævneværdigt i forhold til anlægsydelsen for et anlæg med en normal solfangerkreds og væskecirkulation.

De gennemførte undersøgelser viser, at det beskrevne tømme-systemanlæg fungerer godt.

3.3 Anlæg hvor en eksisterende varmtvandsbeholder anvendes som lager

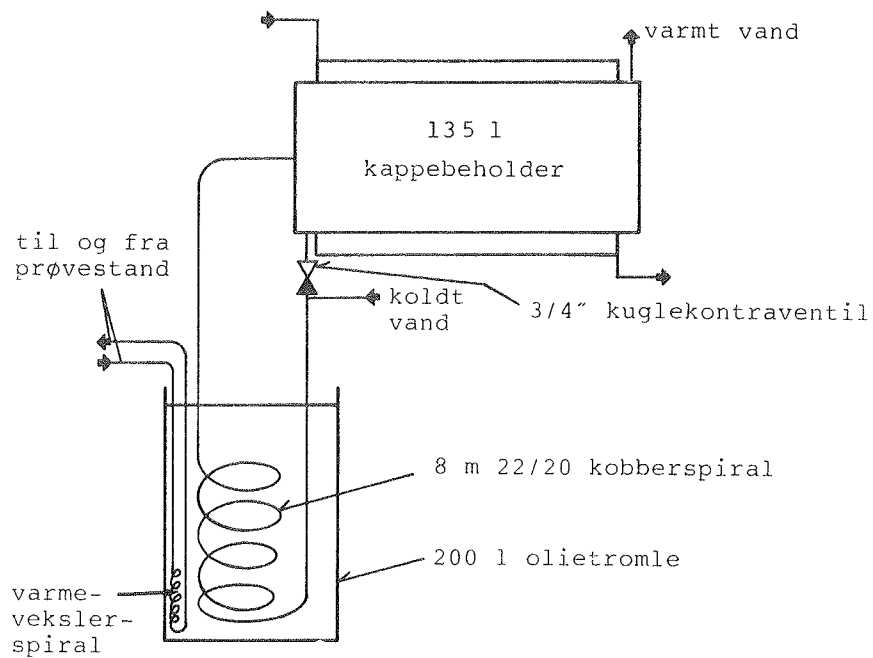
Benyttes en eksisterende varmtvandsbeholder som varmelager for et solvarmeanlæg, kan der opnås en besparelse, idet varmelageret normalt udgør en relativ stor del af solvarmeanlægsprisen. Der er derfor gennemført forsøg for at undersøge, hvorledes varmevekslingssystemet mellem solfangerkredsen og den eksisterende varmtvandsbeholder kan udformes.

Udgangspunktet blev taget i en vandretliggende cylinderformet kappebeholder, som er almindelig i mange ældre brugsvandsanlæg. Sådanne kappebeholdere er normalt forsynet med en del studse, som gør det muligt at installere en lukket varmevekslingskreds, hvori brugsvandet kan opvarmes ved selv-cirkulation.

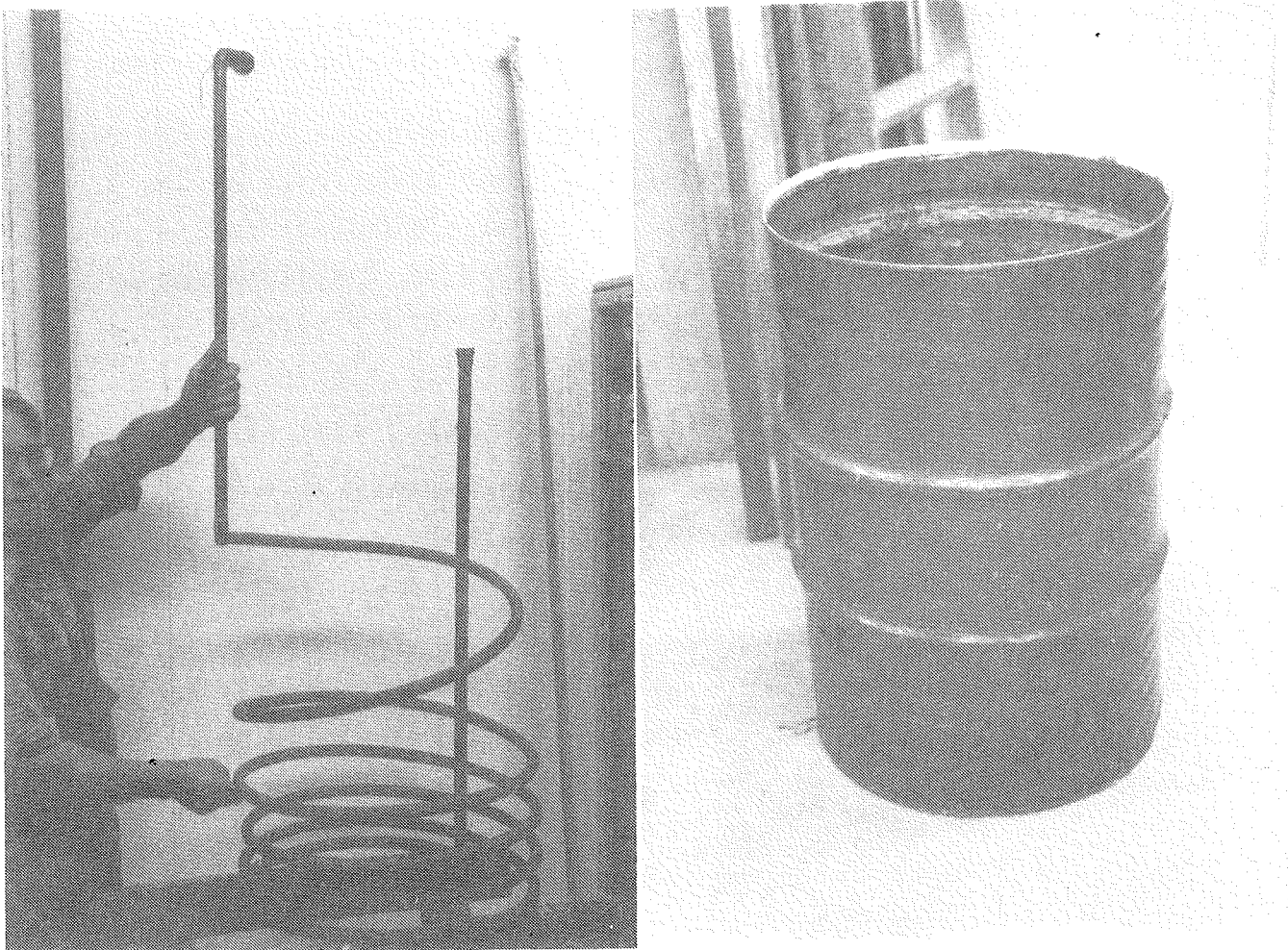
Den benyttede forsøgsopstilling er skematisk vist på figur 31.

Varmevekslingskredsen, hvori brugsvandet opvarmes ved selv-cirkulation, og olietromlen, hvori en del af varmevekslingskredsen placeres, er vist på figur 32.

En række billige trykløse tanke, som kan indeholde varmevekslingskredsen, kan benyttes. Ligeledes kan varmen fra solfangerkredsen til den trykløse tank overføres på forskellige måder. I forsøgsopstillingen benyttes en separat varmevekslerspiral, som er placeret i bunden af den trykløse tank. Denne varmevekslerspiral er koblet til varmelagerprøvestanden. Anlægget er også velegnet, hvis det opføres som et tømme-systemanlæg.



Figur 31. Skematisk illustration af forsøgsopstillingen.



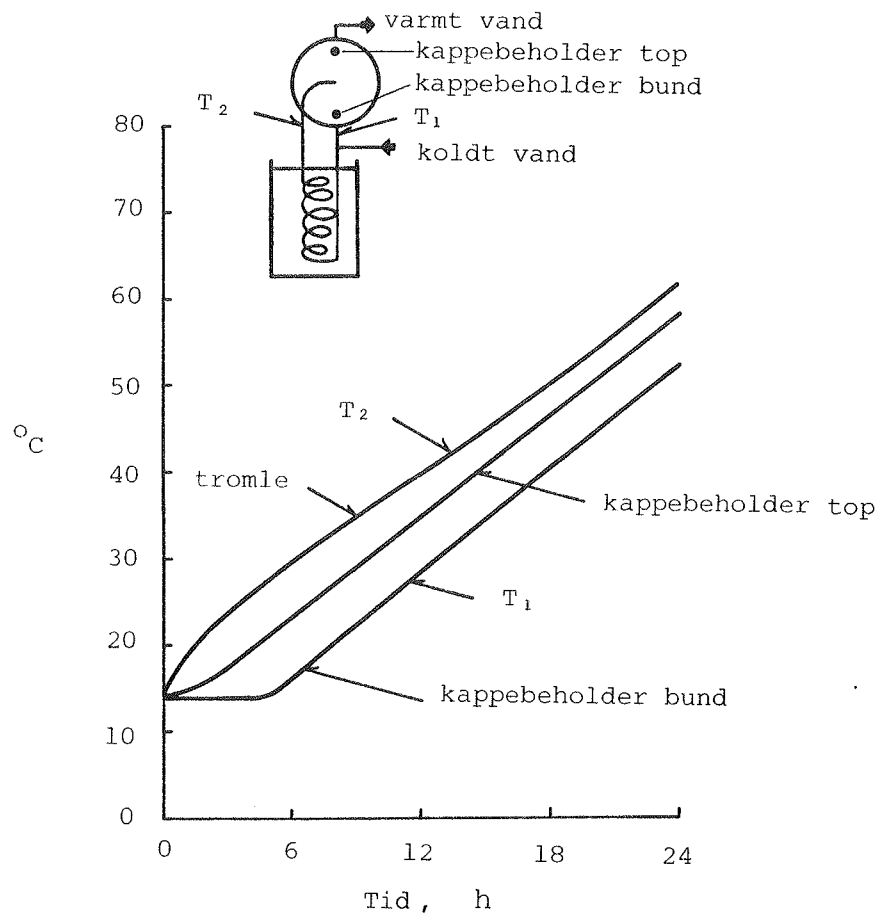
Figur 32. Det benyttede 8 m lange 22/20 mm kobberrør hvor brugsvandet opvarmes ved selvcirkulation og olietromlen hvori spiralen placeres.

Hele varmevekslingskredsen, hvori brugsvandet cirkulerer, er udført af 8 m 22/20 mm kobberrør. Det kolde vand tilføres varmevekslingskredsen så tæt på varmtvandsbeholderen som muligt. Mellem koldtvandstilførslen og varmtvandsbeholderen installeres en kuglekontraventil. Denne kontraventil sikrer, at det kolde vand forvarmes i den trykløse tank under varmtvandstapninger.

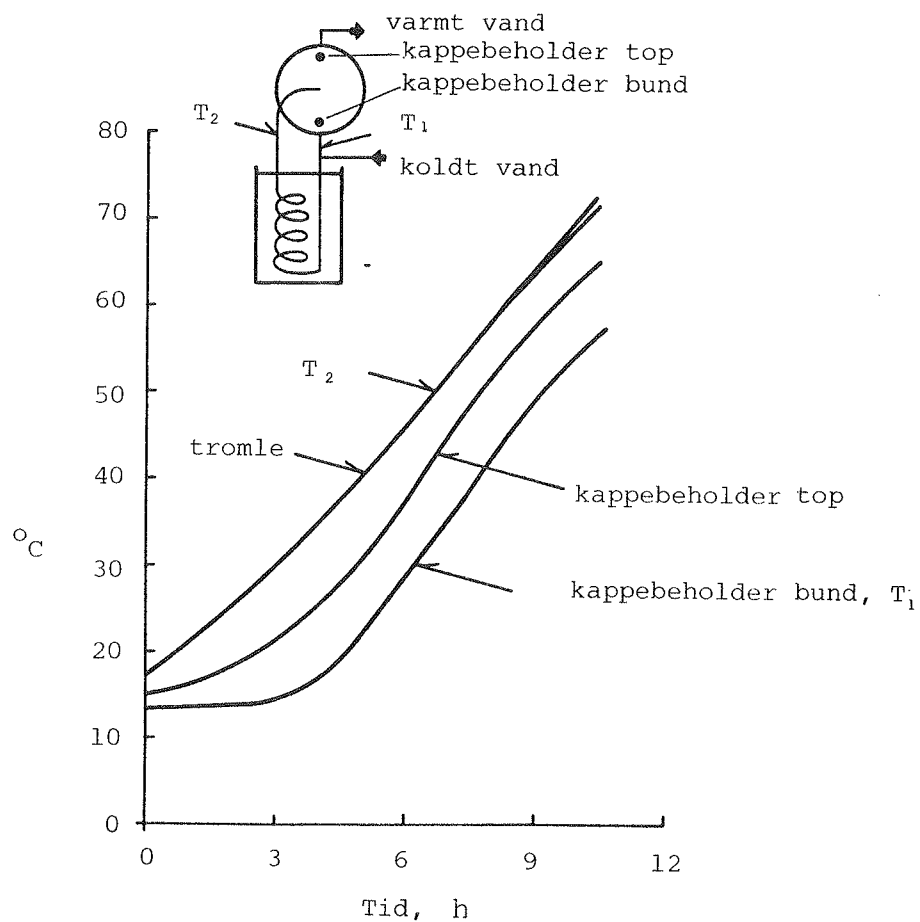
En række opvarmningsforsøg, tappeforsøg og dynamiske forsøg blev gennemført med den beskrevne opstilling. For to opvarmninger med henholdsvis en lille og en stor effektoverførsel fra prøvestanden til olietromlen er de målte anlægstemperaturer vist på figur 33 og 34. Volumenstrømmen i varmevekslingskredsen under opvarmningerne med henholdsvis ca. 400 W og 1400 W bliver henholdsvis ca. 0,6 l/min og 1 l/min. På basis af de målte temperaturer vurderes det, at varmeoverføringsevnen fra olietromlen til brugsvandet er tilstrækkelig stor.

Figur 35 viser varmtvandstemperaturen under en tapning efter en fuldstændig opvarmning af varmtvandsbeholderen til 60°C. Det ses, at varmtvandstemperaturen falder allerede efter tapningen af omtrent halvdelen af varmtvandsbeholderens volumen. Det skyldes, at der foregår en betydelig opblanding i hele den nederste halvdel af beholderen under tapningen. Opblandingen er forårsaget af, at det kolde vand tilføres beholderens midte. Kontraventilen bevirker altså, at det kolde vand forvarmes - til gengæld bevirker kontraventilen, at der skabes kraftig omrøring i den nederste halvdel af beholderen. Nærmere undersøgelser bør derfor klarlægge, om anlægget skal forsynes med en kontraventil eller ej.

En række dynamiske forsøg blev gennemført både med og uden kontraventil. Forsøgene med kontraventil viste, at selv-cirkulationen i varmevekslingskredsen ikke går i gang efter alle varmtvandstapninger, selvom olietromlen er meget varmere end kappebeholderen. Dette skyldes, at temperaturforholdene



Figur 33. Anlægstemperaturer under en opvarmning med en effekttilførsel på ca. 400 W.



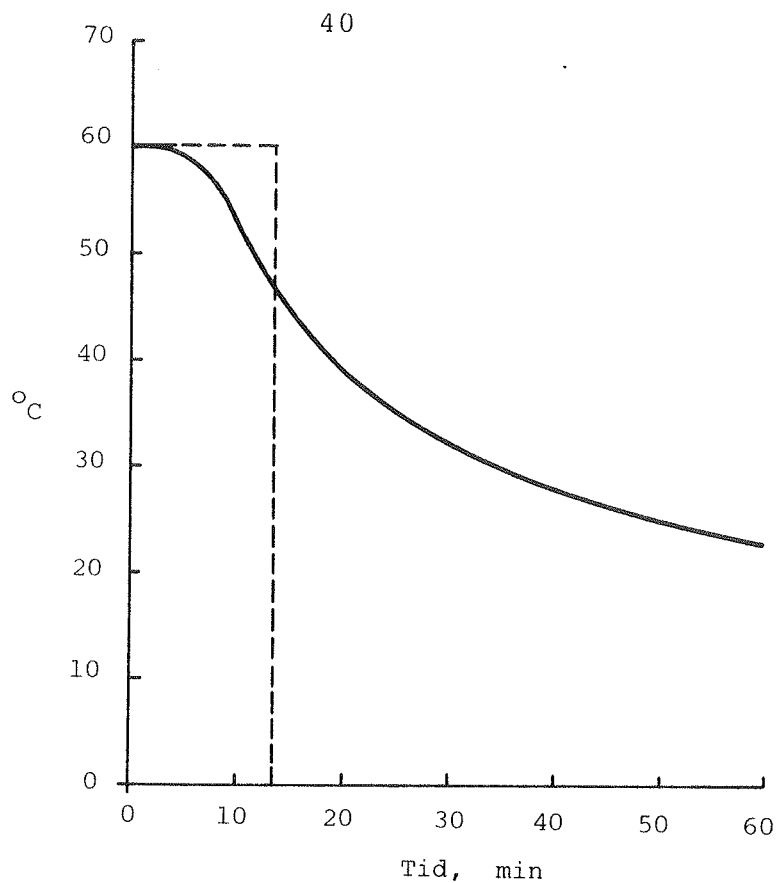
Figur 34. Anlægstemperaturer under en opvarmning med en effekttilførsel på ca. 1400 W.

i den del af kredsen, som er beliggende over koldtvands-tilførslen, prøver at presse vandet den forkerte vej rundt i kredsen. Ønsker man at forsyne kredsen med en kontraventil er det derfor vigtigt, at koldtvandstilførslen placeres så højt som muligt, at varmevekslingskredsens returrør til varmtvandsbeholderen placeres lavest muligt, og at der benyttes samme rørmateriale i hele kredsen.

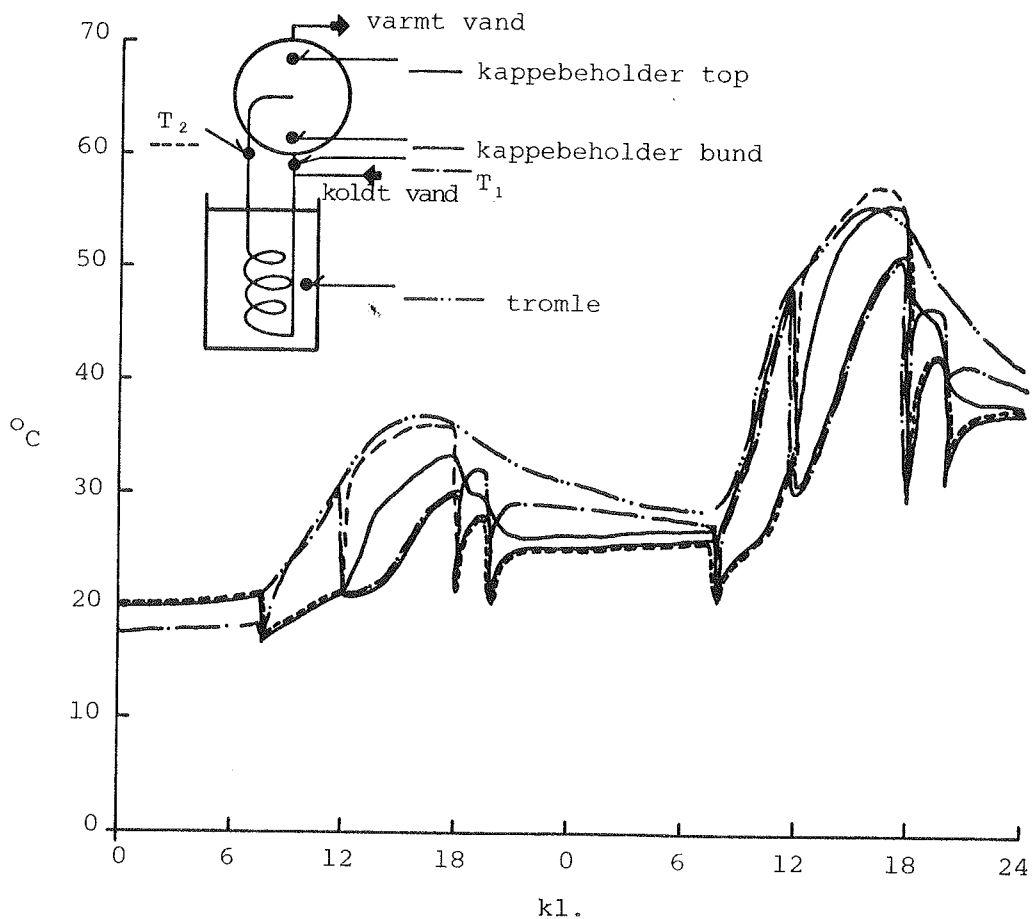
Figur 36 viser målte anlægstemperaturer i et dynamisk forsøg med en varighed på to dage, uden kontraventil installeret i varmevekslingskredsen. Den første dag er solindfaldet relativt lille, den anden dag er solindfaldet stort. Der tappes varmt vand fra varmtvandsbeholderen fire gange dagligt, kl. 8, 12, 18 og 20. Varmeoverførslen til kappebeholderen er god, idet kappebeholderen opvarmes rimeligt hurtigt. De målte temperaturer viser, at cirkulationsretningen i varmevekslingskredsen skifter igennem forsøget. Anlæg uden kontraventil er således velegnede uden at der stilles specielle krav til, hvor varmevekslingskredsen tilsluttes varmtvandsbeholderen.

Forsøgene viste et eksempel på, hvorledes anlægstypen kan bringes til at fungere problemløst, uden at varmevekslingsprisen bliver urimelig stor.

Anlægstypen kan også udformes, så den bliver mindre pladskrævende. For eksempel kan den trykløse lagertank undværes, hvis varmevekslingskredsen i stedet for forsynes med en lille kompakt varmeveksler. Varmevekslingskredsen forsynes også med en lille cirkulationspumpe, som sørger for tilstrækkelig cirkulation af brugsvandet i kredsen. Varmen fra solfangerkredsen overføres til brugsvandet i varmeveksleren. Også denne udformning vil være rimelig billig.



Figur 35. Varmtvandstemperaturen under en varmtvandstapning efter en fuldstændig opvarmning til 60°C. Volumenstrømmen under tapningen: 10,2 l/min.



Figur 36. Anlægstemperaturer igennem 2 dages dynamiske forsøg.

3.4 Vurdering af de tre anlægstyper

Projektets formål var, på basis af de gennemførte undersøgelser og fabrikanternes prisfastsættelser, at udpege og opføre det anlæg, som udviser bedst rentabilitet.

Alle solfangerfabrikanterne blev derfor indbudt til et orienterende møde om undersøgelserne af de tre anlægstyper: Et traditionelt anlæg med en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral, et tømmesystemanlæg og et anlæg, som benytter en eksisterende varmtvandsbeholder som varmelager. Mødet blev afholdt i april 1985 med de interesserede fabrikantter. Fabrikanterne havde på mødet mulighed for at fremkomme med deres kritik og vurdering af de tre foreslåede anlægsudformninger.

På mødet var der stor interesse for det foreslåede traditionelle anlæg og for tømmesystemanlægget. Til gengæld havde fabrikanterne den erfaring, at anvendelse af eksisterende varmtvandsbeholdere kan være særdeles uheldig. Gamle varmtvandsbeholdere, som sandsynligvis kan holde i mange år under vandværkstryk, kan nemlig tage skade af, at vandværkstrykket kortvarigt fjernes under solvarmeanlæggets installation. Eksempelvis kan løse rustflader, som ligger helt fast og sørger for at beholderen forbliver tæt så længe beholderen er under tryk, løsnes når trykket fjernes, således at beholderen pludselig er utæt, når den igen sættes under tryk. Solvarmeanlægget vil derfor få skylden for at varmtvandsbeholderens levetid forkortes, og anlægstypen kan derfor ikke anbefales.

For at finde anlægget, som udviste bedst ydelse/pris-forhold og som skulle opføres som demonstrationsanlæg, blev alle solfangerfabrikanterne efter mødet indbudt til at prissætte det traditionelle anlæg, som er beskrevet i afsnit 3.1.3 og tømmesystemanlægget, som er beskrevet i afsnit 3.2.

Fem fabrikantter prissatte de to anlægstyper i juni og juli 1985. Ikke alle de fem fabrikantter prissatte begge anlægstyper. Fabrikantpriserne varierede for det traditionelle

anlæg med ca. 4 m² solfangerareal fra 18.000 kr. til 28.400 kr. incl. installation og moms og excl. statstilskud. For tømme-systemanlægget varierede priserne fra 10.400 kr. til 23.100 kr. Bemærkelsesværdigt er det, at den enkelte solfangerfabrikants pris næsten var den samme for de to anlægstyper.

Det vurderes derfor, at rentabiliteten for de to anlægstyper stort set vil være den samme. På basis af de oplyste priser og af ydelsesberegninger vurderes det endvidere, at rentabiliteten for anlæg med et solfangerelement og anlæg med to solfangerelementer stort set er den samme.

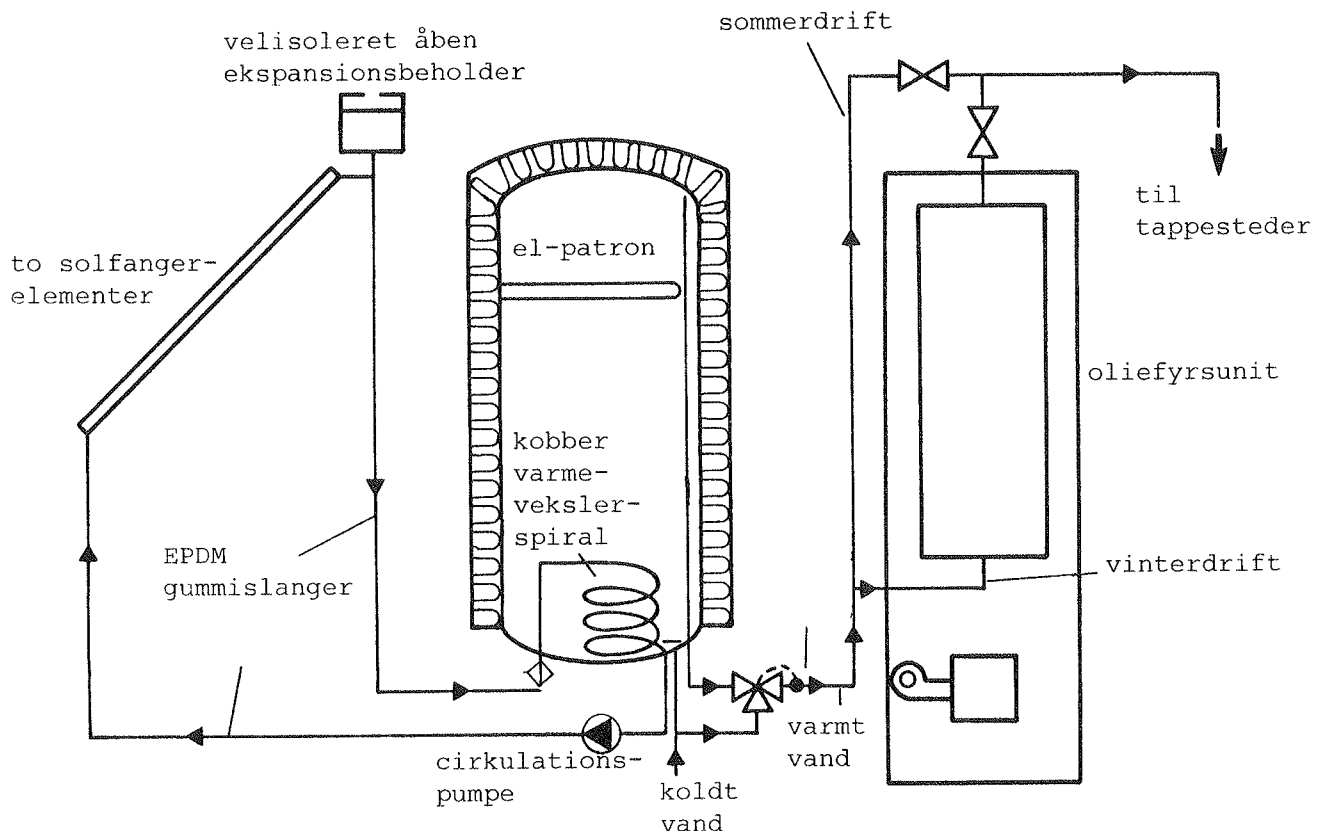
På grundlag af fabrikantpriserne blev det besluttet at lade Batec opføre et traditionelt anlæg med to solfangerelementer som demonstrationsanlæg.

4. DEMONSTRATIONSANLÆG

Som nævnt blev det i sommeren 1985 besluttet at lade Batec levere et demonstrationssolvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Anlægget, som blev opført i et eksisterende hus med en olie-fyrsunit, har som varmelager en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral. Formålet var at eftervise, dels at anlægget blev så billigt som forventet, dels at anlægsydelsen blev så stor som forventet. Der blev derfor før opførelsen foretaget en række beregninger af anlægsydelsen for at fastlægge den endelige udformning, og efter opførelsen blev anlægsydelsen målt igennem en årrække.

4.1 Anlægsudformning

Anlægget blev opført i november 1985 i et en-familiehus i Køge af Batec. Anlæggets principielle udformning er vist på figur 36.



Figur 37. Principskitse af demonstrationsanlægget.

Hele opvarmningsbehovet dækkes af anlægget om sommeren, hvor el-patronen i toppen af lageret er i funktion, og hvor olie-fyret er slukket. Om vinteren, hvor el-patronen ikke er aktiv, forvarmer anlægget brugsvandet.

Anlægget består af to BATEC-solfangerelementer BA22 på hver 2,2 m². Som varmelager benyttes en høj, slank 200 l varmtvandsbeholder indbygget i et isoleret kabinet. En kobber-varmevekslerspiral er indbygget i den nederste sjattedel af beholderen. Fra solfangerne transporteres varmen til varmevekslerspiralen, hvor brugsvandet opvarmes. Solfangerkredsens rørsystem består af $\frac{1}{2}$ " EPDM-gummislanger, hvorved rørsystemet billiggøres.

Cirkulationspumpen, som pumper solfangervæsken rundt i solfangerkredsen, styres ved hjælp af en fotocelle, således at pumpen er i drift, når indstrålingen er større end en på forhånd indstillet størrelse. Denne styring er billig i forhold til normale styresystemer med to eller flere følere. Den valgte styring er kun velegnet til anlæg med lagre, hvor varmevekslerspiralen er placeret helt i bunden af lageret.

Det eneste metal, som solfangervæsken er i kontakt med i solfangerkredsen, er kobber. Derfor kan der benyttes en åben solfangerkreds uden korrosionsrisiko. Med den valgte udformning af solfangerkredsen og varmelageret kan den normalt benyttede kontraventil, trykekspressionsbeholder, sikkerhedsventil og manometer spares.

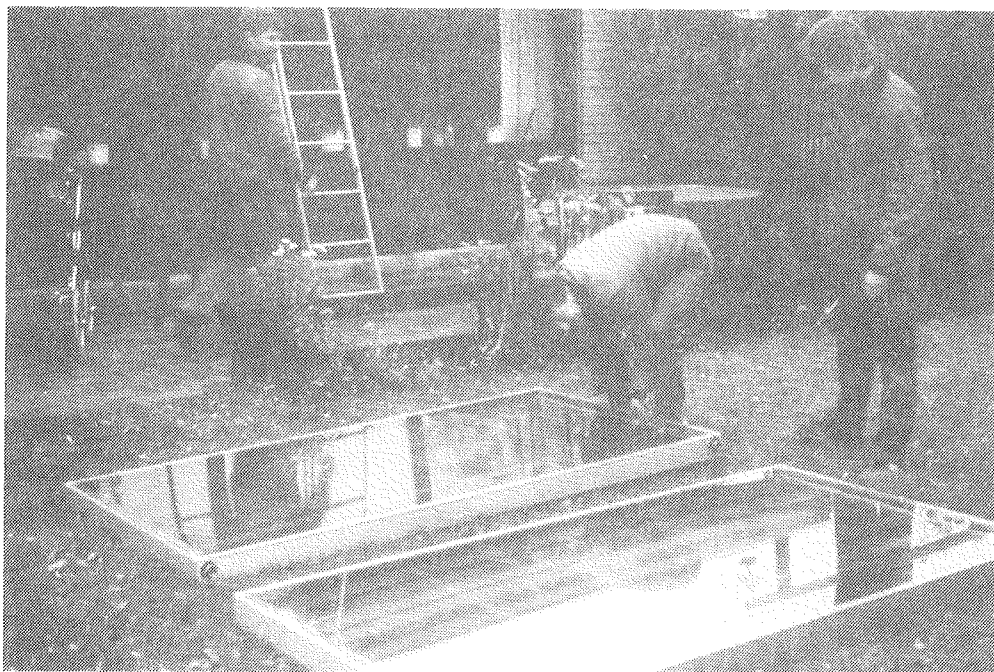
Anlæggets data fremgår af tabel 2, og figur 38-43 viser fotografier fra installationen af anlægget og af anlægget.

Anlægget blev installeret af 2 mænd på 1 dag, og prisen incl. moms og excl. statstilskud blev 18.500 kr. Dette svarede til en prisreduktion på omtrent 26% i forhold til normale anlæg, som BATEC markedsførte i 1985. På basis af de gennemførte ydelsesberegninger vurderes det, at anlægsydelsen for demonstrationsanlægget ikke vil være lavere end anlægsydelsen for de normale anlæg.

Resultaterne af ydelsesberegninger, som svarer til de her gennemførte, er detaljeret beskrevet i [4] og [5].

Solfangere	Antal elementer	2
	Totalt solfangerareal	4,3 m ²
	Effektivitet for små indfaldsvinkler	$\eta = 0,78 - 4,4 \cdot \frac{T_m - T_a}{I} - 0,011 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{I}$
	Hældning	22°
	Orientering	syd
	Solfangervæske	propylenglycol/vand-blanding frostsikret til ÷ 20°C
	Volumenstrøm	ca. 2 l/min.
Varmtvandsbeholder	Form	cylinderformet
	Volumen	196 l
	Diameter	46 cm
	Højde	120 cm
El-patron	Placering	øverste femtedel af beholderen
	Effekt	1000 W
Varmevekslerspiral	Placering	nederste sjattedel af beholderen
	Materiale	kobber
	Dimension	10/8,4 mm
	Længde	8,5 m
Isolering	Materiale	polyurethan
	Tykkelse	5 cm (bunden uisolert)
Solfangerkreds	Rør	1/2" gummislange
	Total længde	16 m
	isoleringsmateriale	plastsium
	isoleringstykkelte	1,3 cm
Styresystem	cirkulationspumpen i drift hvis	solindfaldet på solfangeren > 100 W/m ²

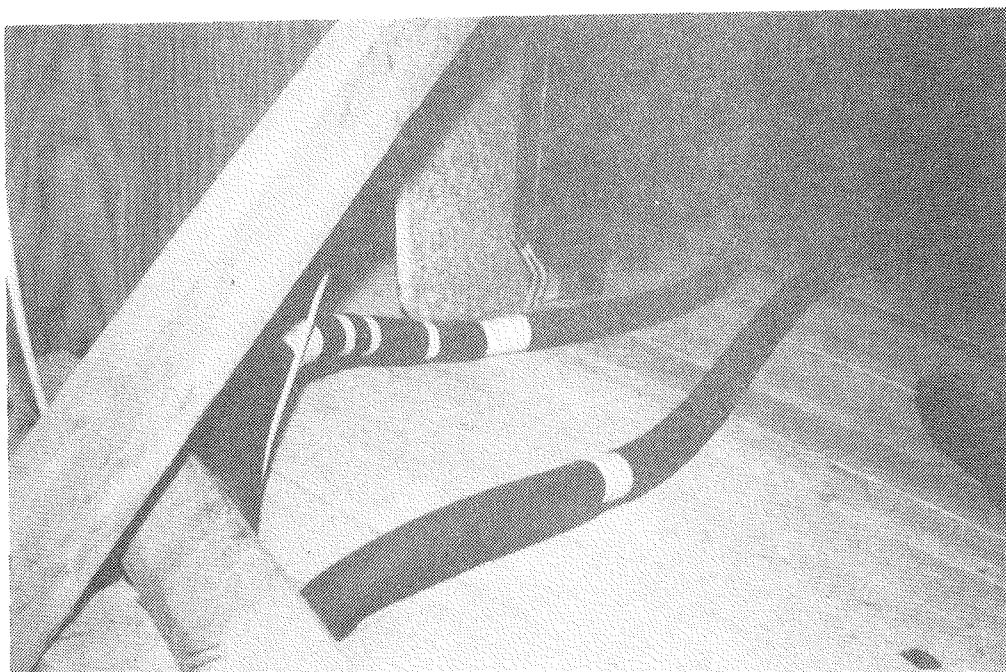
Tabel 2. Demonstrationsanlæggets data.



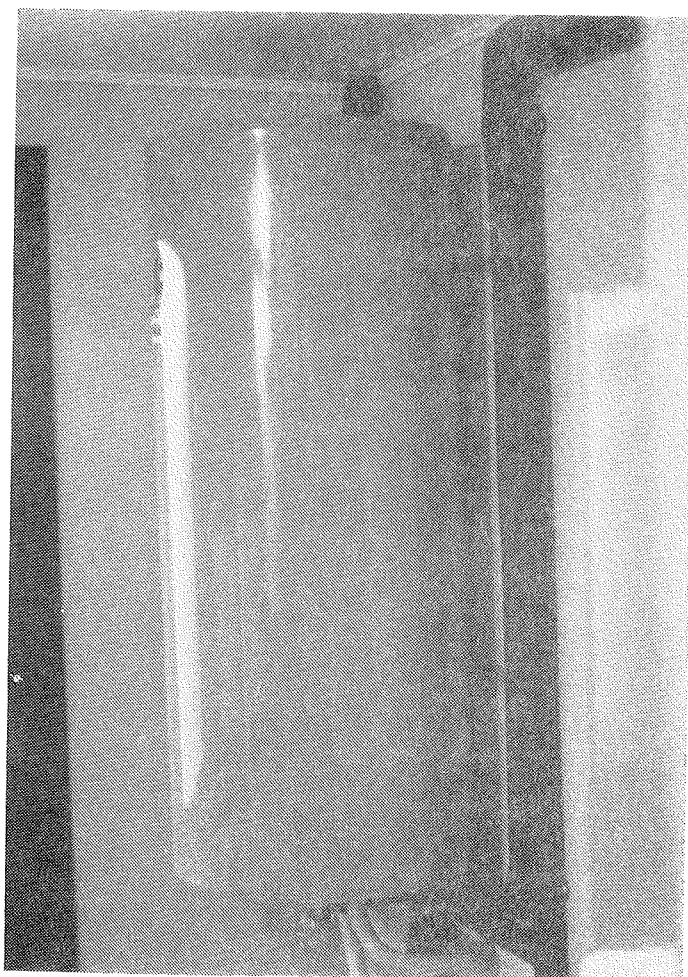
Figur 38. Solfangerelementerne før installation.



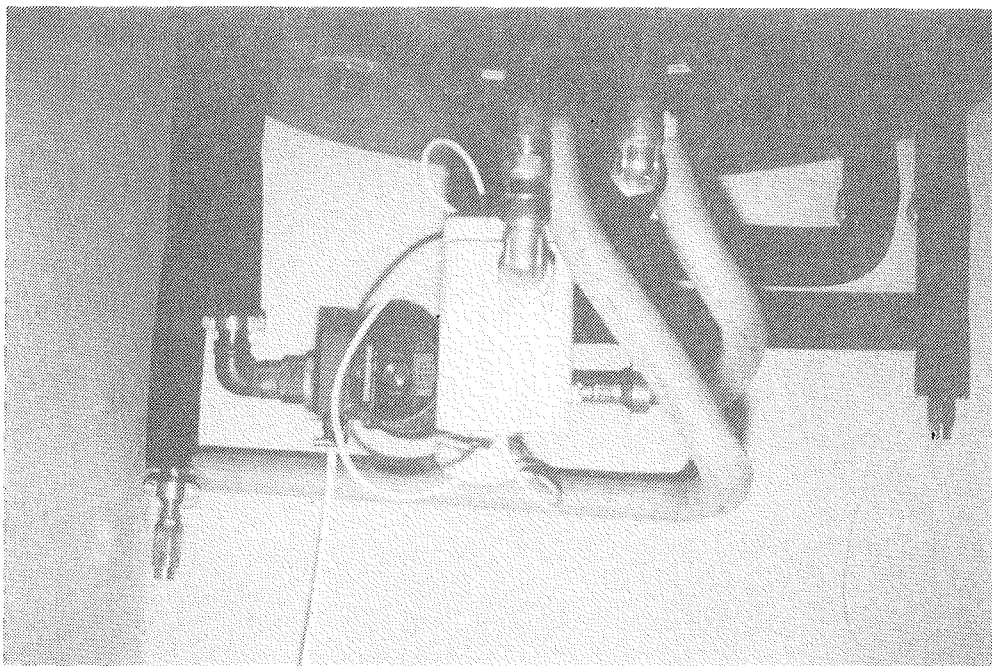
Figur 39. Solfangerelementerne og den åbne ekspansionsbeholder.



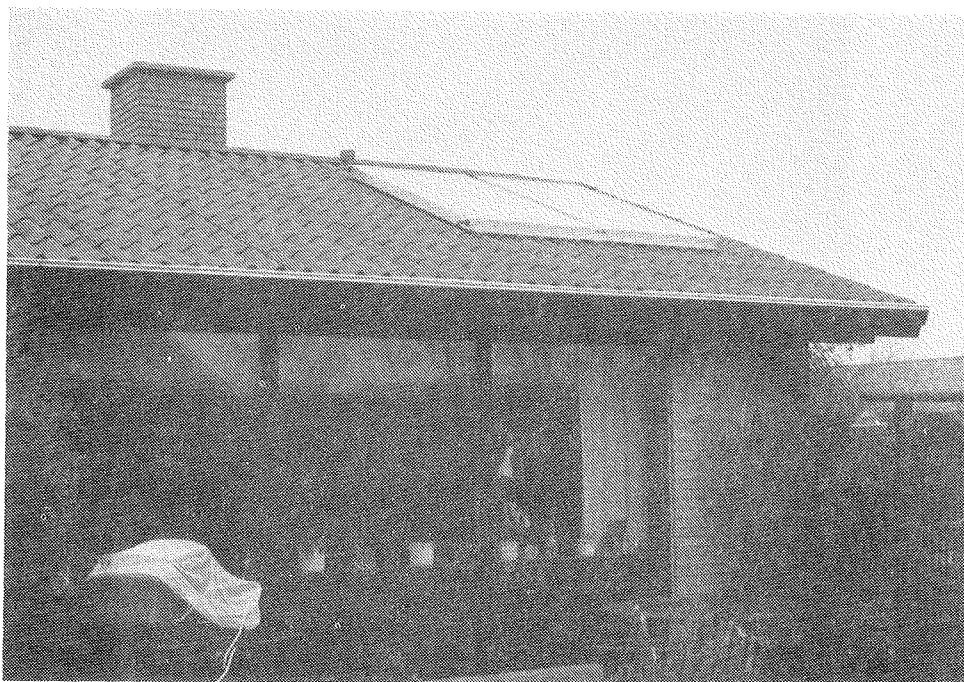
Figur 40. Solfangerkredsens isolerede rør på loftet.



Figur 41. Den præisolerede varmtvandsbeholder.



Figur 42. Varmtvandsbeholderens rørtilslutninger med cirkulationspumpe og energimåler.



Figur 43. Solfangerne på taget af en-familiehuset.

4.2 Målesystem

Solvarmeanlægget blev forsynet med en elektronisk energimåler, combimeter type EV50 fra ISS Clorius. Energimåleren blev installeret således, at de tappede vandmængder og energimængder fra anlæggets varmtvandsbeholder registreres. Energimåleren blev igennem hele måleperioden aflæst en gang ugentligt af en-familiehusets beboere. Målesystemet var færdig installeret den 8. december 1985.

Solindfaldet på en sydvendt 22° hældende flade blev målt i Lyngby på Laboratoriets forsøgsareal igennem hele måleperioden.

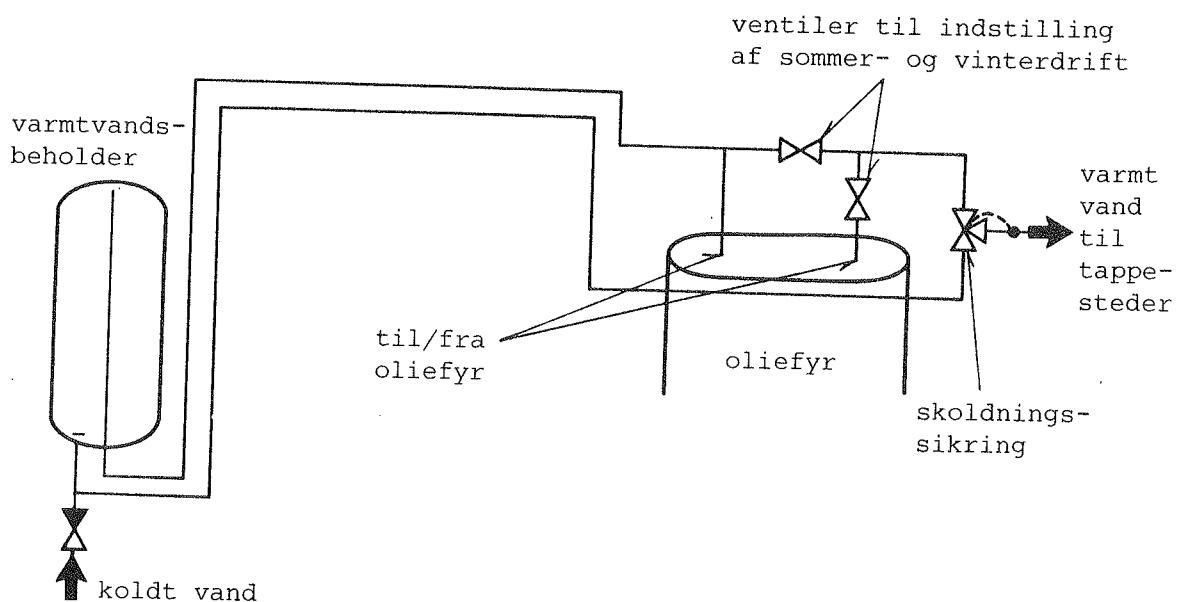
Udover de ovenfor omtalte simple målinger blev der i kortvarige perioder registreret forskellige anlægstemperaturer for at undersøge, om anlægget virkede som planlagt.

4.3 Driftserfaringer

Umiddelbart efter installationen opstod der problemer med at få luftet systemet ud, og det var ikke muligt at etablere en konstant volumenstrøm igennem begge solfangerelementer. Dette skyldes, at den åbne ekspansionsbeholder i første omgang blev placeret forkert. Ekspansionsbeholderen blev nemlig ikke placeret således, at solfangervæsken ved cirkulation igennem solfangerkredsen passerede forbi ekspansionsbeholderen. Herved umuliggjordes en udluftning. Figur 39 viser ekspansionsbeholderens placering yderst i solfangerfeltet umiddelbart efter installationen. Kort tid efter installationen blev ekspansionsbeholderen flyttet, således at den er placeret på returrøret fra solfangerfeltet. Hele solfangervæsken passerer derfor forbi beholderen under cirkulationen. Herefter var der ikke problemer med at udlufte solfangerkredsen, og der blev opnået en jævn volumenstrøm igennem begge solfangerelementer.

Anlægget har herefter og indtil sommeren 1987 virket uden driftsforstyrrelser. Anlæggets ydelser, som er omtalt i afsnit 4.4, er relativ små. Det blev derfor besluttet i

en kortvarig periode at forsyne anlægget med en række termoelementer for at registrere de vigtigste anlægstemperaturer. Herved blev det eftervist, at solfangeren, solfangerkredsen og styresystemet virkede som planlagt. Derimod opstod der i brugsvandsrørene uventet høje temperaturer. Disse høje temperaturer var forårsaget af selvcirkulation i brugsvandskredsen. Figur 44 viser, hvorledes brugsvandskredsen var udformet i demonstrationsanlægget. I visse perioder cirkulerede varmt vand fra toppen af varmtvandsbeholderen gennem varmtvandstapperøret ud i rørkredsen, videre til skoldningssikringen, gennem 3-vejsventilen og rørkredsen tilbage til bunden af varmtvandsbeholderen. Tilsyneladende optrådte selvcirkulationen navnlig i perioder efter varmtvandstapninger. Der er store varmetab knyttet til selvcirkulationen, og anlægsydelsen reduceres derfor mærkbart på grund af selvcirkulationen.



Figur 44. Udformning af brugsvandskredsen.

Årsagen til selvcirkulationen var, at 3-vejsventilen ikke havde en indbygget kontraventil. Ventilen tillod derfor vand at passere i begge retninger.

I april 1987 blev der i brugsvandskredsen indbygget en kontraventil for at forhindre den omtalte selvcirkulation. Temperaturmålingerne blev herefter gentaget, og det blev herved eftervist, at selvcirkulationen blev forhindret effektivt.

Efter installationen af den nye kontraventil har anlægget fungeret problemløst indtil måleperiodens afslutning i juli 1987.

Efter måleperiodens afslutning opstod der i juli 1987, i forbindelse med ferie i en solrig periode, kogning i solfangerkredsen. Efter en sådan kogning er det nødvendigt at solfangerkredsen fyldes med solfangervæske. Anlægget er derfor kun velegnet i de tilfælde, hvor ejeren selv er i stand til at føre tilsyn med anlægget. Anlægget bør derfor udformes således, at det let kan konstateres, om der er sket kogning. For eksempel kan afkogt solfangervæske eventuelt opsamles i en lille beholder, som let kan inspiceres.

4.4 Måleresultater

Som nævnt påbegyndtes målingerne den 8. december 1985. Den uheldige selvcirkulation i brugsvandskredsen, som er omtalt i foregående afsnit, blev erkendt i sensommeren 1986, og ombygningen af brugsvandskredsen fandt først sted den 9. april 1987. Det blev derfor besluttet at forlænge måleperioden til juli 1987.

De målte varmtvandsforbrug, solindfald, tappede varmemængder fra varmtvandsbeholderen, tilførte energimængder til elpatronen og cirkulationspumpens drifttid fremgår af tabel 3. Desuden er referenceårets solindfald, samt beregnede anlægsydelse angivet. Beregningerne, som er gennemført med det i [2] udviklede edb-program, er baseret på referenceårets vejrdato og på de aktuelle månedlige varmtvandsforbrug.

I 1986 var oliefyret kun slukket i to måneder, idet det var et ønske også at opvarme badeværelset i den kolde del af sommeren.

PERIODE	Gennem- snitligt varmtvands- forbrug	Målt solindfald	Solindfald i reference- året	Målt varme- mængde tappet fra varmt- vandsbeholder	Målt energi- mængde tilført el-patronen	Drifttid for cirkulations- pumpen	Beregnet varmemængde tappet fra varmtvands- beholderen	Beregnet energimængde tilført el-patronen
	l/dag	kWh/mdr	kWh/mdr	kWh	kWh	h	kWh	kWh
Dec. 85 ¹⁾	177	70	104	26	-	18	-	-
Jan. 86	130	110	88	30	-	40	17	-
Feb. 86	122	270	203	45	-	52	40	-
Mar. 86	120	270	300	92	-		64	-
Apr. 86	150	480	570	97	-	147	131	-
Maj 86	160	680	702	138	-	434	178	-
Jun. 86	134	770	818	167	-	584	155	-
Jul. 86 ²⁾	60 (157)	700	713	46	-	233	-	-
Aug. 86	210	600	641	229	71	404	251	45
Sep. 86	187	420	428	150	34	344	210	35
Okt. 86	162	240	252	84	-		81	-
Nov. 86	173	70	129	52	-		35	-
Dec. 86	227	80	104	32	-		23	-
Jan. 87	167	140	88	24	-	47	18	-
Feb. 87	126	240	203	40	-	56	41	-
Mar. 87	143	380	300	50	-	65	70	-
Apr. 87 ³⁾	126	500	570	68	-	150	115	-
Maj 87	157	640	702	190	-	350	174	-
Jun. 87	134	470	818	126	-	263	155	-

1) Målinger påbegyndt den 8. december 1985.

2) Intet varmtvandsforbrug i perioden 13.7.86-2.8.86 på grund af ferie.

3) 9. april 1987 blev anlægget forsynet med en skoldningssikring med kontraventil.

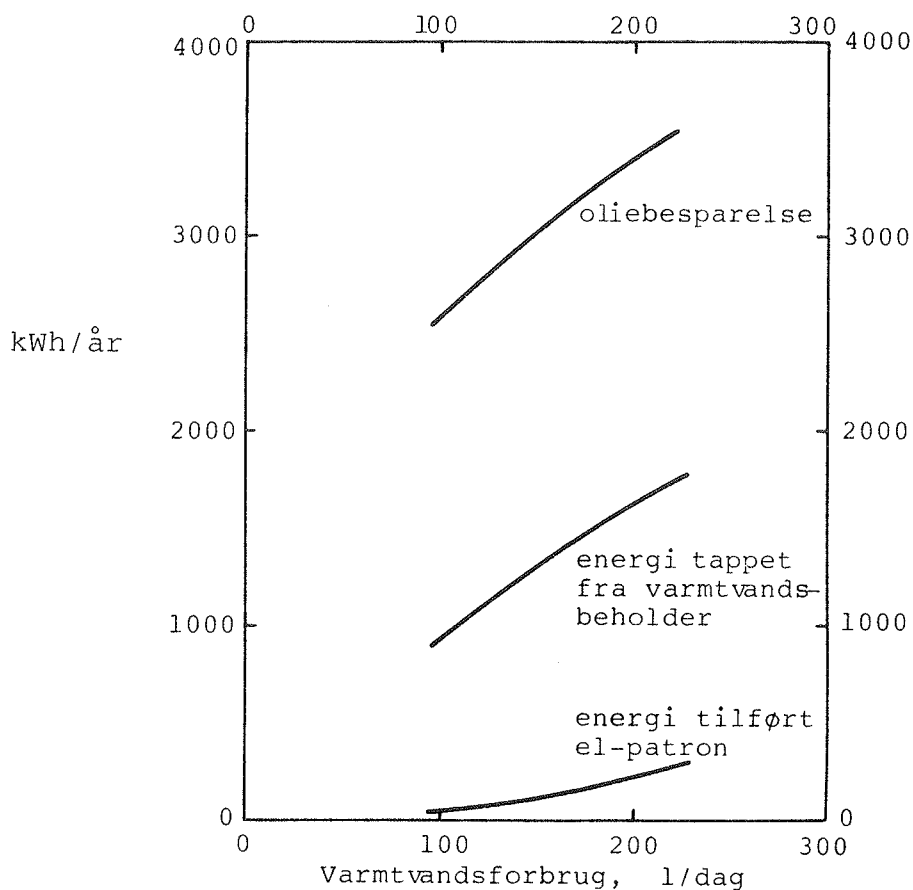
Tabel 3. Måleresultater og beregnede ydelser for demonstrationsanlægget.

I hele måleperioden er den målte ydelse omtrent 10% mindre end den beregnede ydelse med referenceåret. I hele måleperioden har solindfaldet været omtrent 8% lavere end solindfaldet i referenceåret. Nettoydelsen for det sidste måleår er 1091 kWh, svarende til 254 kWh/år m² solfanger.

I nogle perioder har ydelsen været højere end beregnet, mens den i andre perioder har været mindre end beregnet. Solindfaldet har i perioder været større end solindfaldet i referenceåret, i andre perioder har solindfaldet været mindre end solindfaldet i referenceåret. Ud over forskelle i solindfaldet kan forskelle mellem målte og beregnede ydelser skyldes:

- det forøgede varmetab fra varmelageret forårsaget af selvcirkulation i brugsvandskredsen. Dette spiller ind i sommermånederne 1986.
- de meget lave udelufttemperaturer i 1987 reducerede anlægsydelsen i forhold til de beregnede ydelser.
- solfangerne var i perioder af de første måneder i 1987 dækket af sne.
- varmtvandsforbruget var ikke det samme hver dag inden for den enkelte periode. Dette kan både forøge og reducere ydelsen alt efter om store varmtvandsforbrug er sammenfaldende med store solindfald eller ej.

Sammenfattende kan det konkluderes, at anlægsydelsen er lige så stor som den beregnede ydelse, når de rigtige vejrdata og varmtvandsforbrug benyttes som forudsætninger for beregningerne. Med referenceåret er der gennemført beregninger af anlæggets ydelse. Figur 45 viser den årlige energimængde, som tilføres el-patronen, den årlige energimængde, som tappes fra varmtvandsbeholderen og den årlige oliebesparelse for demonstrationsanlægget som funktion af det daglige varmtvandsforbrug. Det forudsættes, at oliefyret er slukket i fem sommermåneder, at oliefyrets tomgangstab er 350 W, og at oliefyrets fyringsnyttevirkning er 0,85.



Figur 45. Beregnet årlig energimængde tilført el-patronen, energimængde tappet fra varmtvandsbeholderen og oliebesparelse for demonstrationsanlægget som funktion af det daglige varmtvandsforbrug.

4.5 Økonomiske forhold for brugsvandsanlæg

Den årlige besparelse vil, som omtalt i foregående afsnit afhænge af vejret og af det daglige varmtvandsforbrug. Den årlige besparelse vil navnlig afhænge af varigheden af den periode, hvor oliefyret slukkes om sommeren, og af oliefyrets fyringsnytttevirkning og tomgangstab.

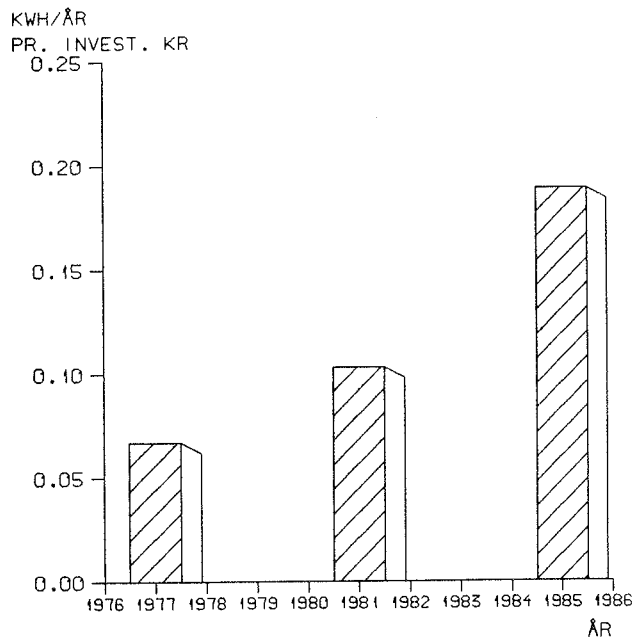
Varigheden af sommerperioden med oliefyret slukket afhænger normalt af det komfortkrav, som stilles i forbindelse med rumopvarmningen. I et rimeligt velisoleret hus er fem måneder uden drift af oliefyret ikke urealistisk i en normal sommer. Forudsættes endvidere forsigtigt en moderne oliefyrs-unit med en fyringsnytttevirkning på 0,85 og et

tomgangstab på 350 W opnås de på figur 45 viste oliebesparelser. Eksempelvis bliver besparelsen ca. 3030 kWh/år svarende til 308 l olie/år, hvis varmtvandsforbruget er 150 l/dag. El-forbruget til el-patronen er her ca. 140 kWh/år. Dette svarer til en årlig besparelse på omtrent 1060 kr. med dagens energipriser.

Anlæggets pris var som nævnt 18.500 kr. incl. moms og uden statstilskud. Prisen for forbrugeren bliver derfor 12.950 kr. efter 30% tilskud. Første års ydelse af et 20-årigt lån på 12.950 kr. er efter skat ca. 1140 kr. Solvarmeanlægget vil altså allerede første år privatøkonomisk set balancere.

5. RENTABILITETEN FOR SMÅ SOLVARMEANLÆG

Rentabiliteten for små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er forbedret betydeligt igennem perioden 1977-1985. Figur 46 viser forholdet mellem ydelse og pris for typiske små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Alle priser er henført til 1985-priser. Det anførte anlæg fra 1985 er demonstrationsanlægget. Demonstrationsanlægget har en ydelse pr. investeret krone, som er omtrent 3 gange større end for 1977-anlægget.



Figur 46. Forholdet mellem ydelse og pris for små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning (omregnet til 1985 kr.).

Igennem de sidste år er der gennemført andre forsknings- og udviklingsprojekter, som har resulteret i, at rentabiliteten for små markedsførte solvarmeanlæg er forbedret eller at forbedringsmuligheder er påpeget. I [6] er en anlægsudformning, som den i demonstrationsanlægget benyttede, eksempelvis udviklet, og den pågældende solfangerfabrikant har siden installeret adskillige anlæg med lysfølerstyring. Erfaringerne fra disse anlæg er gode.

I [7] er fordelene ved små volumenstrømme i solfangerkredsen undersøgt eksperimentelt. Undersøgelserne viste, at et solvarmeanlæg med lille volumenstrøm og med en kappebeholder som varmelager yder omtrent 20% mere end anlæg, som svarer til demonstrationsanlægget. Anlæg med små volumenstrømme er altså særdeles attraktive, og der er behov for forsknings- og udviklingsarbejde for at udvikle optimale anlæg med små volumenstrømme.

Desuden gennemføres for tiden en række projekter, som også har til formål at medvirke til at forbedre rentabiliteten for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Navnlig på Teknologisk Institut er der mange projekter i gang:

Energiministeriets EFP82-projekter "Anlæg for brugsvand. Byggeteknisk indpasning af solfangere", og "Anlæg for brugsvand. Forsøgsanlæg og optimering"; EFP83-projektet "Brugsvandsanlæg. Forsøgsanlæg og optimering"; EFP85-projektet "Konkurrencedygtige solvarmeanlæg til brugsvand"; EFP86-projektet "Solvarmeanlæg og plast til brugsvand"; EFP87-projektet "Solvarmeanlæg med lille volumenstrøm".

Desuden vedrører en stor del af arbejdet, som gennemføres af Prøvestationen for solvarmeanlæg på Teknologisk Institut, små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

På Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi gennemføres Teknologirådsprojekterne "Solfangeranlæg til lokal produktion" og "Økonomisk optimeret solvarmebrugsvandsanlæg", og på Laboratoriet for Varmeisolering gennemføres Energi-ministeriets EFP87-projekt "Højtydende solvarmeanlæg med lille volumenstrøm".

Naturligvis foregår der også udviklingsarbejde hos den enkelte solfangerfabrikant - og denne del af arbejdet er ikke den mindst vigtige. Teknisk er der som nævnt intet, som forhindrer, at rentabiliteten for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning bedres betydeligt. Hvis den positive udvikling derfor skal fortsætte, er det vigtigt, at der afsættes tilstrækkelige midler til forskning og udvikling, og at samarbejdet mellem fabrikanter og forskere styrkes.

6. KONKLUSION

Projektet viste, at det var muligt at forbedre forholdet mellem ydelse og pris for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning med omtrent 30% i forhold til de anlæg, som blev markedsført i 1985.

Forbedringen blev opnået ved at billiggøre anlægget i forhold til det typiske markedsførte anlæg på en række punkter, som næsten ingen indflydelse har på anlægsydelsen eller holdbarheden.

Forholdet mellem ydelse og pris for typiske små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er forbedret omtrent med en faktor 3 fra 1977 til 1985.

Muligheden for at forbedre anlæggets rentabilitet ved at ændre solfangerkonstruktionen blev ikke undersøgt i projektet, idet der er behov for særdeles grundige og tidkrævende undersøgelser, før fabrikanter bør ændre deres gennemprøvede solfangere.

Efter projektets gennemførelse er det endvidere påvist, at solvarmeanlæg med små volumenstrømme i solfangerkredsen og med kappebeholdere som varmelagre er særdeles højtydende.

Der er altså stadig store muligheder for at forbedre rentabiliteten for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, og der er således intet teknisk som umuliggør, at den positive udvikling af solvarmeanlæg kan fortsætte.

SUMMARY

The aim of the project was to develop small solar heating systems for domestic hot water supply with a 30% improvement of the ratio between the total yearly saved energy and the costs of the system compared with the systems marketed in Denmark in 1985.

Three different systems were investigated in order to obtain a cheap and highly efficient system. The three systems were: A traditional system with a hot water tank with a built-in heat exchanger spiral, a drain back system and a system making use of an existing hot water tank as the heat storage.

The systems, or part of the systems, were tested experimentally. The Danish manufacturers of solar collectors were informed about the progress of the project and they estimated the costs of the three different systems.

Based on these estimations, the most promising system was built as a demonstration system by one of the companies, BATEC. The system was a traditional system using a hot water tank with a built-in heat exchanger spiral. The cost of the system, which was built in 1985 and had a collector area of 4.3 m², was 18,500 kr. incl. VAT and excl. government subsidies. This corresponds to a price reduction of about 30% compared to the normal systems marketed by BATEC in 1985.

The performance of the system was as high as the performance of normal marketed systems, and the aim of the project was fulfilled.

Possibilities of improving the profitability of small marketed systems still exist, for instance by improving the solar collector or by making use of small volume flow rates in the solar collector loop.

REFERENCER

- [1] "Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning". Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo. Energiministeriets varmelagerprojekt, rapport nr. 16. Marts 1984.
- [2] "Varmelagring til solvarmeanlæg". Simon Furbo. Meddelelse nr. 162. September 1984.
- [3] "Varmeovergang for varmevekslerspiraler neddykket i vand". Søren Østergaard Jensen. Laboratoriet for Varmeisolering. Rapport nr. 84-10. Maj 1984.
- [4] "Solvarme - Naturgas. En attraktiv kombination". Svend Erik Mikkelsen. Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 183. 1987.
- [5] "Simplest possible circuit". Svend Erik Mikkelsen and Simon Furbo. ISES Congress Hamburg. September 1987.
- [6] "Simple styresystemer for solvarmeanlæg". Lars Christiansen, ANS Solvarme. 1987.
- [7] "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg. Måling på 3 små brugsvandsanlæg". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 188. December 1987.

FORSKNINGSUDVALGET FOR ENERGIANVENDELSE I BYGNINGER, APRIL 1987

J. Kelnæs, afd.chef, Teknologisk Institut (formand)
Ole Jensen, civilingeniør, Statens Byggeforskningsinstitut
(sekretær)
M.R. Byberg, lektor, civilingeniør, Laboratoriet for Varme-
isolering, Danmarks Tekniske Højskole
Erik Christoffersen, afd.leder, Statens Byggeforskningsin-
stitut
Vagn Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks Tekniske Højskole
M. Malte Johansen, afd.chef, Jysk Teknologisk
P.J. Snare, eksped.sekr., Energistyrelsen
Bent Petersen, kontorchef, Byggestyrelsen
Peter Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut
Olaf Smith-Hansen, civilingeniør, Rockwool A/S
Knud Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S
Jørgen S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch & Krogboe K/S
Peter Dorph-Petersen, fuldmægtig, Energiministeriet

LISTE OVER UDSENDTE RAPPORTERSolvarmeprogrammet

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg. Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1979.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg. Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1979.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, februar 1980.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg. For TI59 programmerbar lommeregnermaskine. Teknologisk Institut, 1980.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand, 1/2 års målinger. Teknologisk Institut, juli 1980.
6. Solvarmeanlæg i Greve. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1980.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed. Erfaringer med solfanger udsat for det naturlige vejrlig under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år på prøvestand. Teknologisk Institut, juli 1980.
8. Solvarmesystemprøvestand. Resultater fra det første projekt på prøvestanden. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, 1981.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads. Brugsvand, 3 års målinger. Teknologisk Institut, august 1980.
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 anlæggene. Laboratoriet for Varmeisolering, december 1980.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød. 2 1/2 års målinger på 10 m² brugsvandsanlæg. Teknologisk Institut, maj 1981.

15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, august 1981.
16. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på 1 års målinger på 2 anlæg. Laboratoriet for Varmeisolering, september 1981.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge. Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri. Teknologisk Institut, maj 1982.
18. Korrosion i solfangerabsorbere. En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres væskekanaler. Teknologisk Institut/Korrosionscentralen, juli 1982.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm. Forundersøgelse. Risø, september 1982.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1983.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg. Teknisk-økonomisk analyse af systemkombinationer. Teknologisk Institut/Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, maj 1983.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed. Teknologisk Institut, februar 1984.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre. Teknologisk Institut, februar 1984.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl.Holte. En vurdering efter et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1983.
25. Sol i boligen - et idé-katalog. Teknologisk Institut, marts 1984.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1984.
27. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg i Næstved. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juni 1984.
28. Et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Målinger på systemprøvestand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1984.
29. Billig solfanger/lager unit til brugsvand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, december 1984.
30. Projekteringsvejledning for passiv solvarme. Teknologisk Institut og Laboratoriet for Varmeisolering, december 1985.

31. Plast og gummi i solvarmeanlæg. Teknologisk Institut, maj 1985.
32. Hydrofil solfanger - Prøvning af prototype. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. September 1985.
33. Solvarmeanlæg med stort udbytte - demonstration. Teknologisk Institut, oktober 1985.
34. Solvarmeanlæg i Brøndby. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand i en etageejendom, 2 års målinger. Teknologisk Institut, januar 1986.
35. Selvcirkulerende solvarmeanlæg i Lyngby - resultater og erfaringer fra et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Januar 1986.
36. Konstruktion af solfangere - En håndbog/idébog. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Marts 1986.
37. Driftserfaringer med solvarmeanlæg: Erfaringer fra besigtigelse af 51 anlæg. Teknologisk Institut, januar 1987.
38. Solvarme i offentlige bygninger - demonstration. 1 års målinger på et 18 m² solvarmeanlæg på en kommunal materielgård. Teknologisk Institut, februar 1987.
39. Solvarme i nybyggeri. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, marts 1987.
40. Selektive overflader i solfangere. Teknologisk Institut, oktober 1987.
41. Solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Demonstrationsanlæg i Ejby. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1987.
42. To forslag til udformning af solvægge. En undersøgelse baseret på indendørs målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1987.
43. Konvektionsdreven hydrofil solfanger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1987.

Varmelagerprogrammet (LfV)

1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre. Peter L. Christensen, august 1979.
2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Udført af Dipco Engineering ApS, november 1979.

3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). En metode til brug for bordregnemaskiner. Anker Nielsen, februar 1980.
4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). Brugervejledning for TI-59. Anker Nielsen, februar 1980.
5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg. Simon Furbo, april 1980.
6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug. Anker Nielsen, oktober 1980.
7. Vinduets betydning for enfamiliehusenes energiforbrug. Anker Nielsen, november 1980.
8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle. Simon Furbo, december 1980.
9. Enfamiliehus med glasbeklædte uderum. Anker Nielsen, marts 1981.
10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis. Peter L. Christensen, december 1981.
11. Varmtvandsforbrug i boliger. Niels Mejlhede Jensen, februar 1982.
12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo og Jan-Erik Larsen, november 1982.
13. Solopvarmning gennem vinduer. Niels Mejlhede Jensen, november 1982.
14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Sven Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing, december 1982.
15. Birkerød solhus. Beregninger og målinger. Niels Mejlhede Jensen, december 1983.
16. Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo, marts 1984.
17. Prøvning af kemisk varmepumpelager. Otto Dyrnum, april 1984.
18. Varmeovergang i små solvarmelagre. Søren Østergaard Jensen, november 1984.
19. Varmelagring ved hjælp af en kemisk varmepumpe med vandig saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, november 1984.

20. BLAST - EDB-program til beregning af passiv solvarme. Jørgen Erik Christensen, november 1984.
21. Solvarmeanlæg med bygningsintegrerede varmelagre. Lars Olsen, december 1984.
22. Prøvning af et kemisk varmepumpelager med saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, marts 1985.
23. Smeltevarmelagre baseret på salhydrater placeret i plastslanger. Simon Furbo, august 1987.

