

VARMTVANDSBEHOLDERE

TIL

SOLVARMEANLÆG

MEDDELELSE NR. 276

JUNI 1995

SIMON FURBO

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

SØREN ØSTERGAARD JENSEN

PRØVESTATIONEN FOR SOLENERGI

DANSK TEKNOLOGISK INSTITUT

INDHOLD

FORORD	2
RESUMÉ	3
SUMMARY	4
1. INDLEDNING	5
2. MARKEDSFØRTE SOLVARMEBEHOLDERE I GODKENDTE SOLVARME- SYSTEMER	6
3. BEREGNEDYDELSE FOR SOLVARMEANLÆG MED FORSKELLIGE VARMTVANDSBEHOLDERE	19
3.1 Beregningsforudsætninger	19
3.2 Beregningsresultater	22
4. RETNINGSLINIER FOR UDFORMNING AF SOLBEHOLDERE	46
4.1 Design af soltanke - vigtige forhold	46
4.2 Designregler	49
REFERENCER	52

FORORD

Denne rapport beskriver en del af det arbejde, som er gennemført under projektet: "Beholdere til solvarmeanlæg", j.nr. 51181/94-0092. Projektet er finansieret af Energistyrelsen.

På basis af beregninger med eksisterende simuleringsprogrammer og på basis af erfaringer fra beholderområdet er der opstillet retningslinier for, hvorledes solbeholdere bør udformes.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Laboratoriet for Varmeisolering, DTU og Prøvestationen for Solenergi, DTI.

Arbejdet til denne rapport er gennemført med deltagelse af medarbejderne:

Laboratoriet for Varmeisolering

Simon Furbo, civilingeniør, ph.d.

Lise Boye-Hansen, civilingeniør

Hamid Jalali, teknisk assistent

Bodil Fauerskov, sekretær

Kit Grauenhøj, elev

Prøvestationen for Solenergi

Søren Østergaard Jensen, civilingeniør.

RESUMÉ

De i dag markedsførte soltanke er beskrevet. Både udformningen og de vigtigste termiske karakteristika for soltankene er angivet.

Med detaljerede simuleringsprogrammer er der gennemført beregninger af årsydelsen for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Solvarmeanlæggene benytter forskelligt udformede varmtvandsbeholdere som varmelagre.

To typer solvarmeanlæg er undersøgt på denne måde. Et traditionelt solvarmeanlæg baseret på én varmtvandsbeholder, den såkaldte kombibeholder, som både kan opvarmes af solfangere og af supplerende energikilde(r) og et solvarmeanlæg med et todelt varmelager bestående af en solopvarmet forvarmebeholder og en eksisterende varmtvandsbeholder, som opvarmes af et moderne energiforsyningsanlæg med et lille tomgangstab.

To typer varmtvandsbeholdere er taget i beregning: En kappebeholder og en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral. Kappebeholderen indgår i et low flow solvarmeanlæg og spiralbeholderen indgår i et traditionelt solvarmeanlæg med høj volumenstrøm gennem solfangeren.

Ved hjælp af beregningerne er det klarlagt, hvorledes udformningen af varmtvandsbeholdere påvirker solvarmeanlægs ydelse. Blandt andet på basis af disse beregninger er der opstillet retningslinier for, hvorledes solbeholdere bør udformes.

SUMMARY

The hot water tanks used today in Danish marketed DHW solar heating systems have been described. Both the design and the most important thermal data of the tanks are given.

By means of detailed simulation models the annual thermal performances of small DHW solar heating systems have been calculated for Danish conditions. The solar heating systems are using differently designed hot water tanks as heat storages.

Two types of solar heating systems were investigated in this way. A traditional solar heating system based on one hot water tank, the so-called combitank heated both by the solar collector and by the auxiliary energy supply system(s), and a solar heating system with a heat storage consisting of two tanks: a preheating tank only heated by the solar collector and an existing hot water tank heated by a new modern energy supply system with a small stand by heat loss.

Two types of hot water tanks were investigated: A mantle tank and a hot water tank with a built-in heat exchanger spiral. The mantle tank is part of a low flow solar heating system and the spiral tank is part of a traditional solar heating system with a high flow rate in the solar collector loop.

By means of the calculations it is elucidated how the thermal performances of solar heating systems are influenced by the design of hot water tanks. Based on these calculations and on experience from tests of tanks, design rules for solar tanks are established.

1. INDLEDNING

For små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er varmelageret den enkeltkomponent, som har størst betydning både for anlæggets pris og ydelse. Eksempelvis viser målinger på 8 markedsførte anlæg, at anlægsydelsen først og fremmest er bestemt af varmelagerets udformning, [1]. Det er derfor helt afgørende, at varmelageret får den bedst mulige udformning.

Et nyligt afsluttet udredningsprojekt har skabt overblik over, hvilke solvarmeanlægstyper, der er installeret i de sidste par år [2]. Blandt andet på basis af dette projekt kan det konkluderes, at der fremover vil være behov for tre forskellige typer soltanke til solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning:

1. **Kombibeholder**, som både kan opvarmes af solfangere og af supplerende energikilde(r). I ca. 75% af de i disse år installerede solvarmeanlæg er kombibeholderen den bedst egnede. Denne tanktype anvendes i dag i næsten alle mindre solvarmeanlæg.
2. **Forvarmebeholder**, som udelukkende opvarmes af solfangere. Solvarmeanlægget baseres på en forvarmebeholder og en eksisterende varmtvandsbeholder. Brugsvandet opvarmes af solfangerne i forvarmebeholderen, og et moderne back-up energianlæg med et lille tomgangstab eftervarmer eventuelt brugsvandet i en eksisterende varmtvandsbeholder til den ønskede tappetemperatur. Volumen af forvarmebeholderen er mindre end volumen af kombibeholderen. I ca. 25% af de i disse år installerede solvarmeanlæg vil forvarmebeholderløsningen være attraktiv, [2].
3. **Solvarmeforberedt varmtvandsbeholder**. Denne lagertype kan typisk være udformet som kombibeholderen, så beholderen både kan opvarmes af den primære energikilde og af solfangere, som installeres på et senere tidspunkt.

Kombibeholderen og forvarmebeholderen kan markedsføres i to udgaver: Beholderen med og uden en unit med alt det nødvendige hjælpeudstyr til solvarmeanlægget, så som pumpe, styresystem osv. Den solvarmeforberedte varmtvandsbeholder indeholder ikke dette hjælpeudstyr.

I denne rapport beskrives, på basis af eksisterende viden om varmtvandsbeholdere og beregningsresultater fra eksisterende detaljerede simuleringsmodeller for solvarmeanlæg, hvorledes varmtvandsbeholdere til små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning bedst udformes. Det beskrives udelukkende, hvorledes selve solbeholdere - kombibeholdere såvel som forvarmebeholdere - bør udformes. I [3], som omhandler de installations- og korrosionsmæssige forhold for små solvarmeanlæg, beskrives, hvorledes hjælpeudstyret til solvarmeanlæg bedst udformes og installeres.

2. MARKEDSFØRTE SOLVARMEBEHOLDERE I GODKENDTE SOLVARME-SYSTEMER

Dette kapitel indeholder en statistisk gennemgang af udformningen af små solvarmebeholdere i godkendte solvarmesystemer til brugsvandsopvarmning på det danske marked primo 1995. Undersøgelsen omhandler følgende beholdere.

ID nummer	Fabrikant	Type*	Volumen
D3020	Kähler & Breum K/S	spiral	255
D3029	Aidt Miljø A/S	kappe	265
D3032	Uniterm	spiral	275
D3034	Ar-Con Solvarme A/S	spiral	250
D3042	Vølund A/S	spiral	200
D3043	KN Smede- og Beholderfabrik A/S	spiral	500
D3045	HS Kedler - Tarm	spiral	290
D3046	Nilan A/S	spiral	180
D3047	IPL	kappe	260
D3048	Nilan A/S	spiral	180
D3049	Nilan A/S	spiral	280
D3050	Fønix Staalindustri A/S	spiral	300
D3051	Fønix Staalindustri A/S	spiral	160
D3055	Aidt Miljø A/S	kappe	200
D3056	Nilan A/S	spiral	180
D3057	KN Smede- og Beholderfabrik A/S	spiral	500
D3058	Uniterm	spiral	525
D3060	Aidt Miljø A/S	kappe	460
D3061	Nilan A/S	kappe	200

Tabel 1. Små solvarmebeholdere i godkendte solvarmesystemer til brugsvandsopvarmning.
* typen af solvarmeveksler.

Den følgende gennemgang af beholderne er foretaget på baggrund af tilgængelige oplysninger om beholderne fra prøverapporter, fabrikanter, VA-godkendelser, installations- og brugervejledninger m.m. Det har ikke været muligt at opnå et lige højt informationsniveau for alle beholderne. Halvdelen af de 19 beholdere i tabel 1 har været testet på Prøvestationen for Solenergi. Det er målet, at alle beholdere skal være testet med udgangen af 1995.

Der er i undersøgelsen kun medtaget opretstående kappebeholdere. Liggende kappebeholdere bliver normalt kun anvendt i selvcirkulerende anlæg, hvilket der næsten ikke er noget marked for i Danmark.

15 spiralbeholdere og 4 kappebeholdere er et spinkelt grundlag at udføre en statistisk analyse på. Resultaterne er derfor behæftet med en vis usikkerhed, specielt for de parametre, hvor der ikke eksisterer oplysninger for alle beholderne.

Den typiske solvarmebeholder

I dette afsnit beskrives, på baggrund af data for beholderne, en typisk beholder i et mindre dansk solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Der skelnes mellem spiralbeholdere og kappebeholdere. De følgende typiske beholdere er i stor udstrækning fundet som gennemsnittet af beholderne fra tabel 1. Dette overlejres dog af en kritisk vurdering af de fremkomne middelværdier.

Den typiske spiralbeholder

Beholder:	Volumen:	290 liter
	Højde/diameter-forhold:	2,6 ⁺ (2,8 for beholdere på 250-300 liter)
	Materiale:	Stål 37-2
	Koldtvandstilgang:	Gennem bund med prelplade
	Varmtvandsudgang:	Gennem bund
	Korrosionsbeskyttelse:	Emalje + magnesiumanode
Isolering:	Materiale:	PUR-skum 250-300 liter*
	Tykkelse af isolering - sider:	57 mm 49 mm
	Tykkelse af isolering - top:	86 mm 75 mm
	Tykkelse af isolering - bund:	31 mm 28 mm
	Varmetab - stilstand:	1,9 W/K 1,7 W/K
	Varmetab - drift:	2,8 W/K 2,4 W/K
Solvarmeveksler:	Længde:	11 m
	Udvendig rørdiameter:	18 mm => 0,63 m ²
	Højde af varmeveksler:	Toppen: 81 liter fra bunden
	Volumen under varmeveksler:	17 liter
	Materiale:	Emaljeret stål/rustfrit stål
	Rørgennemføring:	Gennem bund
Suppleringsvarmeveksler:	Magen til solvarmeveksleren	
	Placering:	Opvarmer 95 liter
	Rørgennemføring:	² / ₃ gennem siden (i beholderisolering til bund) og ¹ / ₃ gennem bund
Elpatron:	Effekt:	1 kW/230V, 3 kW/400 V
	Placering:	Opvarmer 90 liter
Hjælpeudstyr:	Placering:	Under beholderen

⁺ Gennemsnitsværdierne er bestemt på basis af alle beholderne med volumener mellem 180 l og 525 l

^{*} I gennemsnitsværdierne, dannet på baggrund af alle beholdere, indgår data for beholdere på omkring 500 liter, der normalt har tykkere isolering; men også et større varmetab.

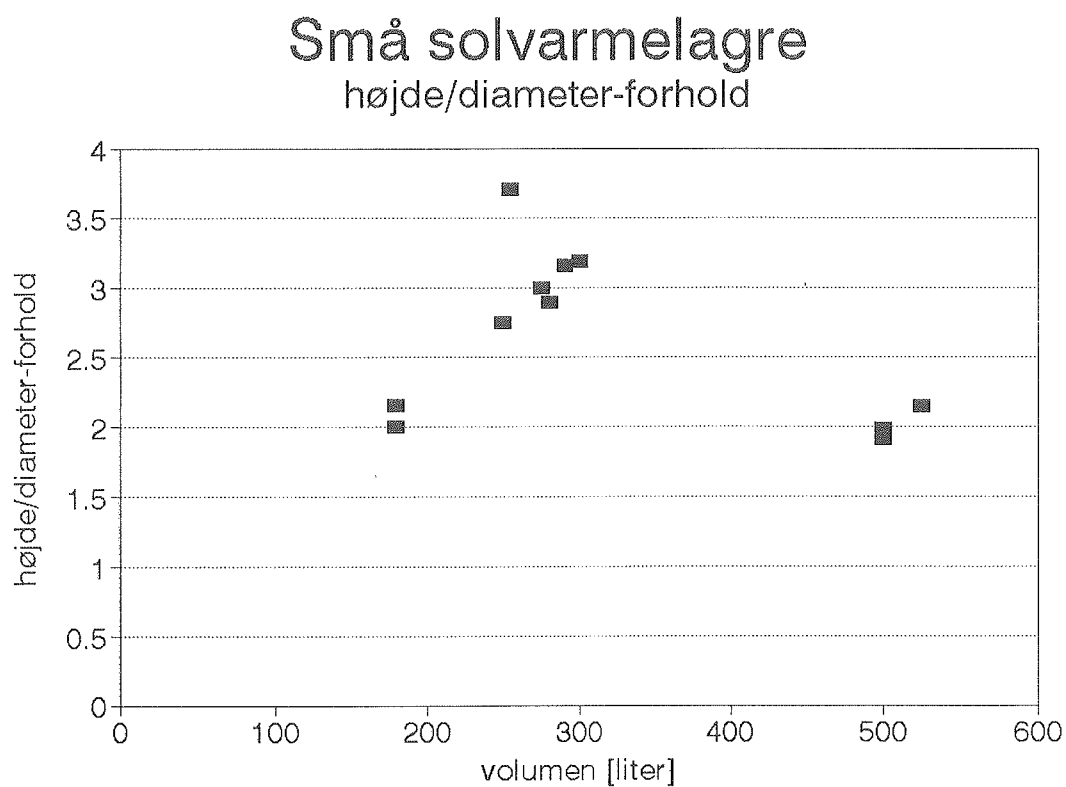
Den typiske kappebeholder

Beholder:	Volumen:	275 liter + 15 liter i kappen
	Højde/diameter-forhold:	2,6 ⁺ (3 for beholdere på 250-300 liter)
	Materiale:	Stål 37-2
	Koldt vandstilgang:	Gennem bund med prelplade
	Varmtvandsudgang:	Gennem bund
	Korrosionsbeskyttelse:	Emalje + magnesiumanode
Isolering:	Materiale:	PUR-skum
	Tykkelse af isolering - sider:	52/65 mm*
	Tykkelse af isolering - top:	93 mm
	Tykkelse af isolering - bund:	25 mm
	Varmetab - stilstand:	1,8 W/K
	Varmetab - drift:	2,2 W/K
Solvarmeveksler:	Højde af varmeveksler:	Toppen: 157 liter fra bunden
	Varmeoverførende areal:	1,1 m ²
	Volumen under varmeveksler:	18 liter
	Materiale:	Stål
	Rørgennemføring:	Gennem siden (i beholder-isolering til bund)
Suppleringsvarmeveksler:	Længde:	10 m
	Rørdimension:	$\frac{3}{4}$ " $\Rightarrow$ 0,62 m ²
	Materiale:	Emaljeret stål
	Placering:	Opvarmer 93 liter
	Rørgennemføring:	Gennem siden (i beholder-isolering til bund)
Elpatron:	Effekt:	1 kW/230V, 3 kW/400 V
	Placering:	Opvarmer 96 liter
Hjælpeudstyr:	Placering:	Under beholderen

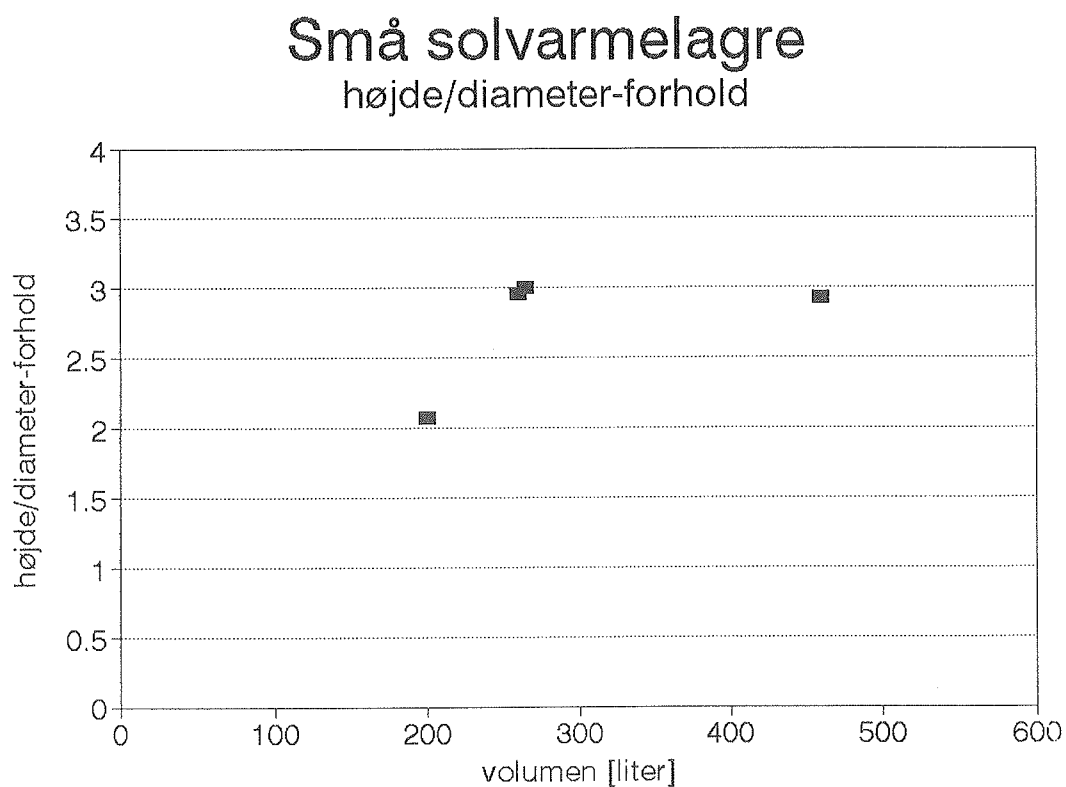
⁺ Gennemsnitsværdierne er bestemt på basis af alle beholdere med volumener mellem 200 l og 460 l.

* Mindste tykkelse ud for kappen og største tykkelse ud for toppen af beholderen (uden kappe).

Af ovenstående ses det, at der stort set ikke er forskel på en spiral- og en kappebeholder, når der ses bort fra solvarmeveksleren. De typiske beholdere er fremkommet som "middelværdier" for flere tanke. Middelværdierne skjuler derfor den spredning i værdierne, der eksisterer imellem de enkelte beholdere. Spredningen for enkelte parametre er vist i de følgende figurer.

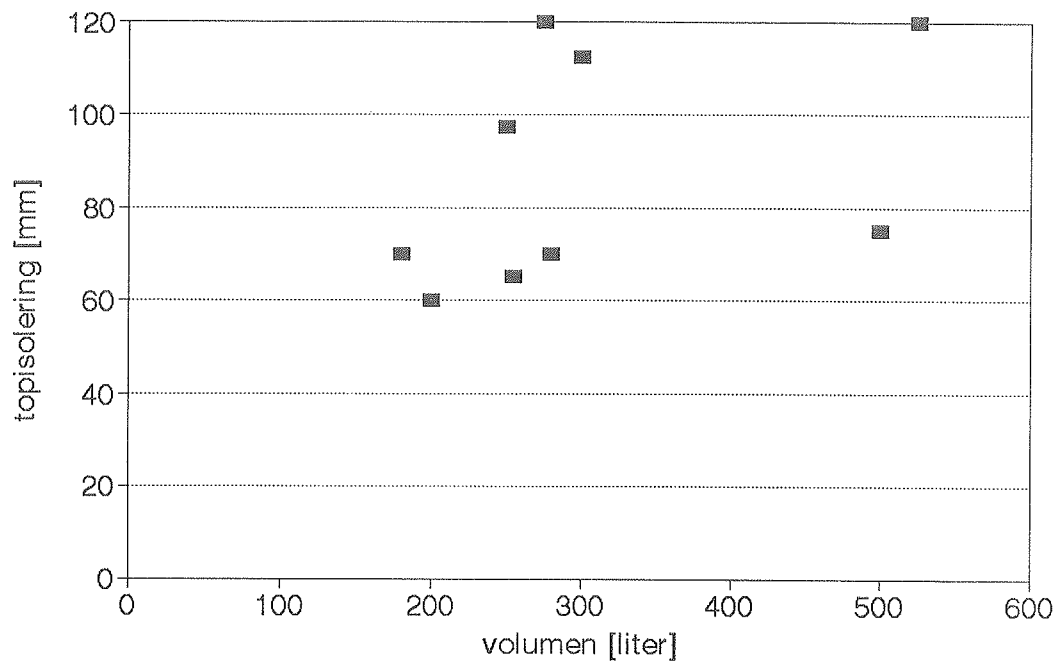


Figur 1. Højde/diameter-forholdet for spiralbeholderne som funktion af beholdervolumenet.



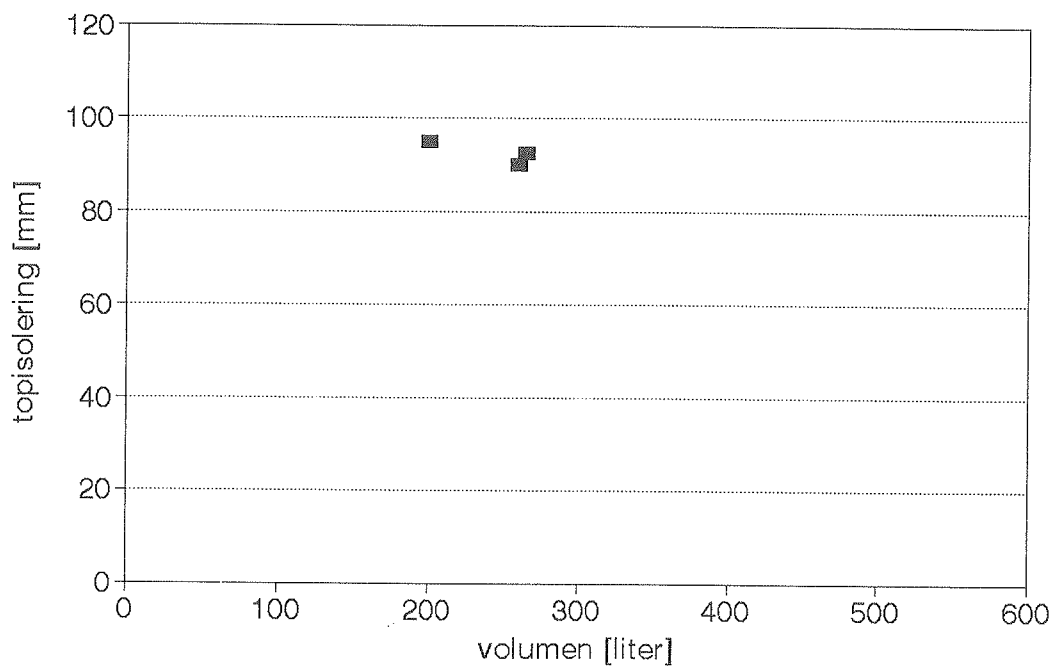
Figur 2. Højde/diameter-forholdet for kappebeholderne som funktion af beholdervolumenet.

Små solvarmelagre tykkelse af topisolering

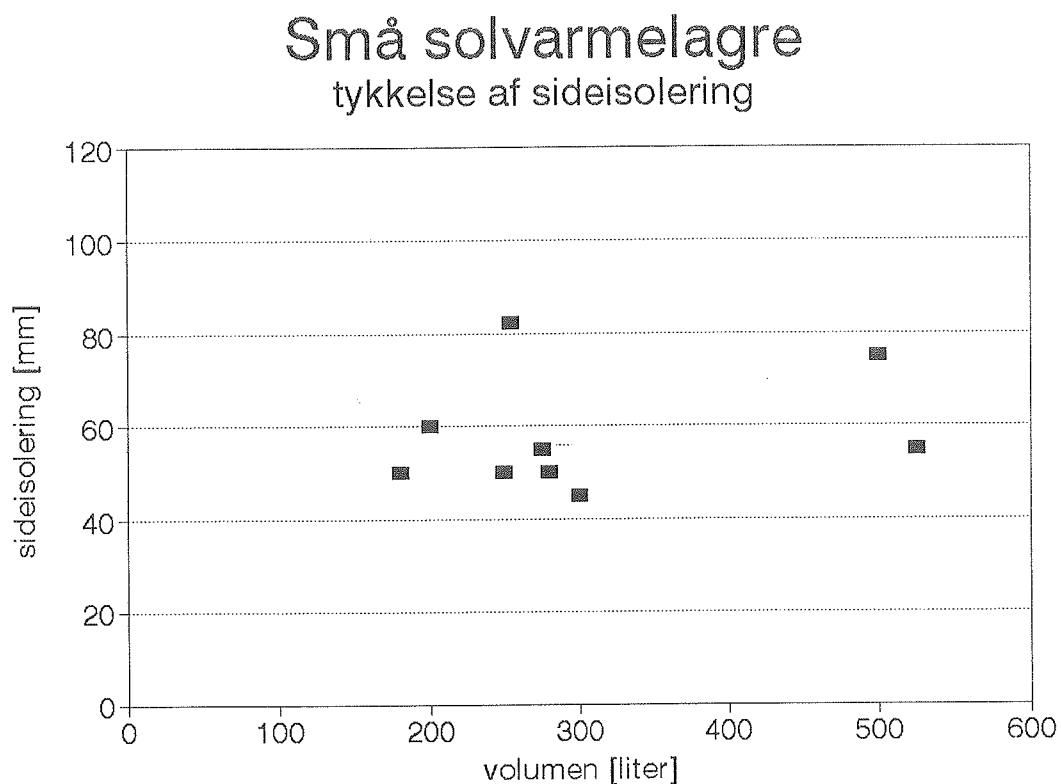


Figur 3. Tykkelsen af topisoleringen for spiralbeholderne som funktion af beholdervolumenet.

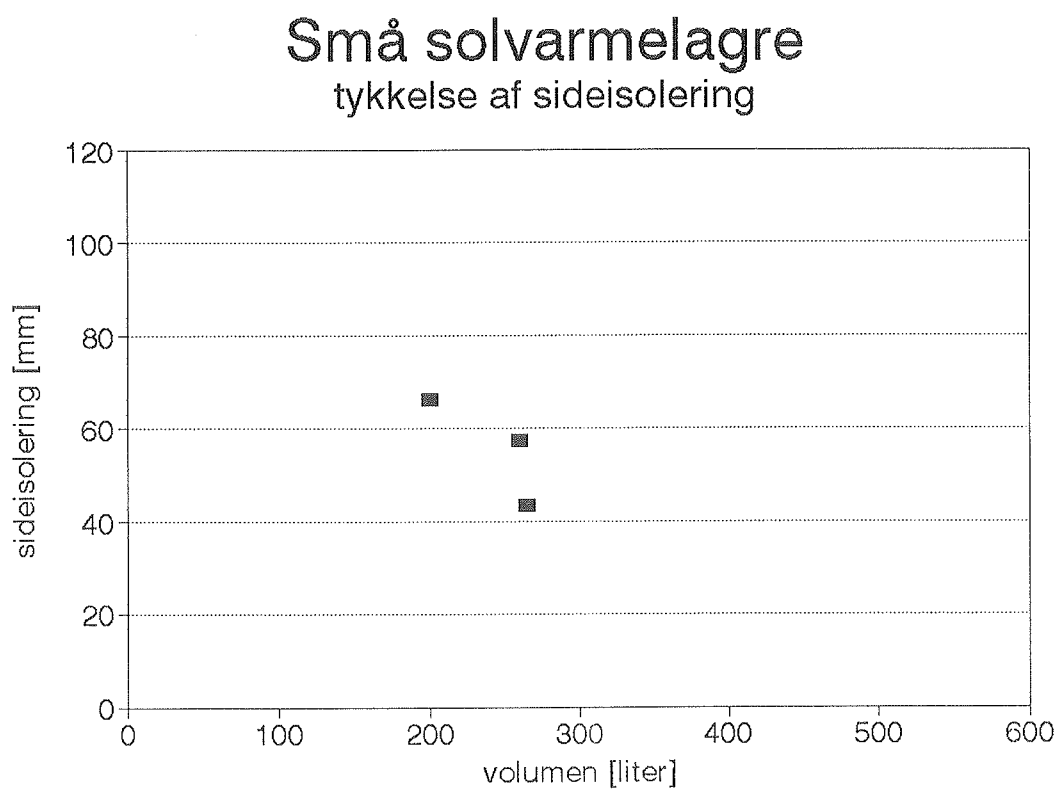
Små solvarmelagre tykkelse af topisolering



Figur 4. Tykkelsen af topisoleringen for kappebeholderne som funktion af beholder-volumenet.



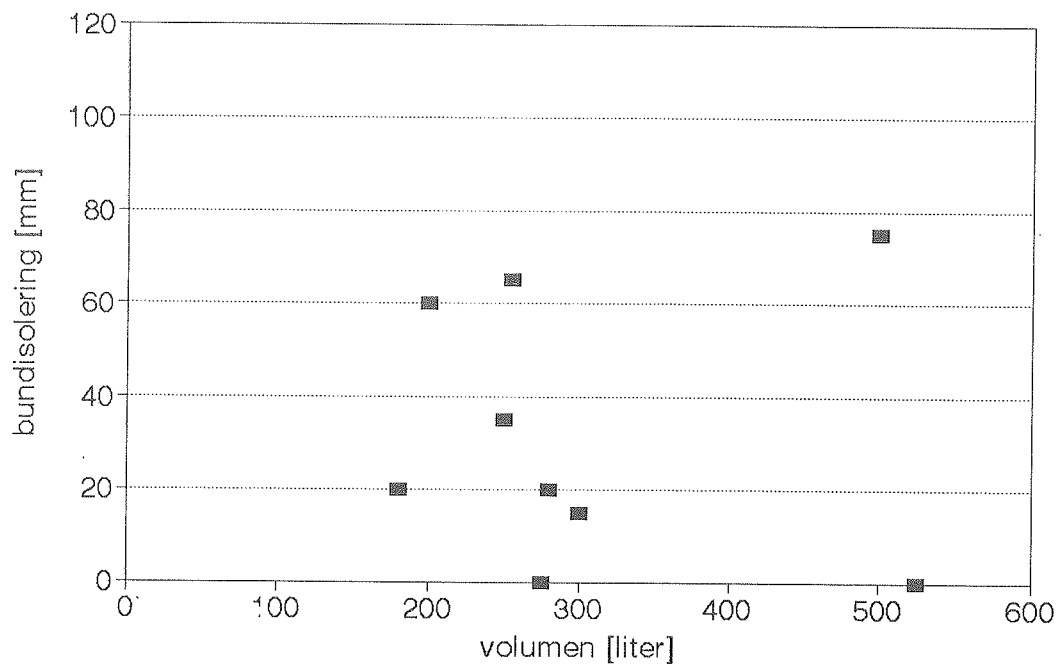
Figur 5. Tykkelsen af sideisoleringen for spiralbeholderne som funktion af beholder-volumenet.



Figur 6. Tykkelsen af sideisoleringen for kappebeholderne som funktion af beholder-volumenet.

Små solvarmelagre

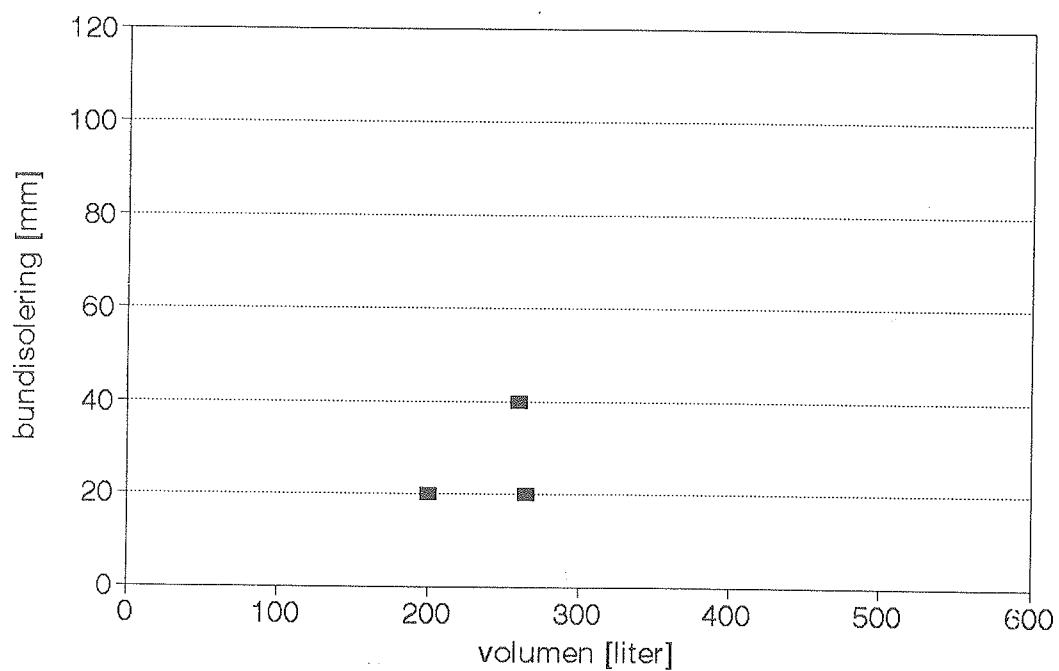
tykkelse af bundisolering



Figur 7. Tykkelsen af bundisoleringen for spiralbeholderne som funktion af beholder-volumenet.

Små solvarmelagre

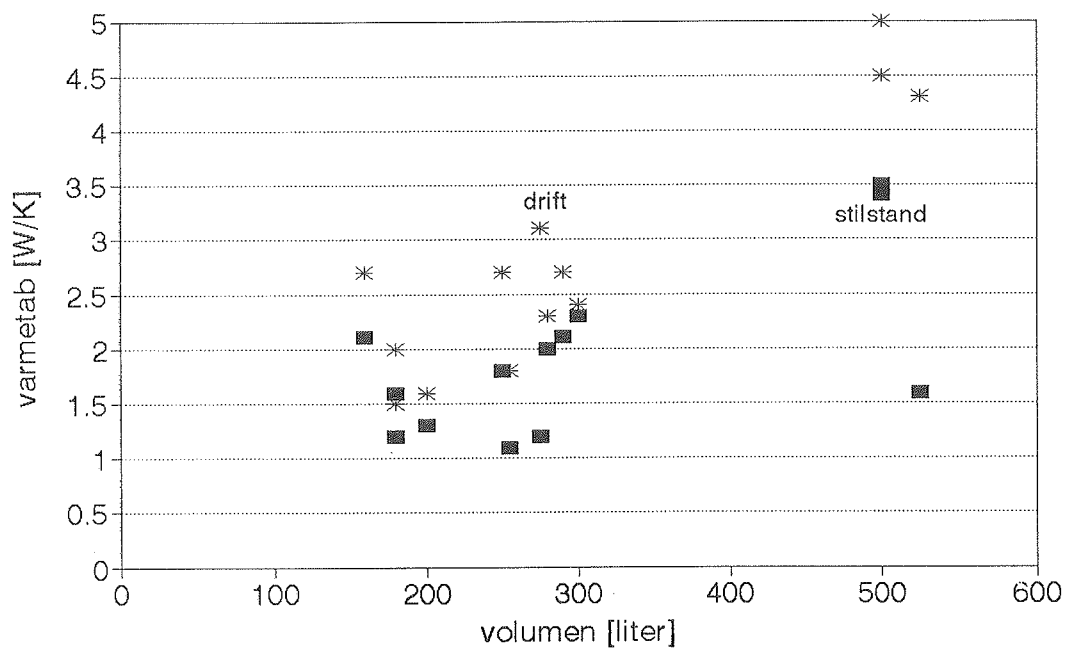
tykkelse af bundisolering



Figur 8. Tykkelsen af bundisoleringen for kappebeholderne som funktion af beholder-volumenet.

Små solvarmelagre

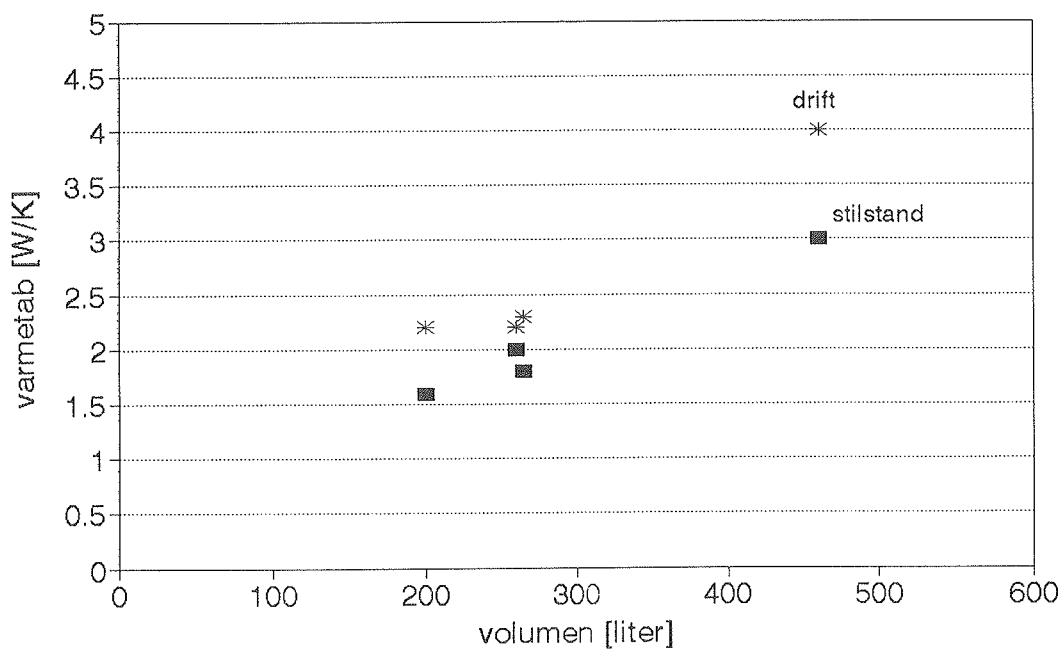
varmetab - stilstand/drift



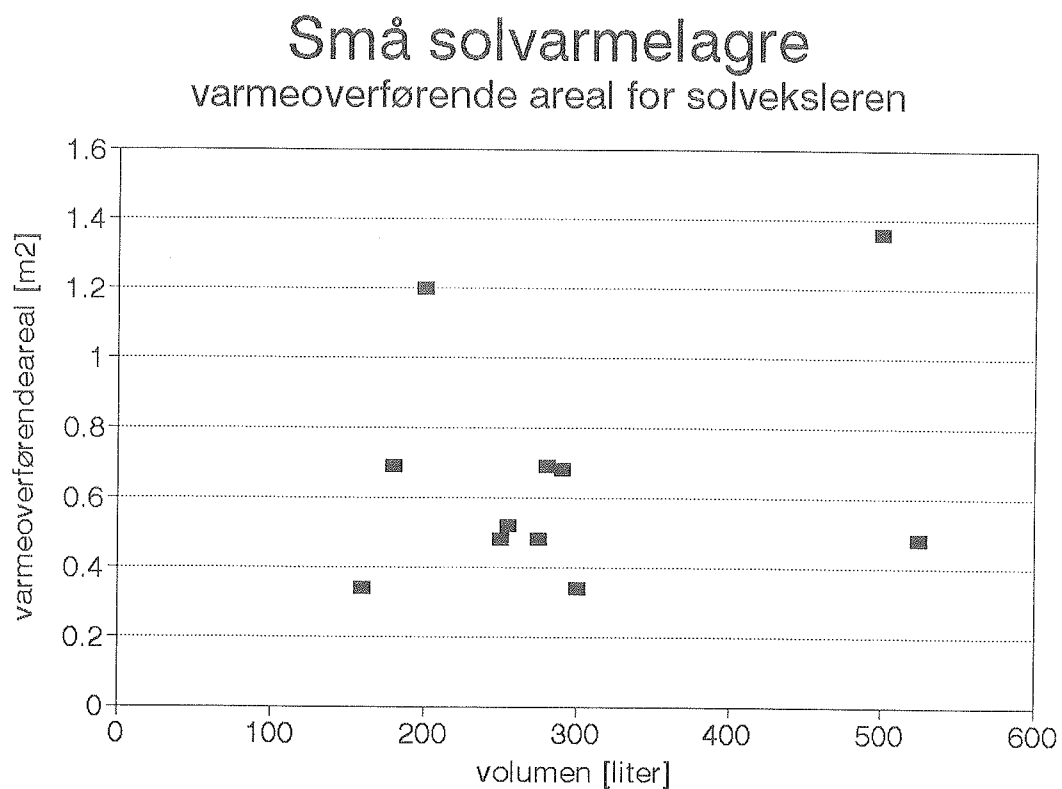
Figur 9. Varmetabet for spiralbeholderne som funktion af beholdervolumenet.

Små solvarmelagre

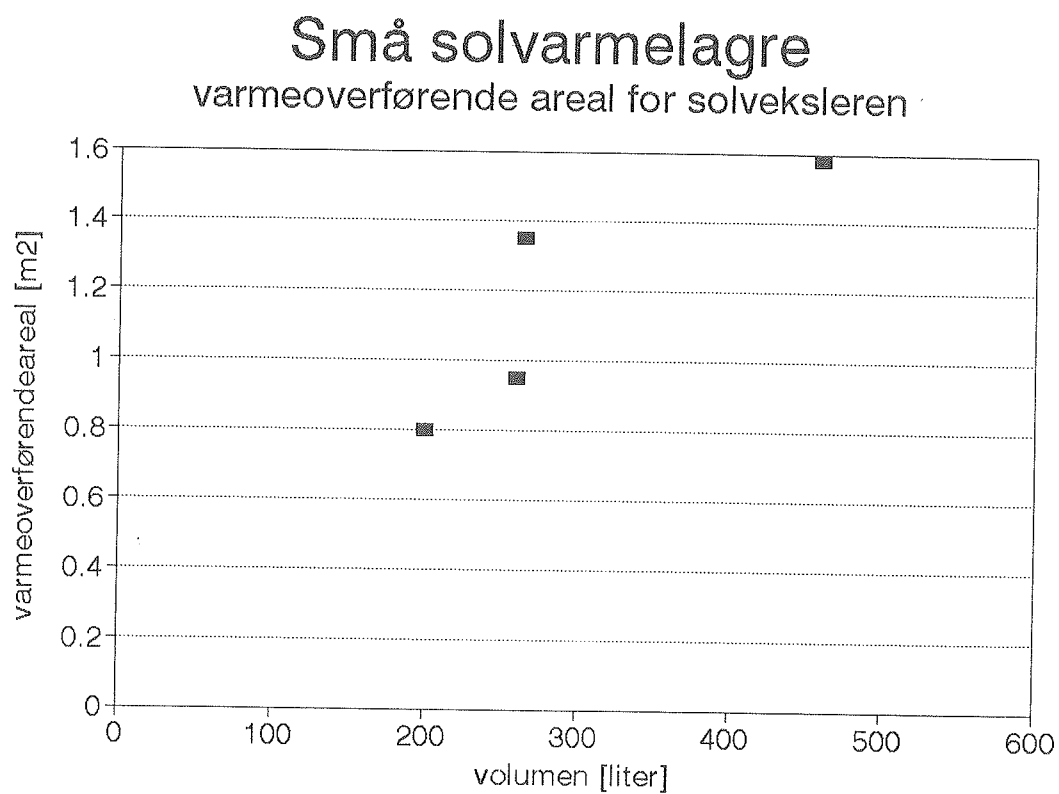
varmetab - stilstand/drift



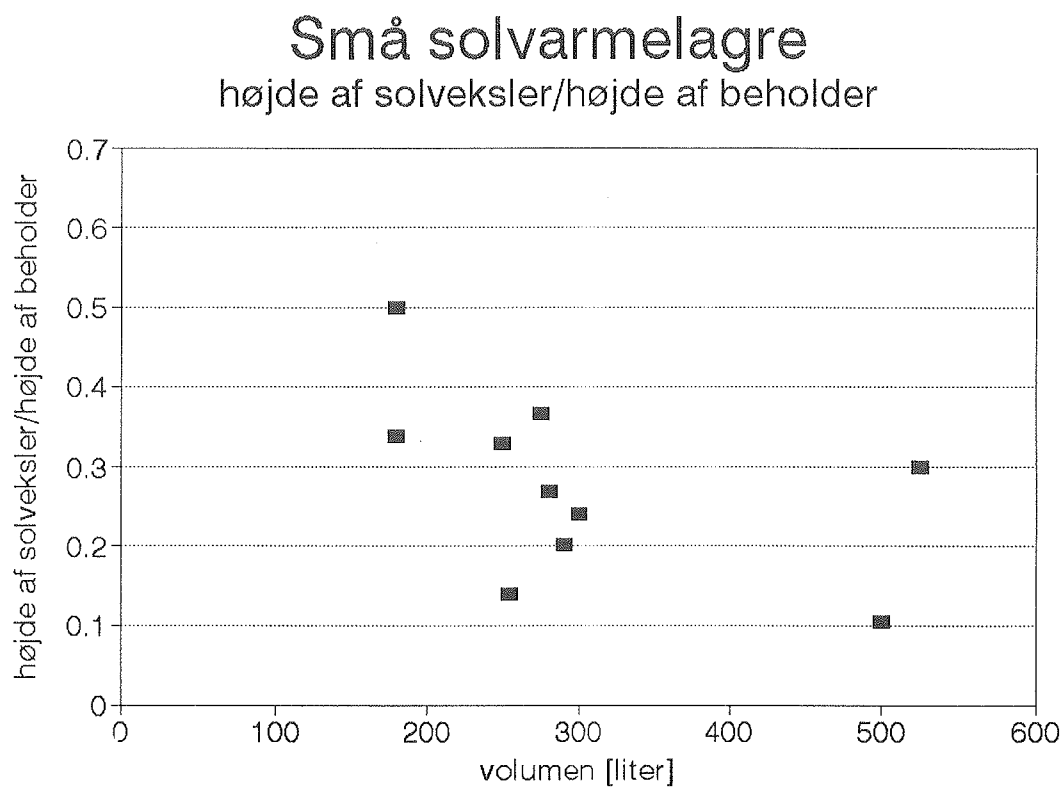
Figur 10. Varmetabet for kappebeholderne som funktion af beholdervolumenet.



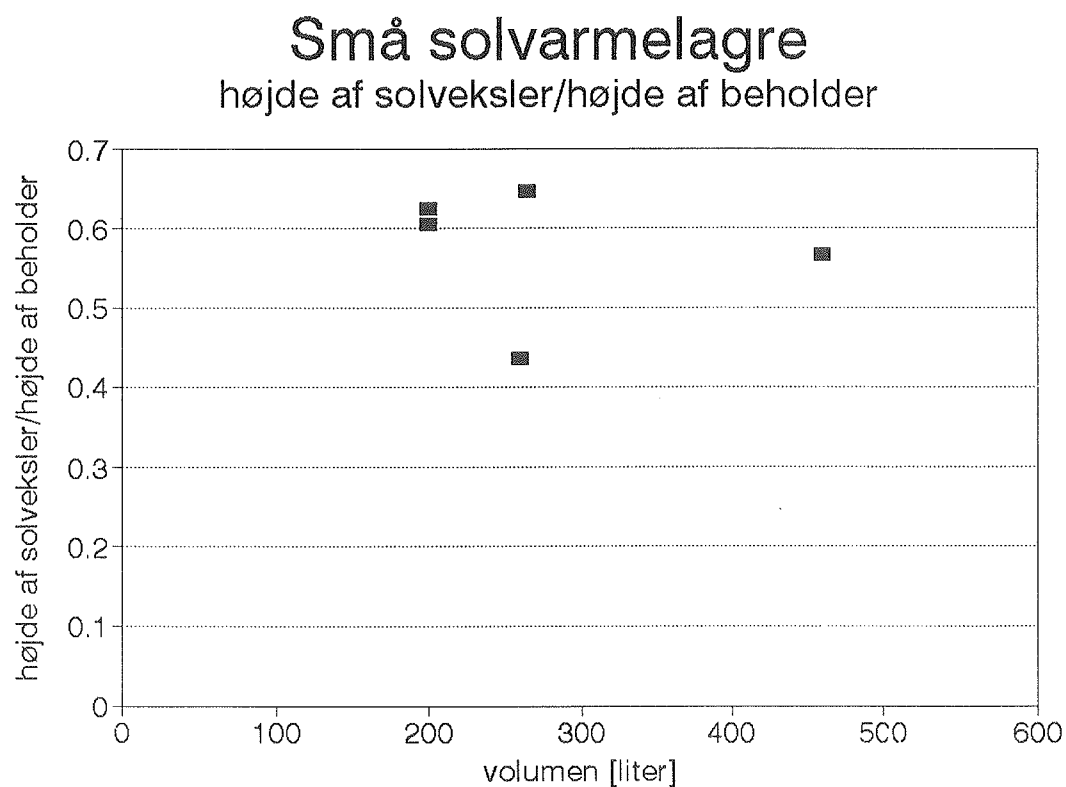
Figur 11. Solvekslerens varmeoverførende areal i spiralbeholderne som funktion af beholdervolumenet.



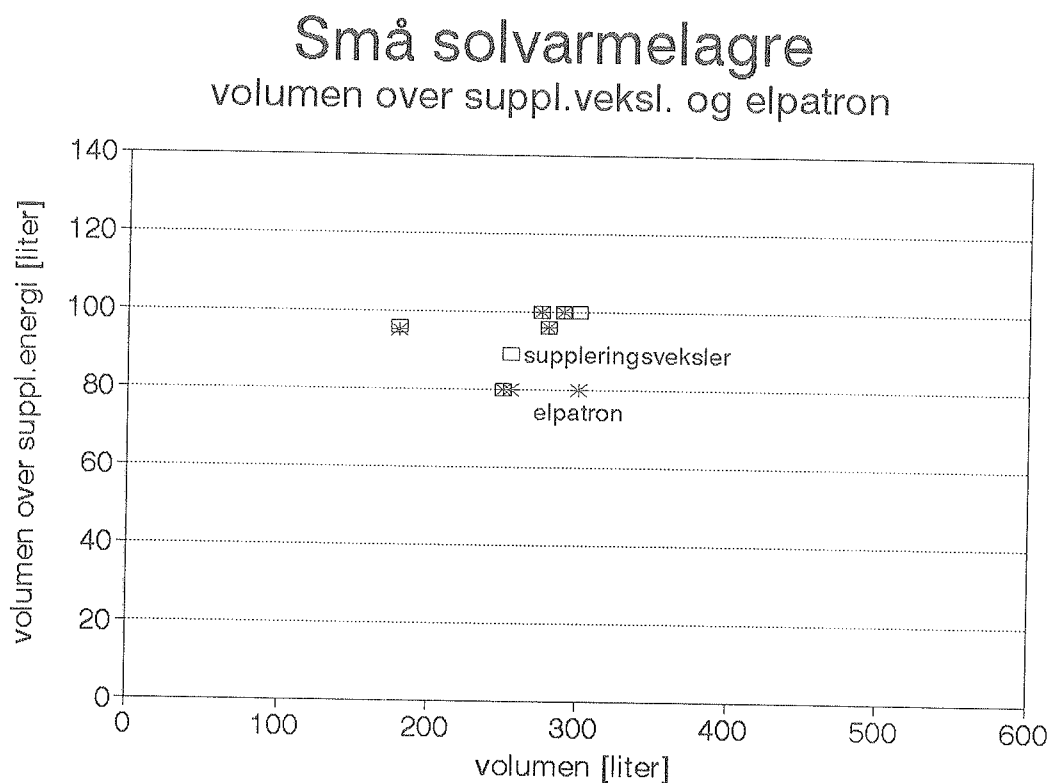
Figur 12. Solvarmevekslerens varmeoverførende areal i kappebeholderne som funktion af beholdervolumenet.



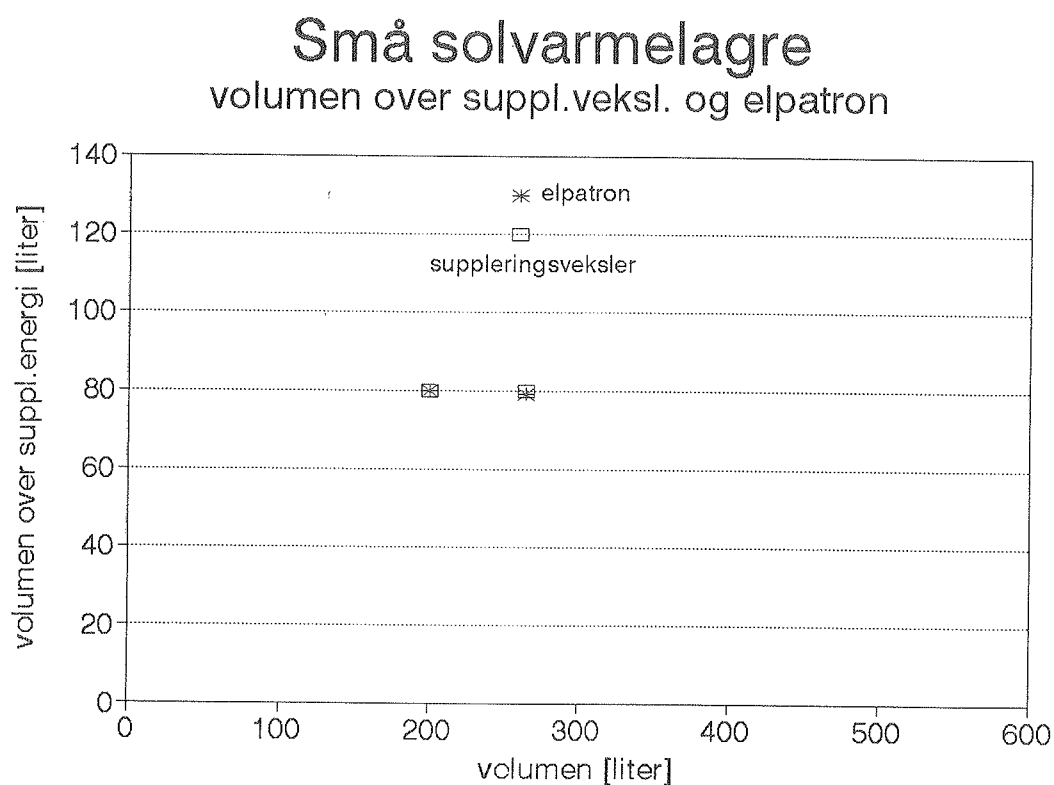
Figur 13. Højden af solvarmeveksleren i spiralbeholderne som funktion af beholdervolumenet.



Figur 14. Højden af solvarmeveksleren i kappebeholderne som funktion af beholdervolumenet.



Figur 15. Volumen over suppleringsvarmeveksler og elpatron i spiralbeholderne som funktion af beholdervolumenet.



Figur 16. Volumen over suppleringsvarmeveksler og elpatron i kappebeholderne som funktion af beholdervolumenet.

Figur 1-2 viser, at højde/diameter-forholdet for beholdere på 250-300 liter ligger omkring 3, mens dette forhold for større og mindre beholdere ligger på ca. 2. Det mindre højde/diameter-forhold for små beholdere skyldes, at der her anvendes samme endebunde som ved beholderne på 250-300 liter, der ofte har en diameter på 0,5 m. De små beholdere er derfor ikke særligt høje. For de større beholdere på omkring 500 liter er rumhøjden den begrænsende faktor. Undersøgelser viser, se kapitel 3, at for spiralbeholdere opnås en god temperaturlagdeling, når højde/diameter-forholdet er 2 eller højere. Højde/diameter-forholdet er således lig eller højere end det tilrådede. For kappebeholdere i low flow anlæg anbefales, at højde/diameter-forholdet er så stort som praktisk muligt.

Figur 3-8 viser beholdernes isoleringstykkelse. De angivne tykkelser er middelværdier, idet endebundene er hvælvede, og den udvendige omkreds af sideisoleringen ofte er ottekantet.

Figur 3 viser, at beholdernes toisolering øges med volumen af beholderen. Dette er en klog foranstaltning, idet en dårlig isolering betyder forholdsvis mest i toppen - specielt ved store beholdere med et lille højde/diameter-forhold. Figur 5-6 viser, at sideisoleringen stort set er uafhængig af beholdervolumenet. Figur 7-8 viser, at tykkelsen af bundisoleringen er meget forskellig fra beholder til beholder. Det anbefales ofte at udelade bundisoleringen, idet der kun er et ringe varmetab gennem bunden af beholderen. Udeladelse af bundisolering kan desuden mindske risikoen for, at anlægget kommer i kog i varme perioder uden tapninger. Samtidigt øges kondensdannelsen dog og dermed risikoen for udvendig korrosion af beholderbunden. Størstedelen af beholderne har bundisolering. Det skyldes, at de fleste beholdere er isoleret med skum, der påføres beholderen, ved at en form lukkes omkring beholderen. Mellemrummet mellem form og beholder skummes derefter ud. Formen skal helst være fuldstændig tæt. Det opnås bedst ved at lade den omslutte hele beholderen - også bunden. Forholdet mellem tykkelsen af top- og bundisoleringen kan reguleres ved at forskyde beholderen i formen, hvilket bevirker, at der alligevel ofte er lidt isolering på bunden af beholderne.

Figur 9-10 viser beholdernes varmetab ved stilstand og ved drift. Som forventet stiger varmetabet ved øget beholderstørrelse. Der er dog stor spredning inden for de enkelte volumener. Figurerne viser, at det er muligt ved en korrekt udformning af beholder, isolering og rørføring at komme ned på meget lave varmetab. Det teoretiske varmetab uden kuldebroer for en 250-300 liter spiralbeholder er 1,3 W/K (med de angivne isoleringstykkelser fra tabellen for den typiske spiralbeholder). Det teoretiske varmetab svarer hverken til det målte varmetab ved drift eller stilstand, da det teoretiske varmetab ikke er et virkeligt varmetab, men er tættest på varmetabet ved drift. Det gennemsnitlige varmetab ved drift (2,4 W/K) er, for de undersøgte beholdere med et volumen på 250-300 liter ca. 85 % højere end det teoretiske varmetab. Det er således muligt yderligere at nedsætte beholdernes varmetab og dermed øge solvarmeanlæggenes ydelse.

Det varmeoverførende areal stiger generelt med beholderens størrelse - figur 11-12. Dog findes der en lille beholder med et stort varmeoverførende areal og en stor beholder med et lille varmeoverførende areal. Det varmeoverførende areal er større for kappebeholderne end for spiralbeholderne. Dette er nødvendigt, idet strømningshastigheden i kappen er lavere end i en varmevekslerspiral, hvilket medfører en lavere indvendig varmeoverføringsevne. Der er derfor brug for et større areal for at opnå samme resulterende varmeoverføringsevne som med en spiralvarmeveksler.

Figur 13-14 viser, at kun få solvarmevekslere af spiraltypen er højere end en tredjedel af beholderens højde, mens kappernes højde ofte er to tredjedele af beholderens højde.

Figur 15-16 viser, at beholderfabrikanterne generelt er enige om, at volumen for tilskudsenergi bør være mellem 80 og 100 liter - kun én fabrikant har et volumen på mere end 100 liter. Undersøgelser har vist, at et suppleringsvolumen på 60 liter ofte vil være tilstrækkeligt til at opretholde komfortniveauet - specielt i boliger uden karbad. Fabrikanterne vælger dog at være på den sikre side. Dette mindsker solvarmeanlæggenes ydelse med ca. 1-2% for en beholder på 300 liter [4]. Denne reduktion i ydelsen øges ved stigende suppleringsvolumen og faldende beholdervolumen - ydelsesnedgangen for solvarmeanlæg med en beholder på 200 liter er således omkring 10%, se kapitel 3.

3. BEREGNED YDELSER FOR SOLVARMEANLÆG MED FORSKELLIGE VARMTVANDSBEHOLDERE

Årsydelsen for små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er for typiske forhold beregnet med detaljerede simuleringsmodeller. Beregninger er udført for solvarmeanlæg med en kombitank, som både kan opvarmes af solfangere og af den supplerende energikilde. Desuden er der gennemført beregninger for forvarmeanlæg, som er baseret på en forvarmetank opvarmet af solfangere og en eksisterende varmtvandsbeholder opvarmet af et moderne back-up energianlæg med et lille tomgangstab.

Som udgangspunkt for beregningerne er valgt to referenceanlæg. Et traditionelt solvarmeanlæg med høj volumenstrøm i solfangerkredsen og med en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral, og et low flow solvarmeanlæg med en kappebeholder.

Beregningerne er gennemført med forskelligt udformede varmtvandsbeholdere. Herved er det belyst, hvorledes varmtvandsbeholdernes udformning påvirker ydelsen for små solvarmeanlæg.

3.1 Beregningsforudsætninger

Data for varmtvandsbeholderne for de to referenceanlæg fremgår af tabel 2. De to referenceanlægs øvrige data, som fastholdes i alle beregninger, fremgår af tabel 3.

Varmtvandsforbruget og tappemønsteret, som benyttes i beregningerne, fremgår af tabel 4. Dette varmtvandsforbrug og tappemønster planlægges på sigt anvendt af Prøvestationen for Solenergi ved beregning af statstilskuddet for solvarmeanlæg. For tiden benyttes ved beregning af statstilskuddet et varmtvandsforbrug på 200 l/dag. Dette forbrug er noget større end varmtvandsforbruget i de fleste enfamiliehuse. I denne rapport anvendes et mere realistisk varmtvandsforbrug på 160 l/dag, se tabel 4.

For det traditionelle solvarmeanlæg med en varmtvandsbeholder med en indbygget varmevekslerspiral er den i [5] udviklede detaljerede simuleringsmodel benyttet til ydelsesberegningerne. Varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen afhænger stærkt af driftsbetingelserne. Varmeoverføringsevnen er bestemt for de forskellige driftsbetingelser ved hjælp af den i [6] udviklede metode.

For low flow anlægget med en kappebeholder er den i [7] og [8] udviklede og validerede detaljerede simuleringsmodel benyttet.

Beholdertype	Kappebeholder	Varmtvandsbeholder med indbygget varmevekslerspiral
Beholdermateriale	St 37-2	St 37-2
Varmtvandsbeholder volumen højde/diameter godstykkelse svøb endebunde	192 l 1020/500 mm 4 mm 4 mm	194 l 1020/500 mm 3 mm 4 mm
Kappe volumen højde/diameter godstykkelse placering	8 l 463 mm/530 mm 4 mm Kappen omgiver den nederste del af varmtvandsbeholderen. De øverste 96 l og de nederste 10 l af beholderen er ikke omgivet af kappen.	
Varmevekslerspiral materiale dimension længde placering		St 37-2 ½" 12 m Varmevekslerspiral placeret nederst i varmtvandsbeholderen
Supplerende energikilder Placering og styresystem	De øverste 96 l af varmtvandsbeholderen opvarmes til 50,5°C af de(n) supplerende energikilde(r).	De øverste 97 l af varmtvandsbeholderen opvarmes til 50,5°C af de(n) supplerende energikilde(r).
Isolering og varmetab Isoleringsmateriale isoleringstykkelse kuldebro i bunden af beholderen Varmelagerets varmetabskoefficient ved 60°C	PUR skum 50 mm omkring den øverste halvdel og de nederste 10 l af varmtvandsbeholderen 35 mm omkring kappen og varmtvandsbeholderens bund 0,5 W/K 1,8 W/K	PUR skum 50 mm 0,5 W/K 1,6 W/K

Tabel 2. Data for de to referenceanlægs varmtvandsbeholdere.

Varmtvandsforbrug: 160 l/dag opvarmet fra 10°C til 50°C			
Tappetidspunkt	kl. 7	kl. 12	kl. 19
Tappevolumen	53,33 l	53,33 l	53,33 l

Tabel 4. Varmtvandsforbrug og tappemønster benyttet ved beregning af anlægsyder.

SOLFANGER

SOLFANGERAREAL: 4 M²

SOLFANGEREFFEKTIVITET VED SMÅ INDFALDSVINKLER: $\eta=0,75-5,40 \cdot (T_m-T_{ude})/l$

EFFEKTIV VARMEKAPACITET FOR SOLFANGEREN: 7000 J/M²K

SOLFANGERHÆLDNING: 45°

SOLFANGERORIENTERING: SYDVENDT

STYRESYSTEM

DIFFERENSTERMOSTATSTYRING MED EN FØLER I SOLFANGEREN OG EN FØLER HHV. I BUNDEN AF KAPPEN OG I BUNDEN AF SPIRALBEHOLDEREN.

START- OG STOPDIFFERENS: $\begin{cases} 5 \text{ K OG } 2 \text{ K FOR KAPPEBEHOLDEREN} \\ 5 \text{ K OG } 0,4 \text{ K FOR SPIRALBEHOLDEREN} \end{cases}$

VOLUMENSTRØM I SOLFANGERKREDS: $\begin{cases} 0,6 \text{ L/MIN FOR KAPPEBEHOLDEREN} \\ 4,0 \text{ L/MIN FOR SPIRALBEHOLDEREN} \end{cases}$

SOLFANGERKREDS

RØRMATERIALE: KOBBER

YDRE DIAMETER: 15 MM

INDRE DIAMETER: 13 MM

ISOLERINGSMATERIALE: PUR SKUM

ISOLERINGSTYKKELSE: 10 MM

LÆNGDE AF FREMLØBSRØR TIL LAGER UDENDØRS: 1,5 M

LÆNGDE AF RETURRØR FRA LAGER UDENDØRS: 1,5 M

LÆNGDE AF FREMLØBSRØR TIL LAGER INDENDØRS: 3,5 M

LÆNGDE AF RETURRØR FRA LAGER INDENDØRS: 3,5 M

SOLFANGERVÆSKE: 50% (VÆGT%) PROPYLENGLYKOL/VAND-BLANDING

EFFEKT FOR CIRKULATIONS Pumpe: 30 W

VARMELAGER

OMGIVELSESTEMPERATUR: 20°C

Tabel 3. Data for referenceanlæggene.

Simuleringsmodellerne kan ikke simulere de termiske forhold i varmtvandsbeholdere helt korrekt. Beregningerne udføres derfor med følgende forudsætninger:

- rørtilslutninger forårsager ingen kuldebroer i toppen af beholderne.
- anlæggene er ikke forsynet med cirkulationsledninger.
- supplerende energikilde(r) opvarmer hele toppen af beholderne til samme temperaturniveau.
- der forekommer ingen uønsket omrøring i beholderne på grund af varmetilførsel - hverken fra solfangere eller fra supplerende energikilde(r).
- der forekommer ingen omrøring i beholderne under varmtvandstapninger.
- der forekommer ingen varmetransport nedad i beholderne på grund af tapperør og varmevekslerspiraler - hverken når der strømmer væske i rørene/spiralerne, eller når væskeerne er stillestående.
- de varmeoverføringsmæssige forhold for kappebeholdere er bestemt ved målinger på en 200 l standard kappebeholder.

De ovenfor nævnte forhold kan have stor betydning for temperaturlagdelingen i varmtvandsbeholdere og dermed for ydelsen af solvarmeanlæg. Der er derfor behov for at videreudvikle simuleringsmodellerne, således at temperaturlagdelingen i varmtvandsbeholdere kan beregnes korrekt ud fra kendskab til de detaljerede beholderudformninger. Det ligger uden for dette projekts rammer at videreudvikle simuleringsmodellerne. Derfor må beregningsresultaterne i denne rapport tages med et vist forbehold.

Det danske referenceårs vejrdata [9] er benyttet ved beregningerne. Som nævnt benyttes de i tabel 3 anførte data i alle beregningerne. Beholdernes udformninger er bestemt af en række parametre. Parametrene for referenceanlæggenes varmtvandsbeholdere fremgår af tabel 2. Beholderudformningens indflydelse på ydelsen af solvarmeanlægget er undersøgt på en sådan måde, at beregninger er udført med forskellige størrelser af den enkelte parameter, som er medbestemmende for beholderudformningen. Bortset fra variationer af størrelsen af denne ene parameter er i øvrigt benyttet data fra tabel 2. Altså er kun én parameter varieret ad gangen.

3.2 Beregningsresultater

Referenceanlæggenes beregnede årsydelser fremgår af tabel 5. Nettoydelsen defineres for kombitankanlægget som den fra kombitanken tappede energimængde minus energien tilført den supplerende energikilde. For forvarmeanlægget defineres nettoydelsen som den fra forvarmetanken tappede energimængde. Dækningsgraden er forholdet mellem nettoydelsen og varmtvandsbehovet, som er 2690 kWh/år, svarende til varmtvandsforbruget på 160 l/dag opvarmet fra 10°C til 50°C.

Anlægstype	Beholder		Spiralbeholder		Kappebeholder	
	Nettoydelse	Dækningsgrad	Nettoydelse	Dækningsgrad	Nettoydelse	Dækningsgrad
Kombitankanlæg	1150 kWh/år	43 %	1270 kWh/år	47 %		
Forvarmeanlæg	1390 kWh/år	52 %	1510 kWh/år	56 %		

Tabel 5. Beregnede årlige nettoydelser og dækningsgrader for de 4 referenceanlæg.

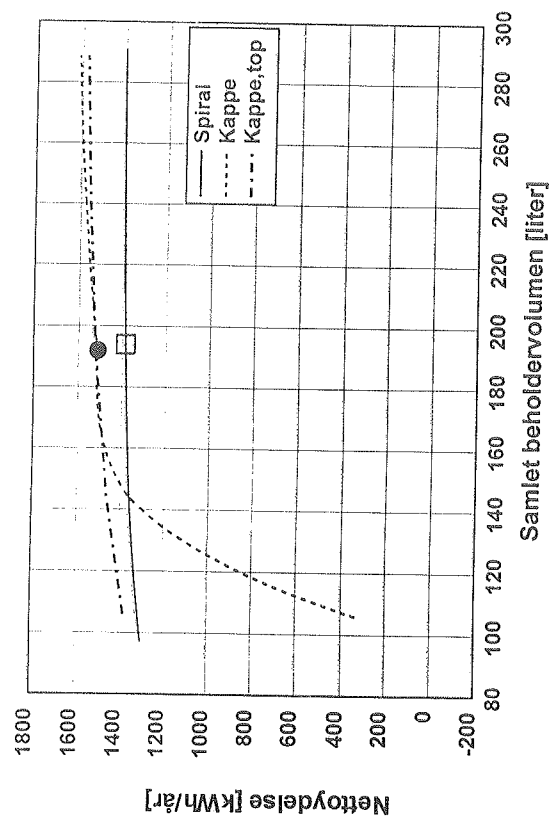
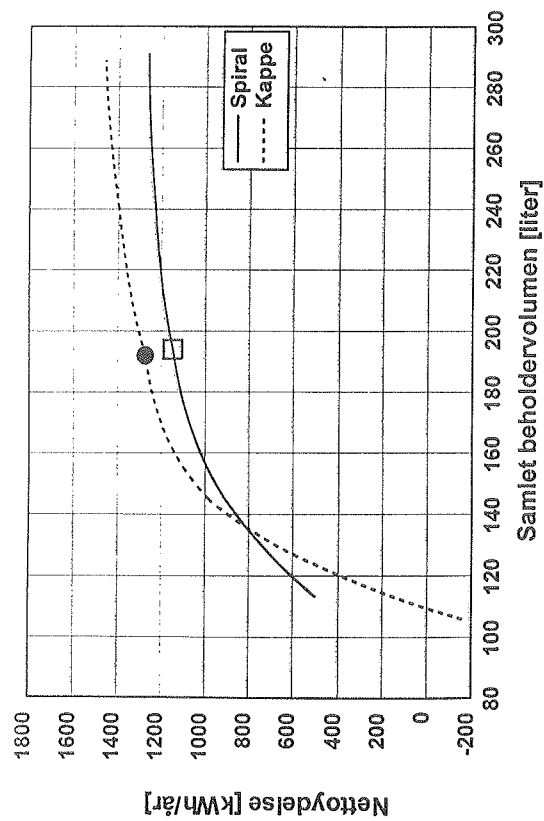
Det ses, at ydelserne for forvarmeanlæggene er ca. 20% større end ydelserne for kombi-tankanlæggene. Hovedårsagen til disse merydelser er, at temperaturerne i forvarmebeholderne som regel er meget lavere end temperaturerne i kombibeholderne. Forvarmeanlæg er normalt foruden forvarmetanken også forsynet med en eksisterende varmtvandsbeholder, som er opvarmet af den supplerende energikilde. Den eksisterende varmtvandsbeholder har et varmetab, som ikke er medregnet i ydelsesangivelserne i denne rapport. I praksis vil ydelserne af de to anlægstyper være næsten ens.

Endvidere ses, at low flow anlæg med kappebeholdere yder ca. 10% mere end traditionelle anlæg med spiralbeholdere. Undersøgelser har vist, at merydelser for low flow anlæg afhænger stærkt af dækningsgraden [8], [10]. Jo mindre dækningsgraden er, des større er merydelserne for low flow anlæg.

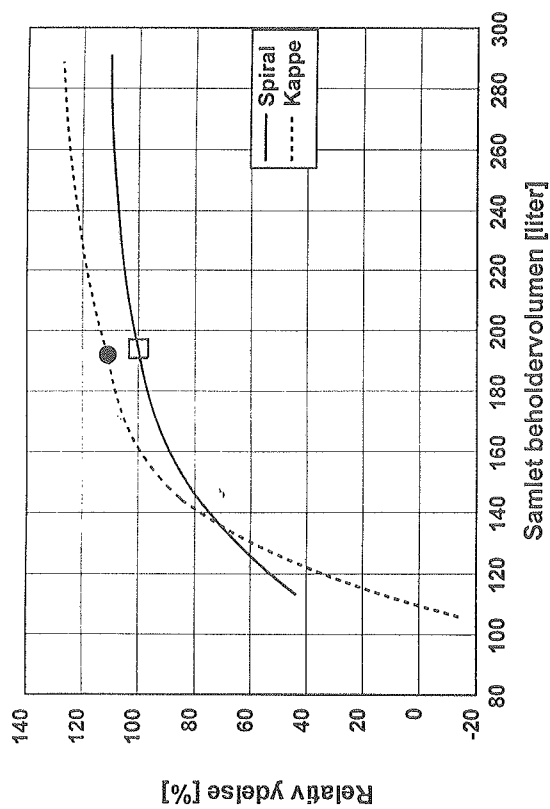
Målinger har vist, at for kombitankanlæg yder et standard low flow anlæg årligt ca. 17% mere end et traditionelt solvarmeanlæg, når dækningsgraderne for de to anlæg er hhv. ca. 48% og ca. 41% [11]. Altså er de beregnede merydelser for low flow anlæg noget mindre end de målte merydelser. Hovedårsagerne til forskellen mellem beregnede og målte merydelser er sandsynligvis to af de i afsnit 3.1 anførte beregningsforudsætninger. I spiralbeholdere vil der i visse perioder forekomme uønsket omrøring mellem det solopvarmede vand nederst i beholderne og det oven for liggende varmere vand, som er opvarmet af den supplerende energikilde. Hvor meget denne omrøring, som ikke tages i beregning, reducerer ydelserne for det traditionelle solvarmeanlæg afhænger af varmevekslerspiralens udformning. Undersøgelser af en markedsført beholder har vist en ydelsesreduktion på ca. 4% forårsaget af denne omrøring, [12]. Desuden vil den nedadrettede varmetransport gennem varmevekslerspiralen i spiraltanken ligeledes reducere anlægsydelsen for det traditionelle solvarmeanlæg. Som nævnt i afsnit 3.1 tages denne varmetransport heller ikke i beregning.

Det må altså bemærkes, at beregningerne undervurderer de ydelsesmæssige fordele for low flow anlæg med kappebeholdere en smule. Det vurderes dog, at simuleringsmodellerne med rimelighed kan benyttes til de nedenfor omtalte parameteranalyser.

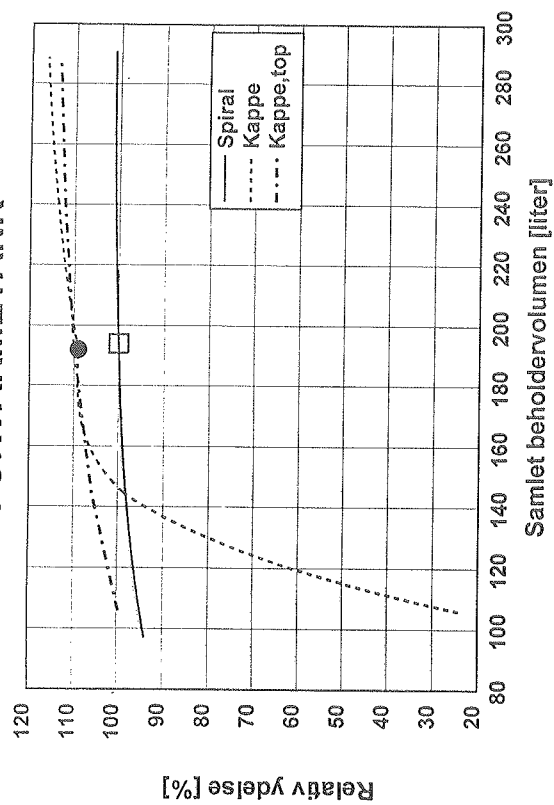
Figur 17-33 viser beregningsresultaterne. De årlige nettoydelser og de relative ydelser både for kombitankanlæg og for forvarmeanlæg er vist som funktion af størrelsen af den varierede parameter både for kappebeholderanlæg og for spiralbeholderanlæg. Den relative ydelse defineres som forholdet mellem nettoydelsen for det pågældende anlæg og nettoydelsen for det traditionelle referenceanlæg. Den relative ydelse for det traditionelle referenceanlæg er altså altid 100%, både for kombitankanlægget og forvarmeanlægget. Ydelserne for referenceanlæggene er specielt markeret.



KOMBITANK

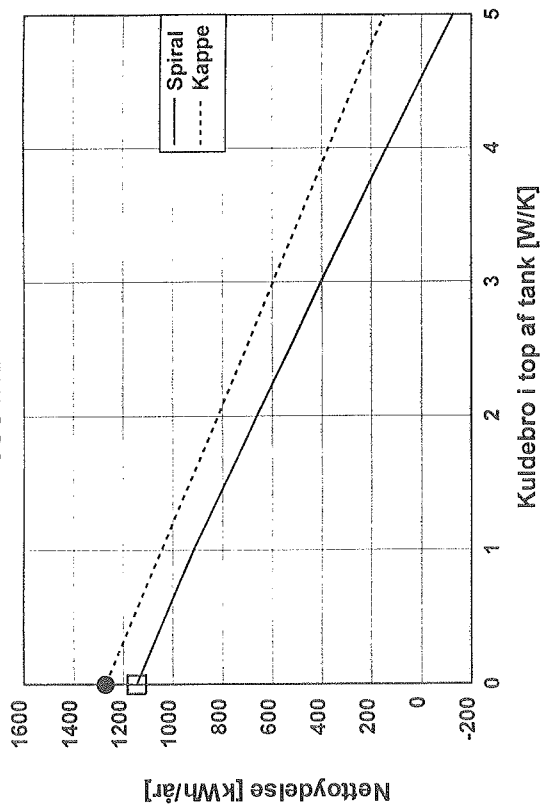


FORVARMETANK

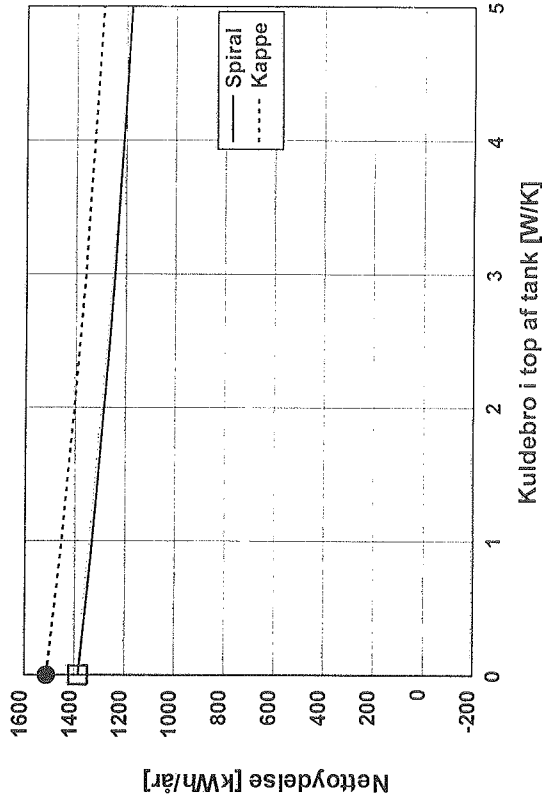


Figur 17. Anlægsydelser som funktion af beholdervolumenet.

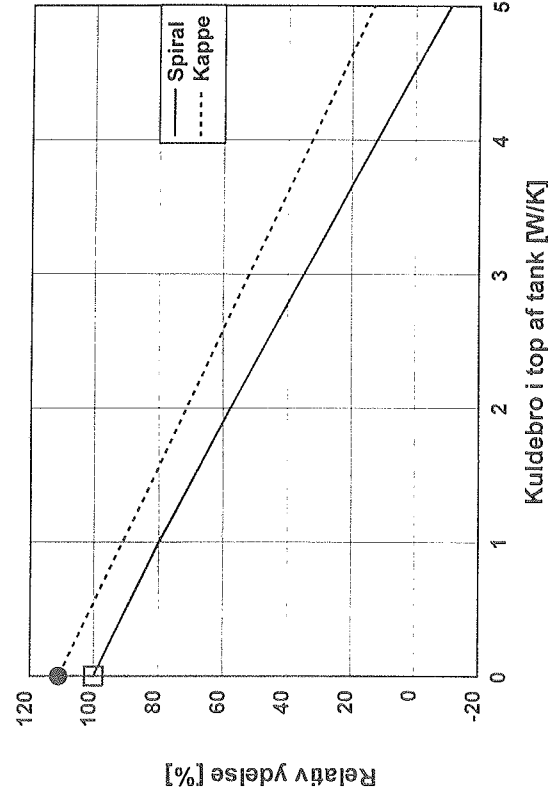
KOMBITANK



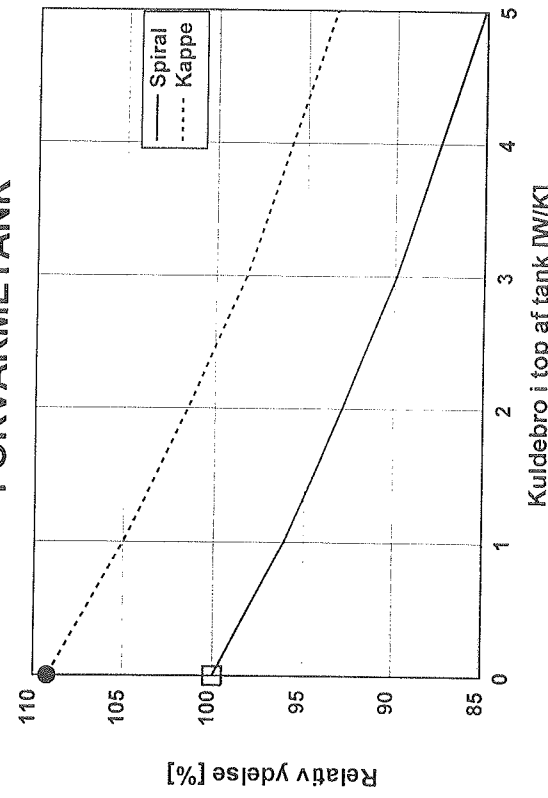
FORVARMETANK



KOMBITANK

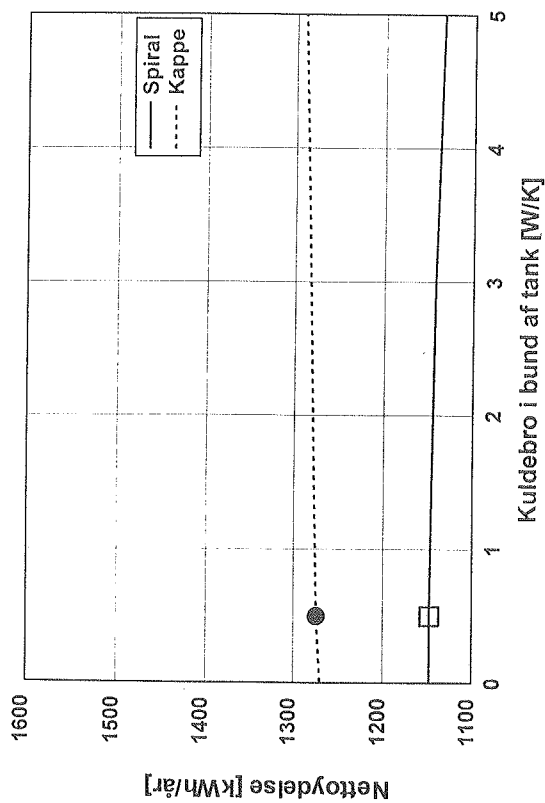


FORVARMETANK

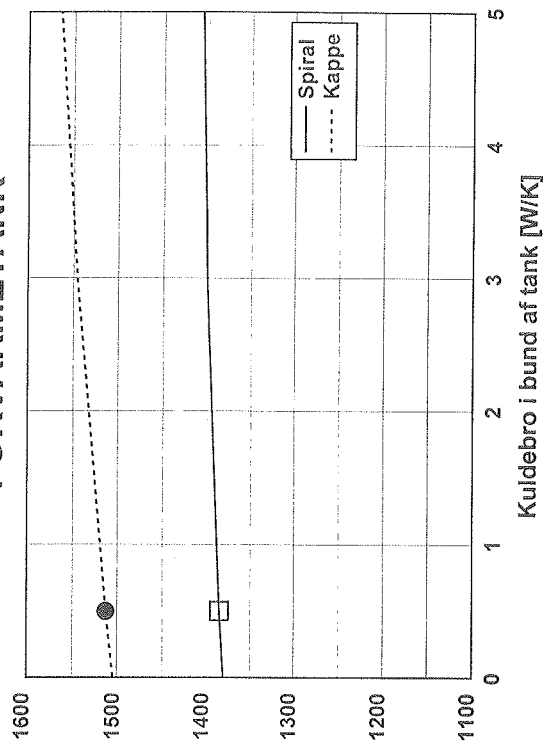


Figur 18. Anlægsydelse som funktion af kuldebroen i toppen af tanken.

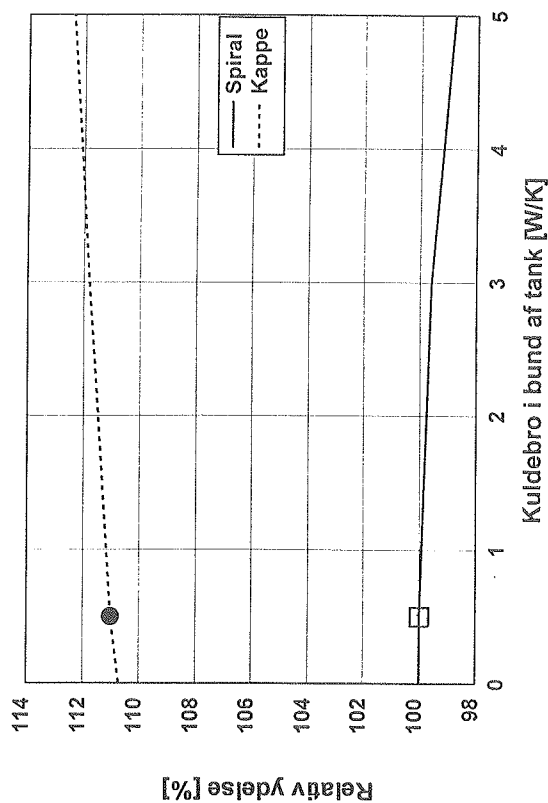
KOMBITANK



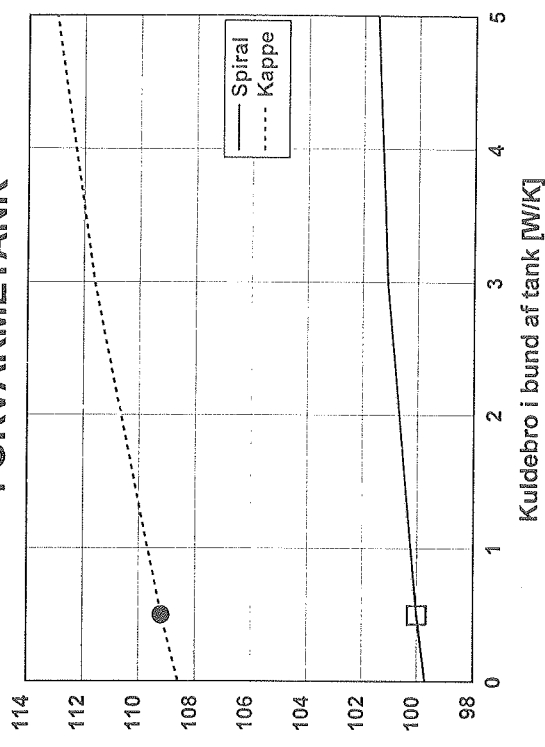
FORVARMETANK



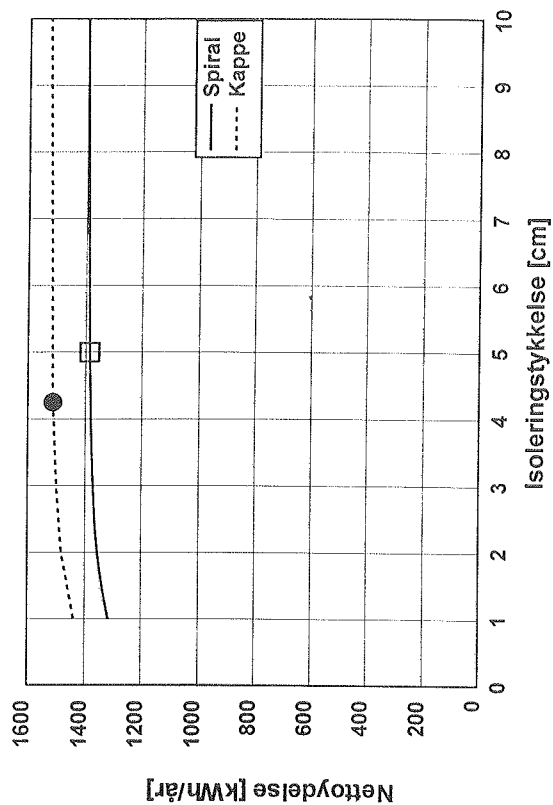
KOMBITANK



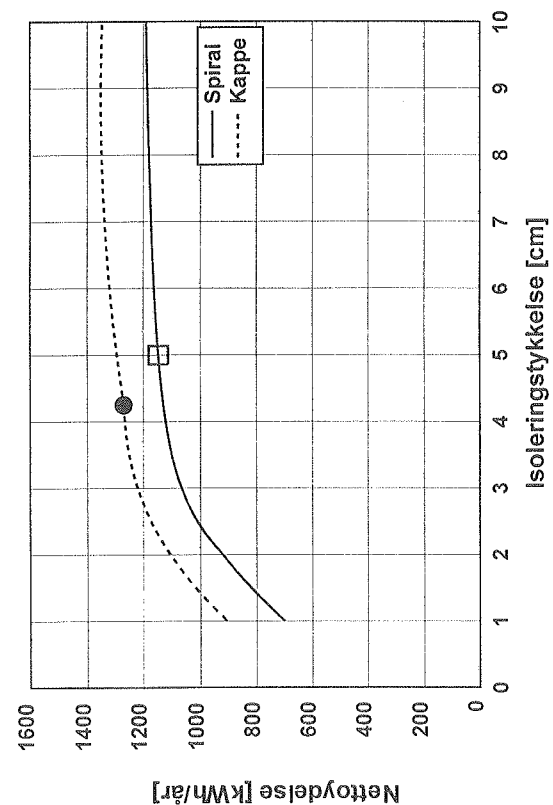
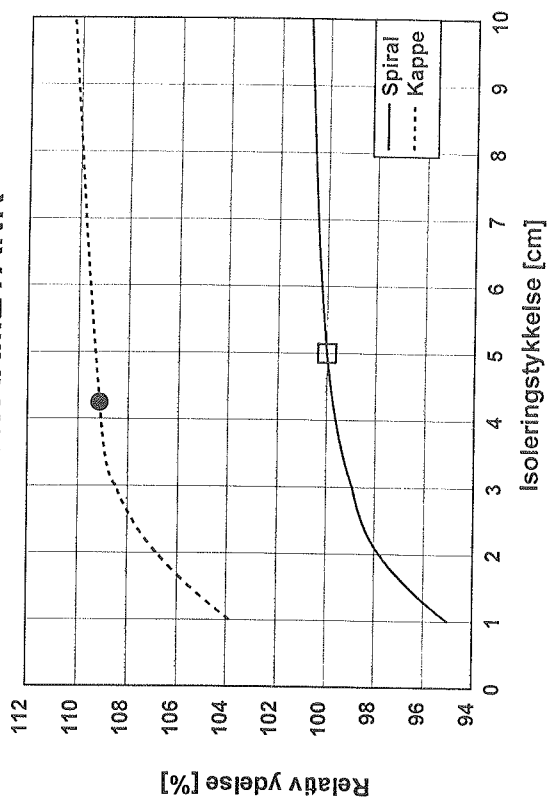
FORVARMETANK



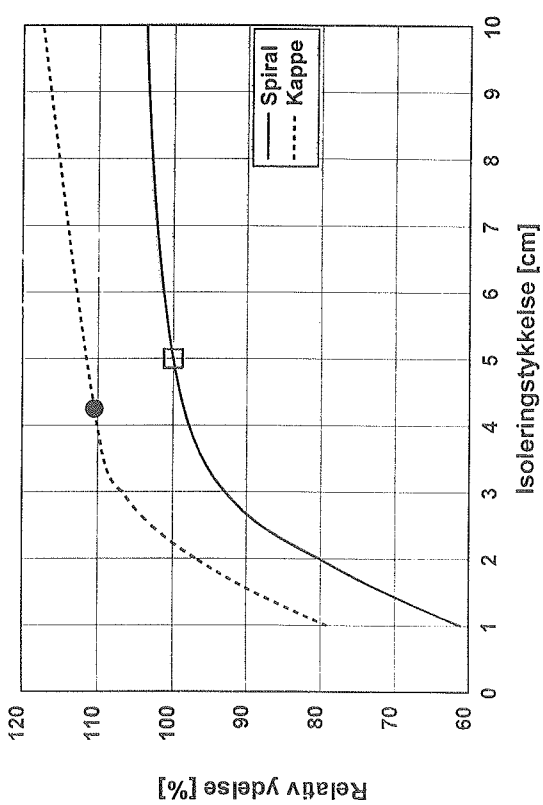
Figur 19. Anlægsydelser som funktion af kuldebroen i bunden af tanken.



FORVARMETANK

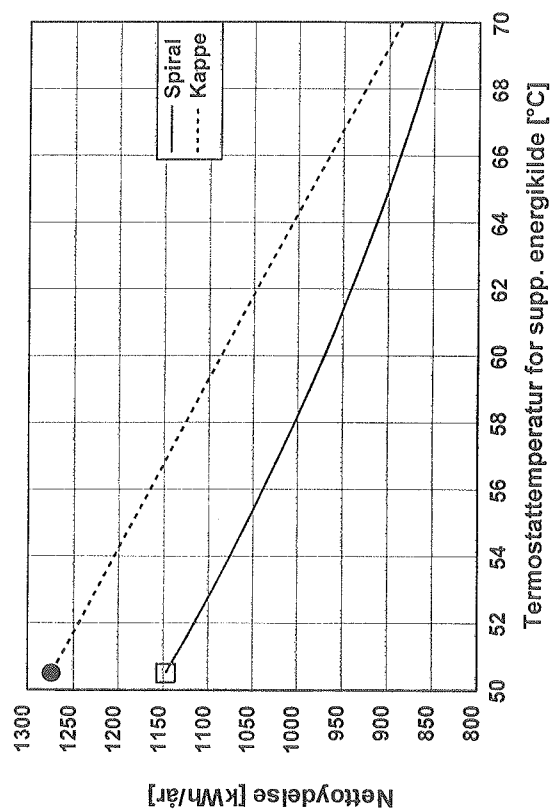


KOMBITANK

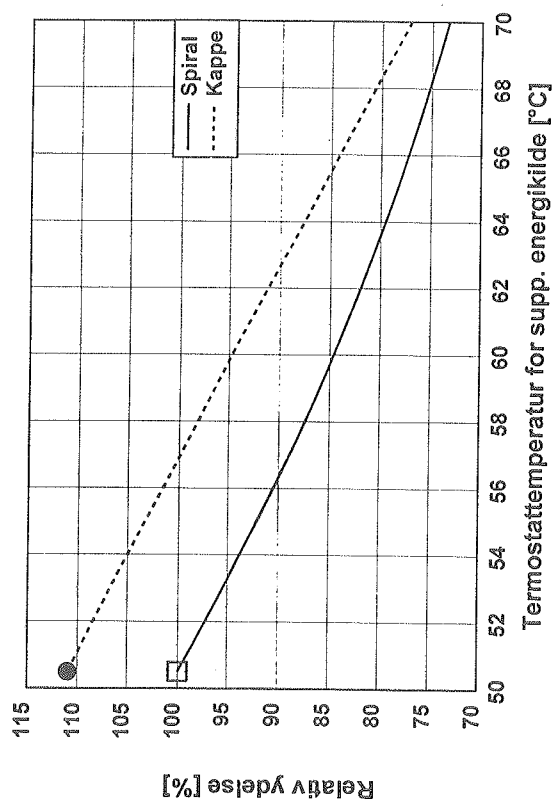


Figur 20. Anlægsydelser som funktion af beholderens isoleringstykkelse.

KOMBITANK

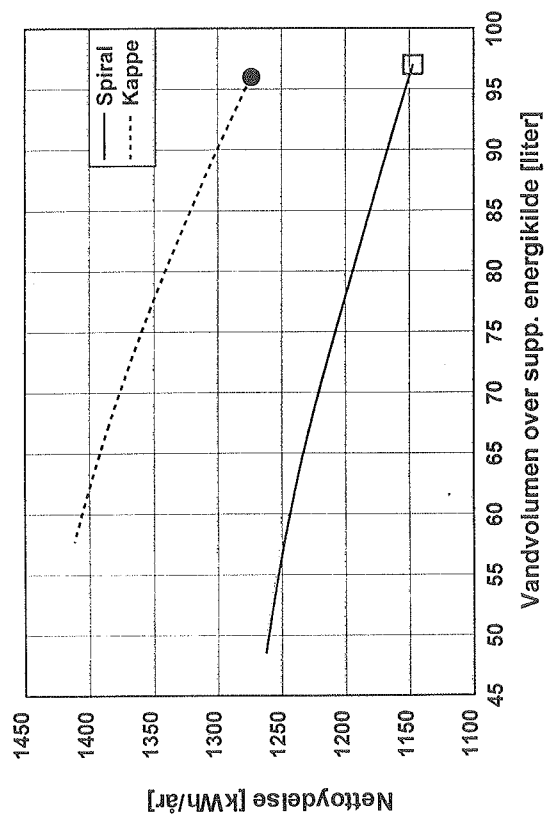


KOMBITANK

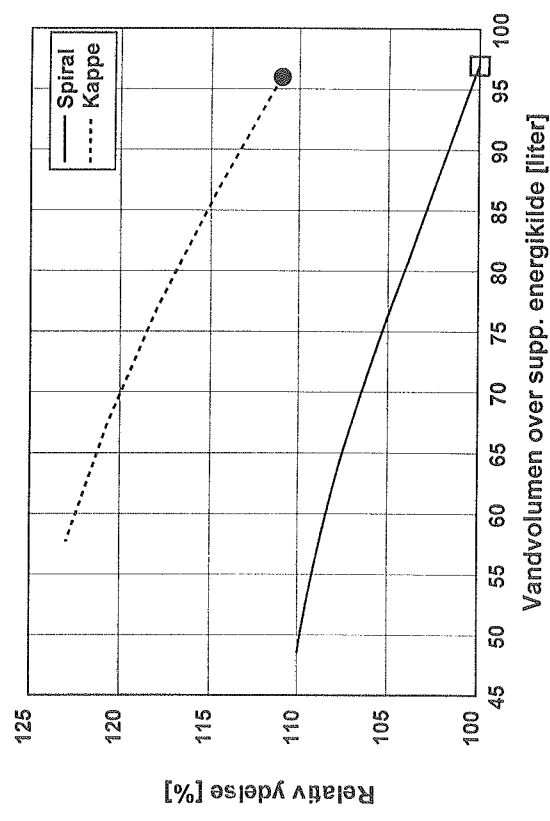


Figur 21. Anlægsydelser som funktion af termostattemperaturen for den supplerende energikilde.

KOMBITANK

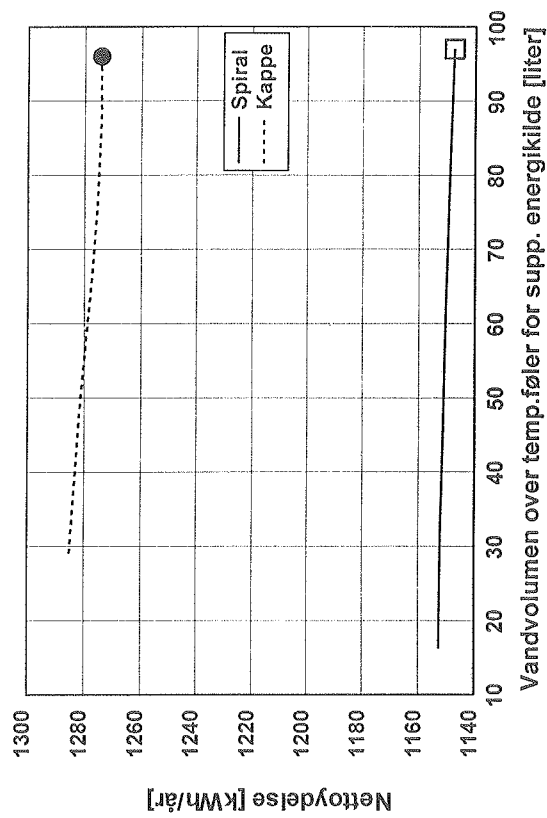


KOMBITANK

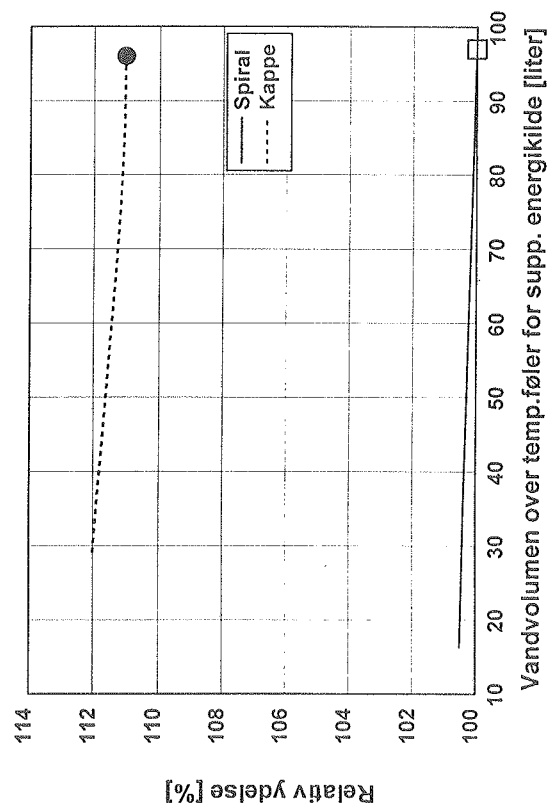


Figur 22. Anlægsydelser som funktion af vandvolumenet over den supplerende energikilde.

KOMBITANK

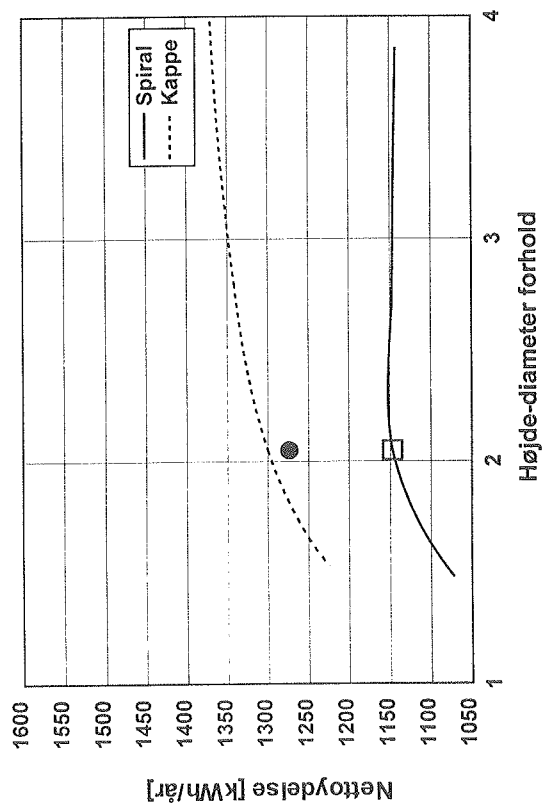


KOMBITANK

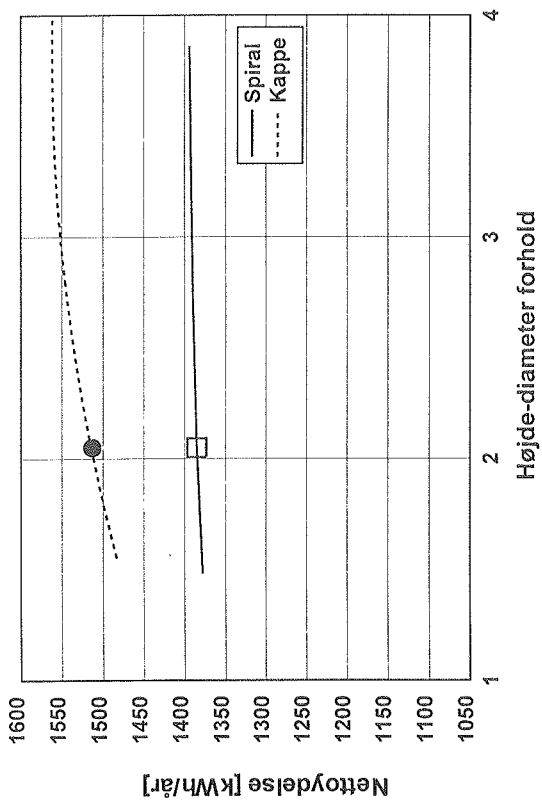


Figur 23. Anlægsydelser som funktion af vandvolumenet over temperaturføleren for den supplerende energikilde.

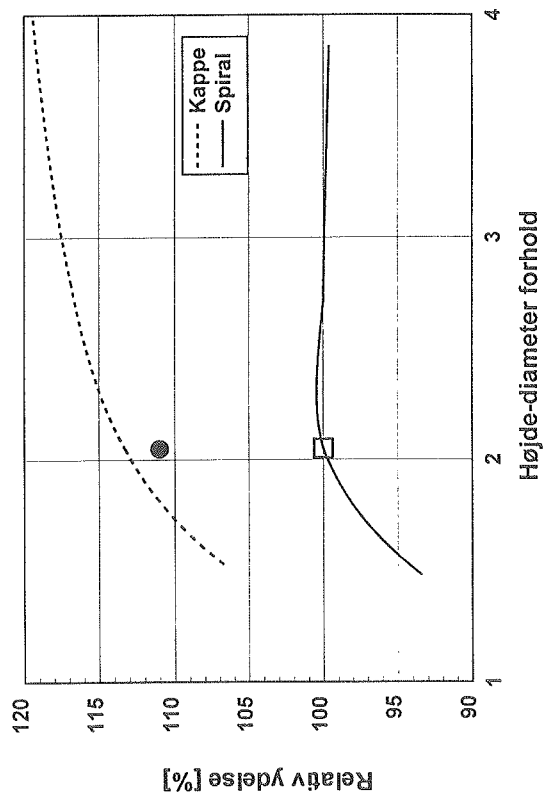
KOMBITANK



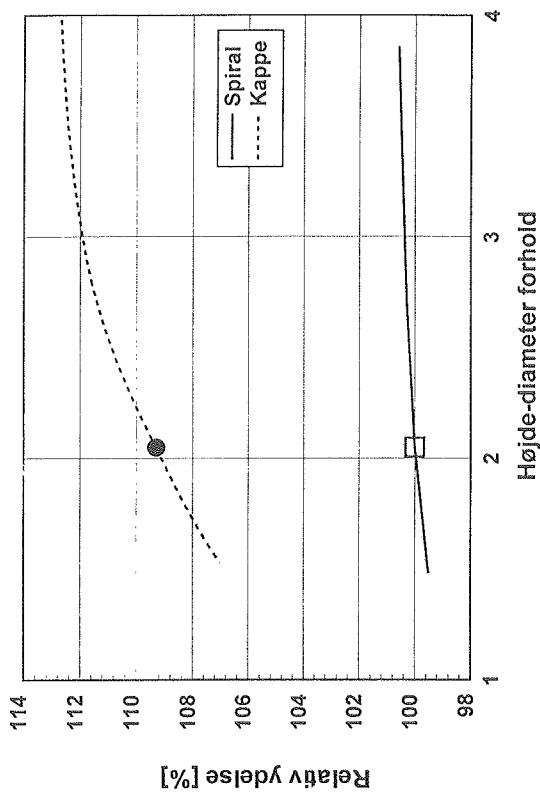
FORVARMETANK



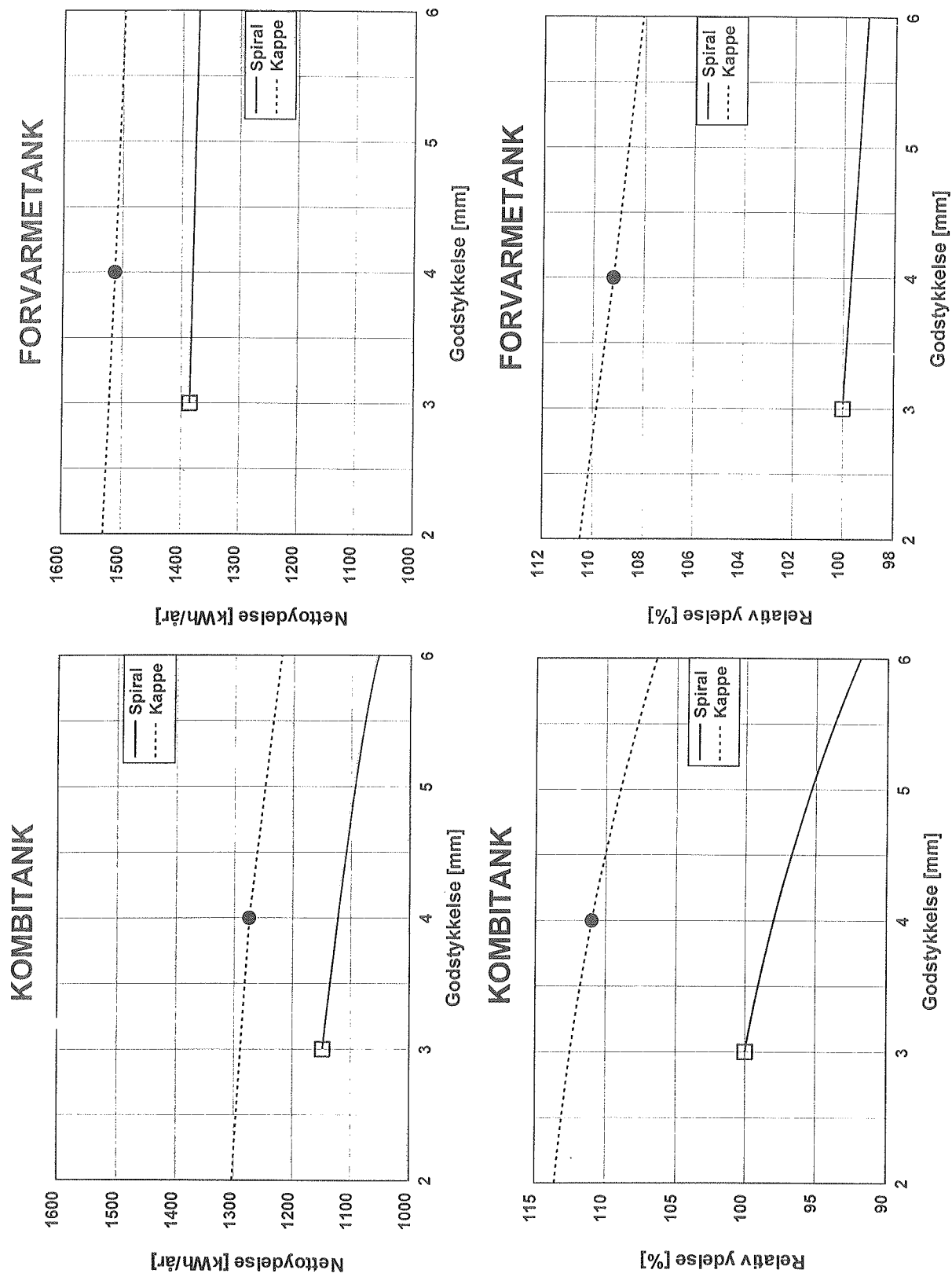
KOMBITANK



FORVARMETANK

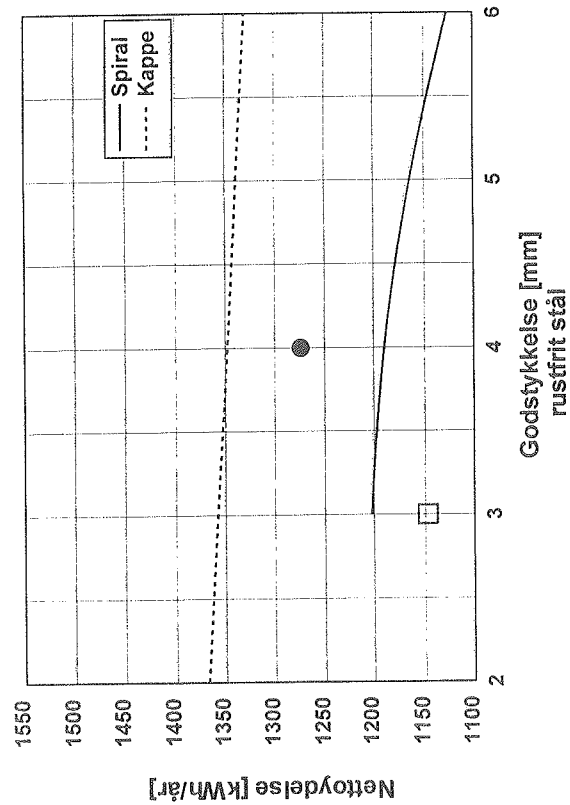


Figur 24. Anlægsydelser som funktion af beholderens højde/diameter-forhold.

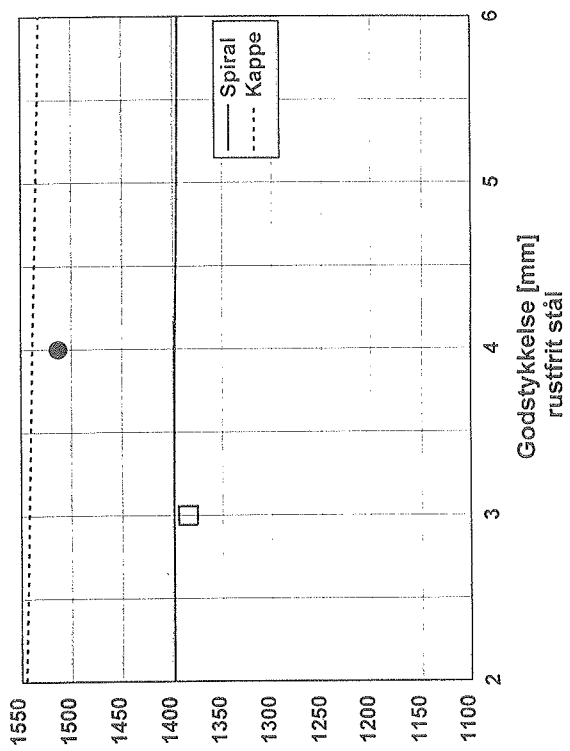


Figur 25. Anlægsydelse som funktion af beholderens godstykkekkelse.

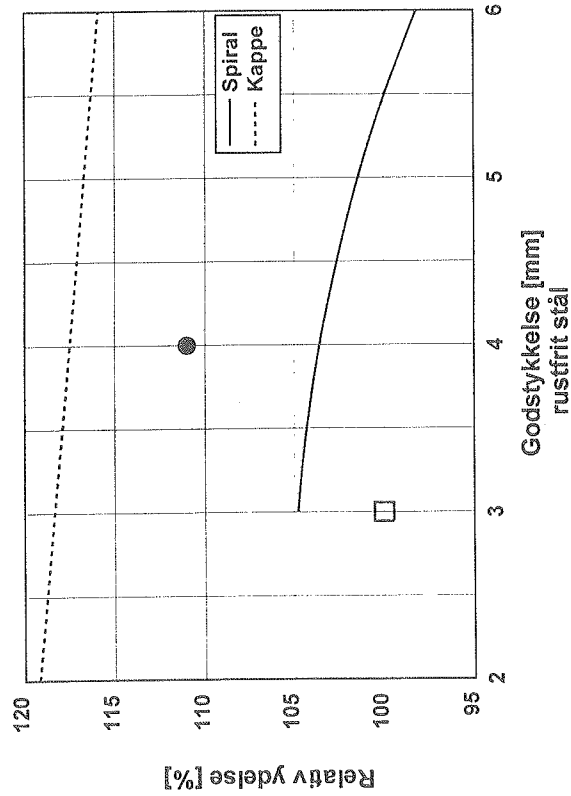
KOMBITANK



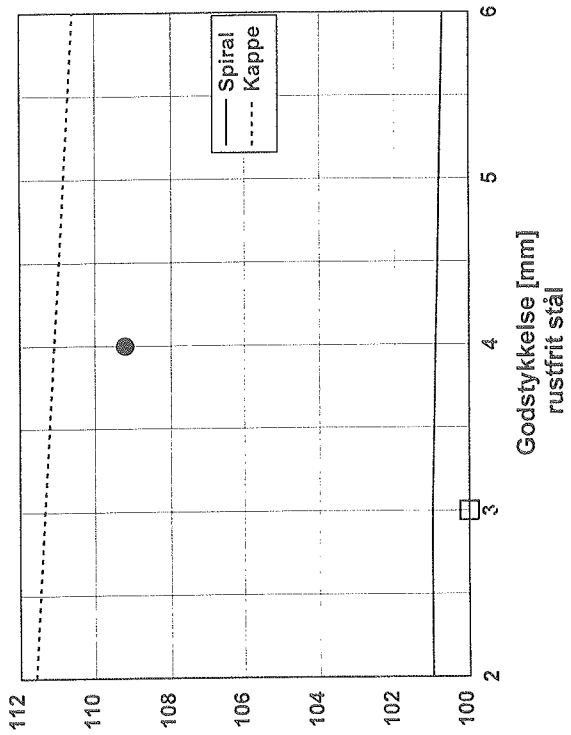
FORVARMETANK



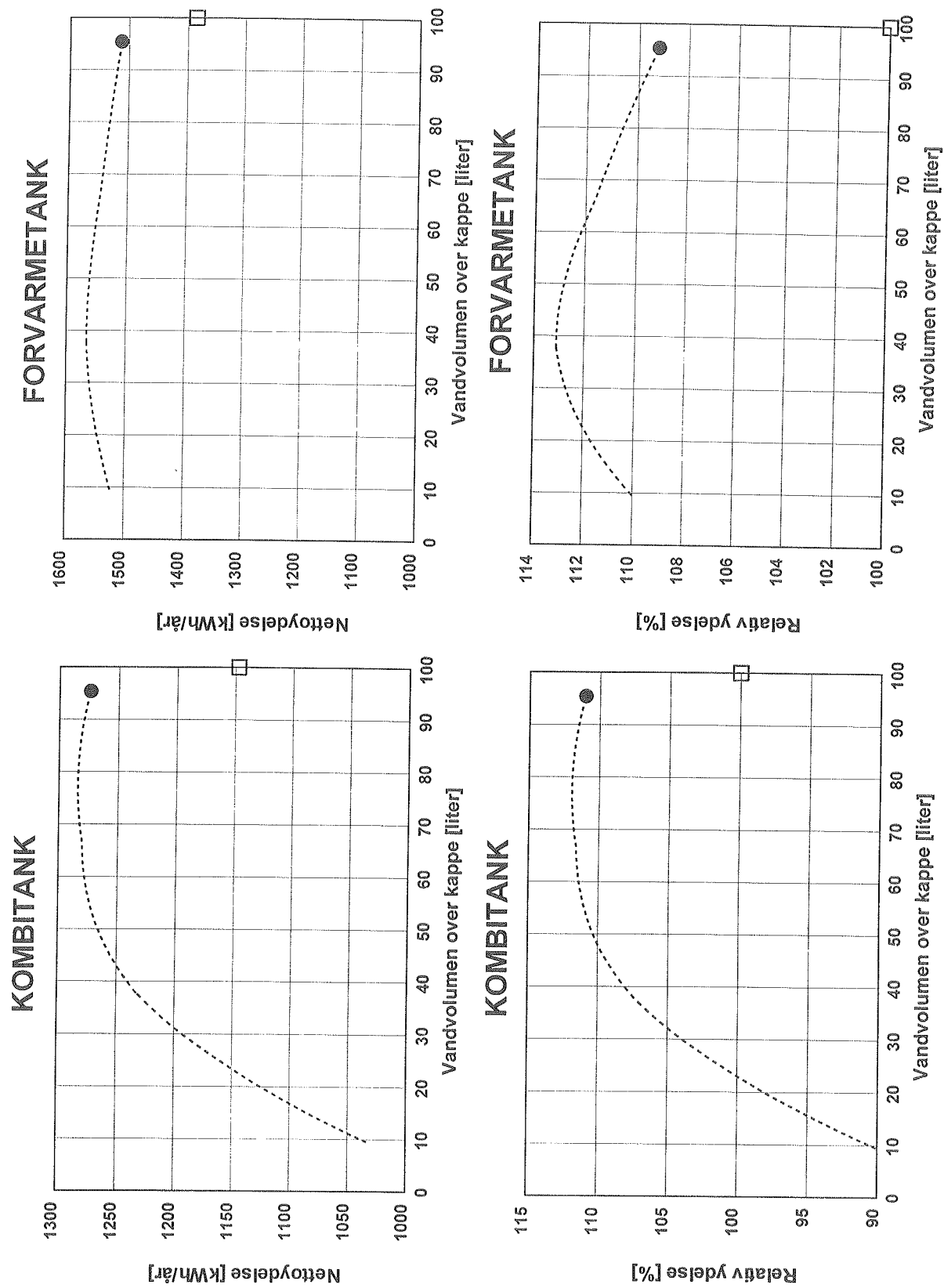
KOMBITANK



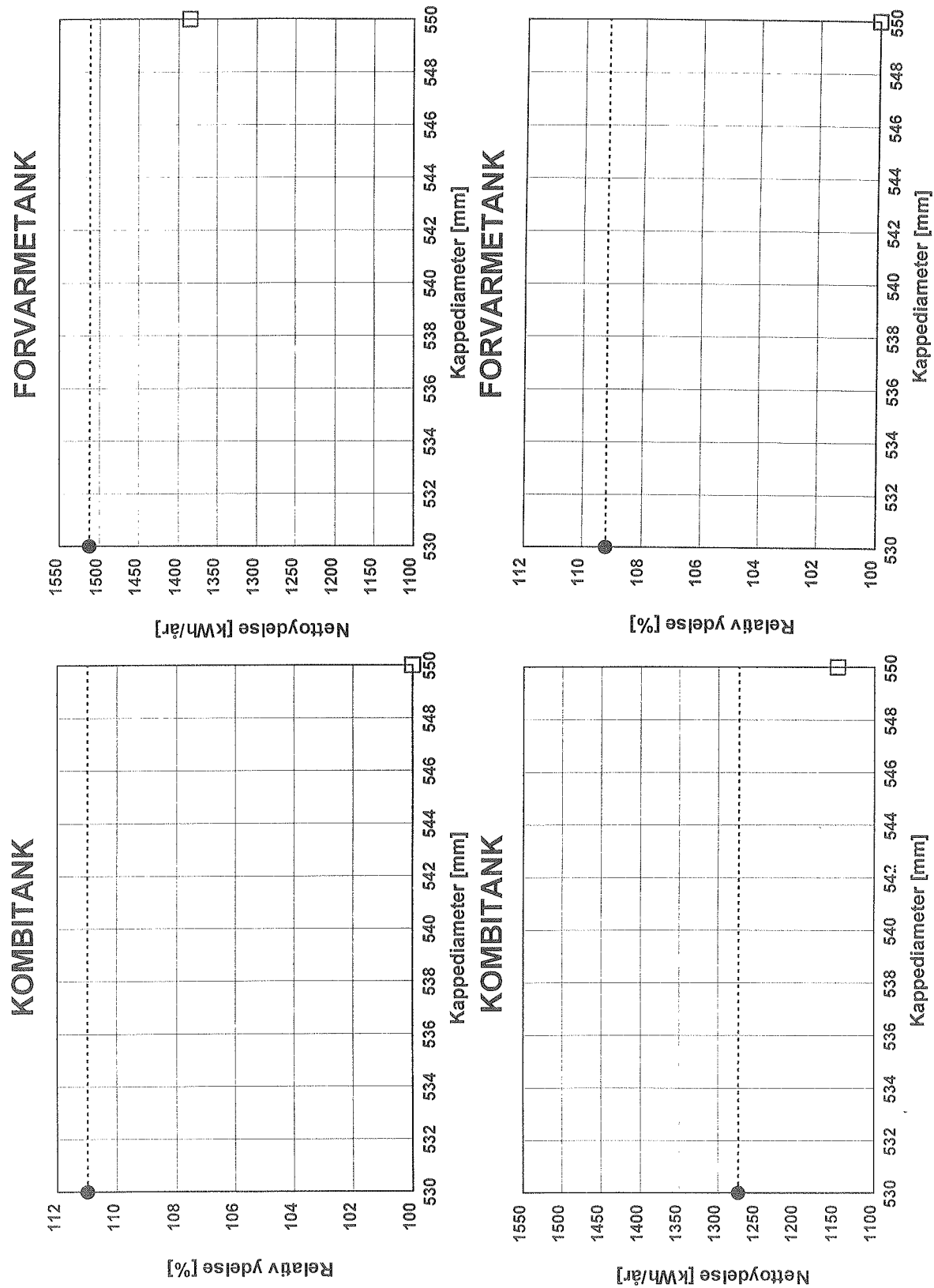
FORVARMETANK



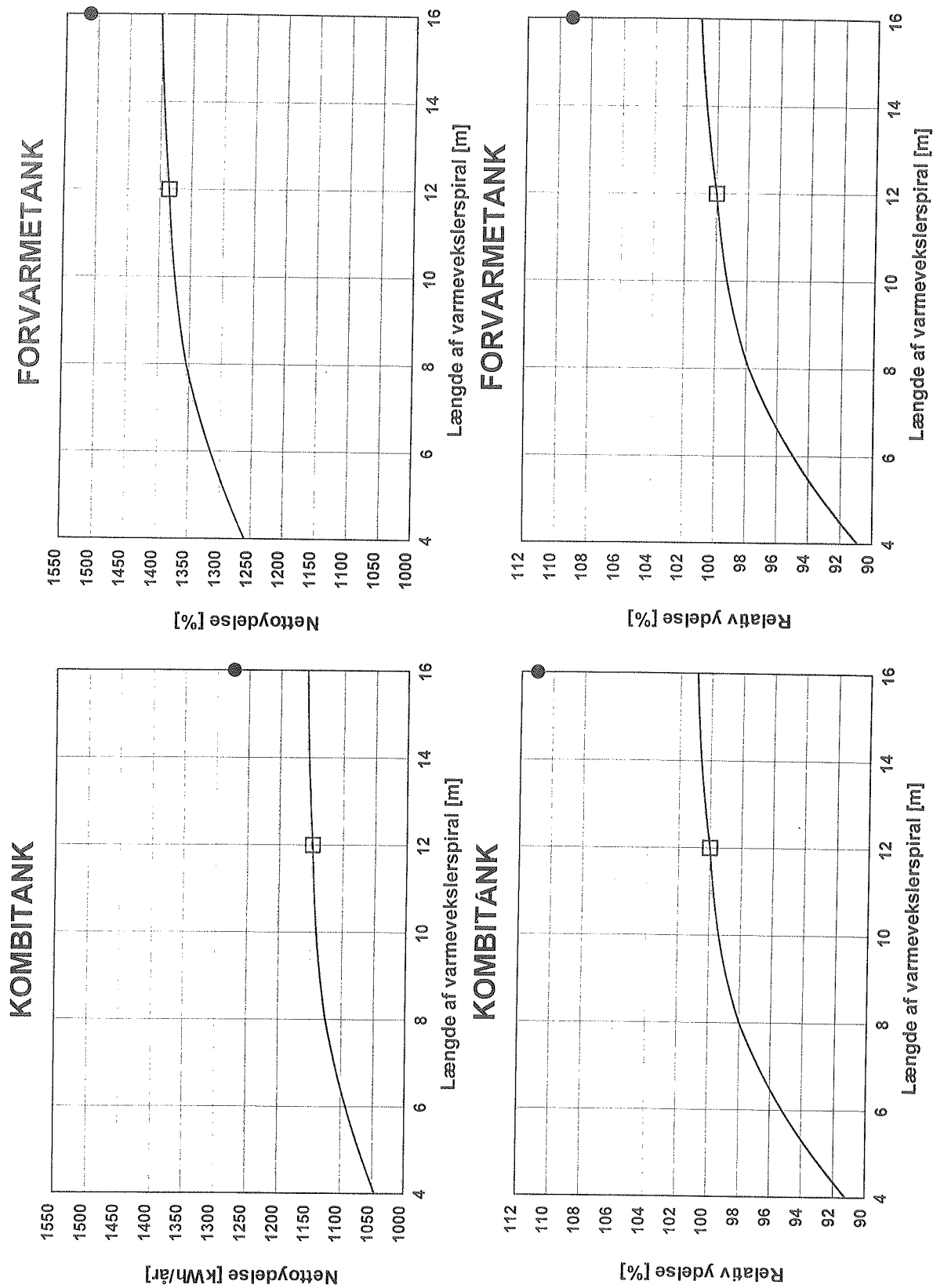
Figur 26. Anlægsydelser som funktion af godstykkelser af beholderen, som er af rustfrit stål.



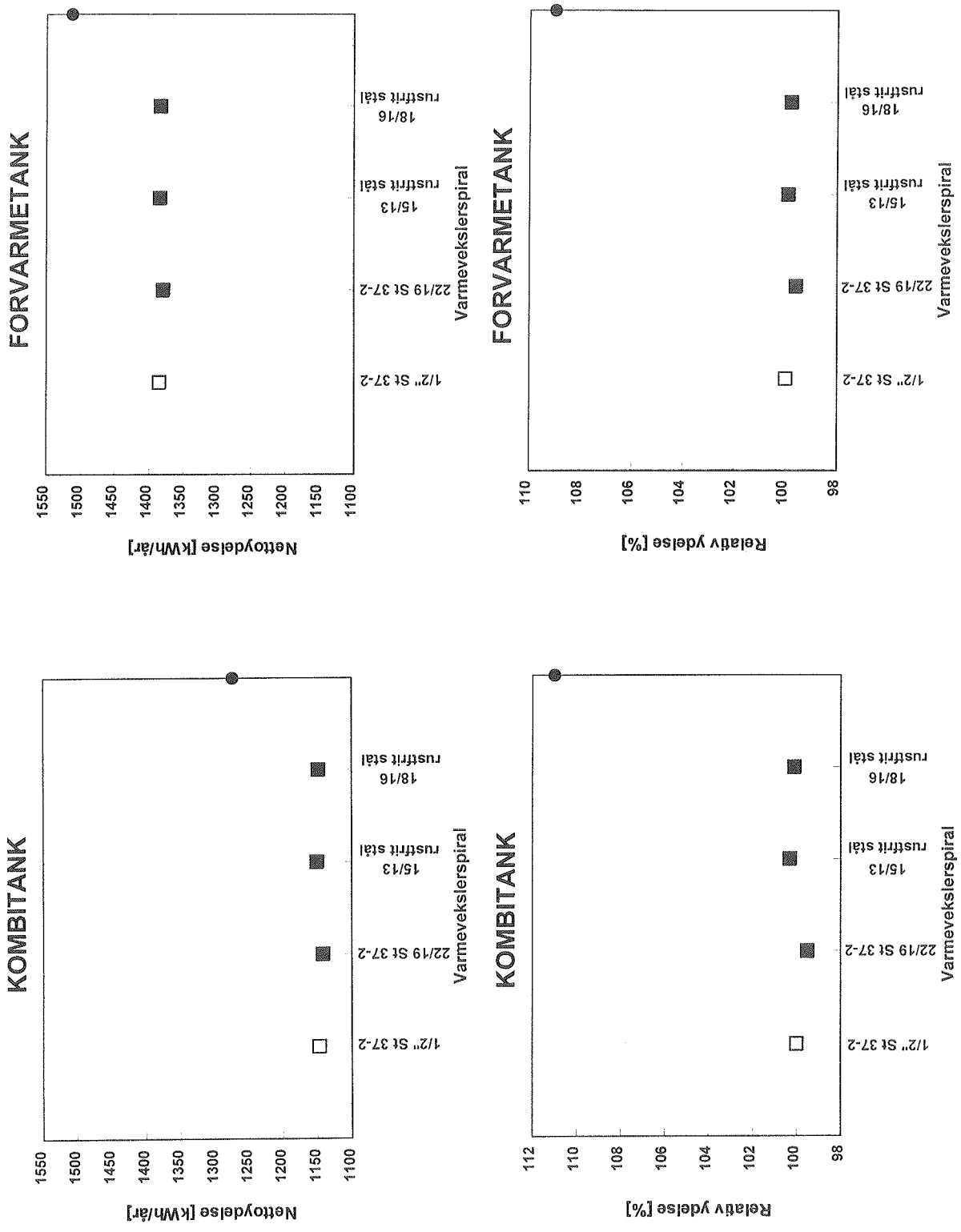
Figur 27. Anlægsydelser som funktion af vandvolumenet over kappen.



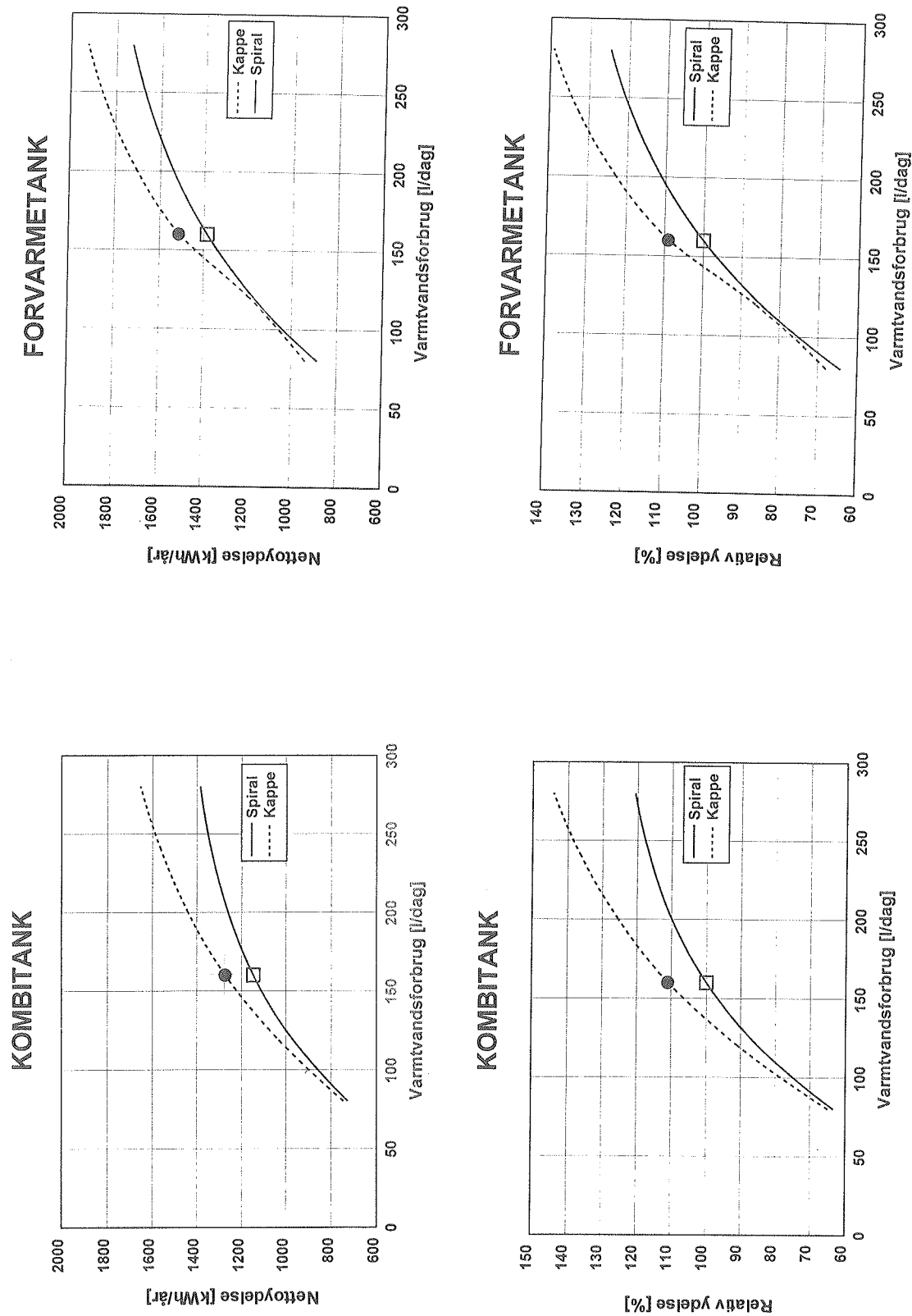
Figur 28. Anlægsydelser som funktion af kappediameteren.



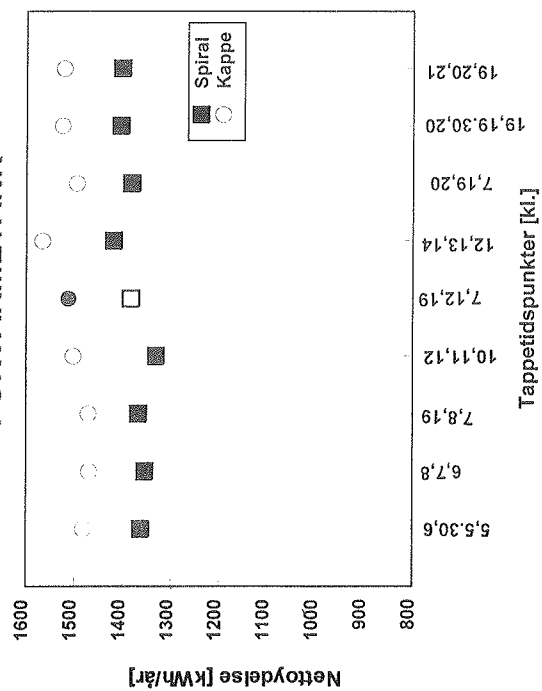
Figur 29. Anlægsydelser som funktion af længden af solvarmevekslerspiralen.



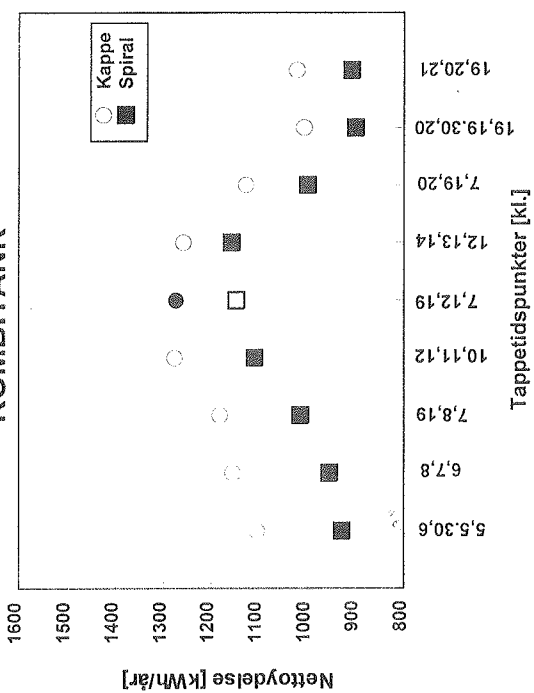
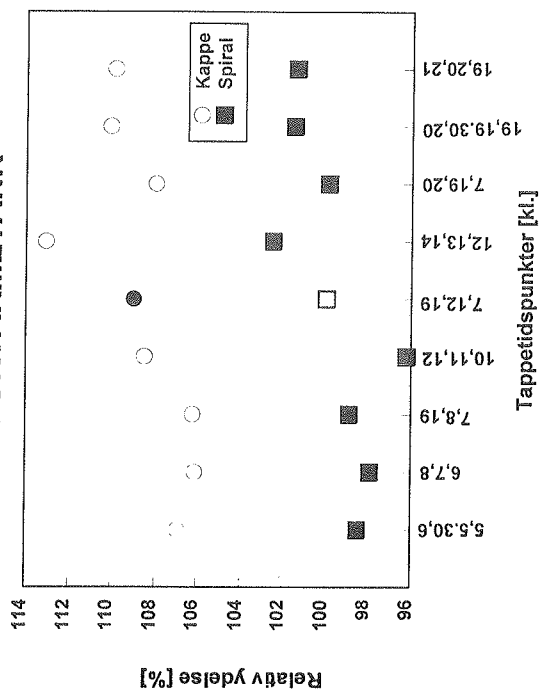
Figur 30. Anlægsydelser som funktion af solvarmervekslerspiralen.



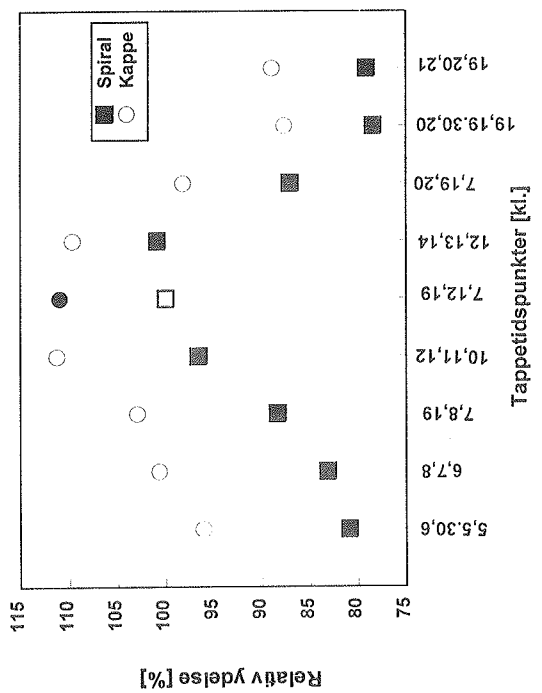
Figur 31. Anlægsydelser som funktion af varmtvandsforbruget.



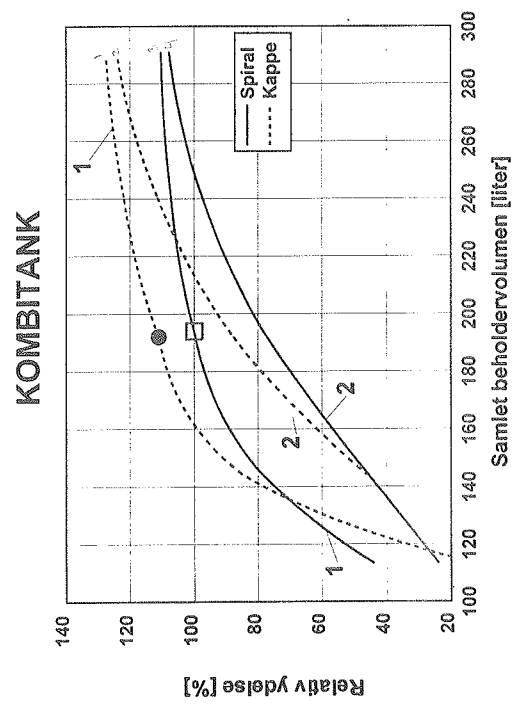
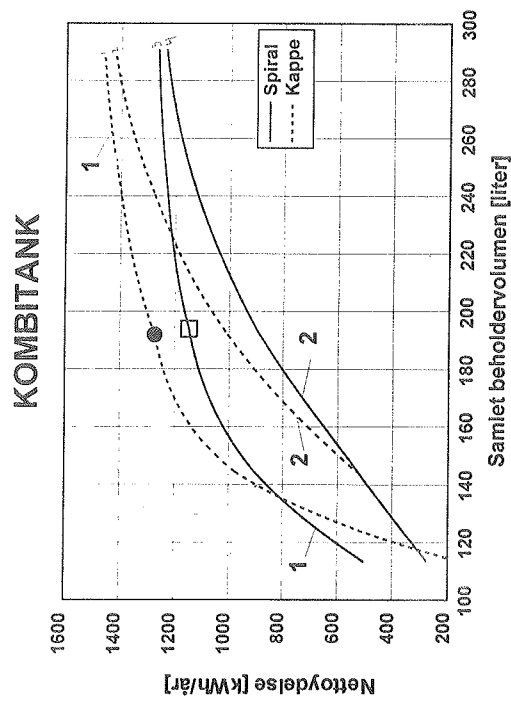
FORVARMETANK



KOMBITANK



Figur 32. Anlægsydelse som funktion af tappemønsteret.



Figur 33. Anlægsydelse som funktion af beholdervolumenet og tappemønsteret.

Figur 17 viser anlægsydelse som funktion af volumen af varmtvandsbeholdere. For forvarmeanlægget er ydelserne vist for to forskellige kappebeholdere: En kappebeholder, hvor de øverste 96 l af beholderen ikke er omgivet af kappen og en kappebeholder, hvor kappen strækker sig fra toppen til bunden af beholderen. Jo større beholdervolumenet er, des større er anlægsydelsen. For kombitankanlægget forøges ydelserne med ca. 10-15 %, hvis volumen forøges fra ca. 200 l til ca. 300 l, mens ydelserne reduceres med ca. 11 %, hvis volumen reduceres fra ca. 200 l til ca. 160 l. For forvarmeanlæg påvirkes ydelsen ikke nær så stærkt af beholderens volumen. Altså kan volumen af forvarmetanken gøres væsentligt mindre end volumen af kombitanken.

For kappebeholderanlæg reduceres ydelserne især kraftigt, når beholdervolumenet reduceres, hvis kappen ikke omgiver de øverste 96 l af beholderen. Årsagen hertil er først og fremmest, at kappens varmeoverførende areal og dermed varmeoverføringsevnen fra solfangervæskens til brugsvandet reduceres særdeles kraftigt, når beholdervolumenet reduceres.

Figur 18 viser anlægsydelse som funktion af størrelsen af en kuldebro placeret i toppen af beholderen. For kombitankanlæg reduceres ydelsen særdeles stærkt selv for forholdsvis små kuldebroer. For forvarmeanlæg er ydelsesreduktionen forårsaget af en sådan kuldebro også stor, men dog mindre markant. Figur 19 viser, at anlægsydelse ikke påvirkes afgørende af kuldebroer placeret i bunden af beholderen. Det må altså stærkt anbefales, at isoleringen af toppen af beholderen udføres helt uden kuldebroer. For eksempel bør der ikke føres rør gennem isolering til toppen af beholderen.

Figur 20 viser, at anlægsydelse forøges, når isoleringstykkelsen forøges. Også her er variationerne af anlægsydelse langt større for kombitankanlægget end for forvarmeanlægget. Altså har forvarmetanken ikke behov for samme isoleringstykkelser som kombitanken.

Figur 21, 22 og 23 viser udelukkende forholdene for den supplerende energikilde for kombitankanlæg. Anlægsydelse reduceres stærkt, hvis temperaturen, hvortil den supplerende energikilde opvarmer toppen af beholderen, forøges. Anlægsydelse forøges stærkt, hvis volumen, som opvarmes af den supplerende energikilde, reduceres. Endelig påvirkes anlægsydelse ikke væsentligt af placeringen af temperaturføleren, som styrer varmeafgivelsen fra den supplerende energikilde. I denne forbindelse skal det nævnes, at det i beregningerne forudsættes, at den supplerende energikilde opvarmer hele toppen af beholderen til samme temperaturniveau. Placeringen af temperaturføleren har betydning, hvis den supplerende varmekilde skaber temperaturlagdeling i toppen af beholderen, fx når suppleringsvarmeveksleren har en højdemæssig udstrækning. På basis af beregningerne kan det konkluderes, at det er særdeles vigtigt, at den supplerende energikilde kun opvarmer det vandvolumen, som er påkrævet af komfortmæssige forhold, og at vandet ikke opvarmes til et højere temperaturniveau end nødvendigt.

Figur 24 viser, at højde/diameter-forholdet for kappebeholdere bør være så stort som det praktisk er muligt, mens højde/diameter-forholdet for spiralbeholdere bør være ca. 2.

Figur 25 og 26 viser, at ydelserne forøges lidt, når beholdernes godstykkelse reduceres, og når der som beholdermateriale benyttes rustfrit stål i stedet for stål St 37-2.

Figur 27 viser, at for kombitanke bør kappen starte ud for den nederste del af det vandvolumen, som opvarmes af den supplerende energikilde. For forvarmetanke bør kappens udstrækning være større end for kombitanke.

Figur 28 viser, at kappens bredde ingen nævneværdig indflydelse har på anlægsydelsen. Det skal dog bemærkes, at beregningsmodellen forudsætter de samme varmeoverføringsmæssige forhold for kappen uanset størrelsen af kappens bredde. Disse resultater skal derfor tages med et vist forbehold.

Figur 29 viser, at jo længere solvarmevekslerspiralen er, des større er ydelserne af de traditionelle anlæg. Varmevekslerspiralens længde bør være ca. 2 m pr. m² solfanger.

Figur 30 viser, at valget af diameter og materiale for solvarmevekslerspiralen ikke har nogen nævneværdig indflydelse på ydelserne af de traditionelle anlæg.

Figur 31 viser, at jo større varmtvandsforbruget er, des større er ydelsen. Jo større varmtvandsforbruget er, des større er merydelsen for kappebeholderanlægget, og des mindre er dækningsgraden.

Figur 32 viser, hvorledes tappemønsteret påvirker anlægsydelsen. I disse beregninger er der tappet 53,33 l varmt vand fra beholderen tre gange dagligt. Ydelsen af kombitankanlægget påvirkes stærkt af tappemønsteret. Ydelsen er størst, hvis der udelukkende tappes varmt vand midt om dagen, mens ydelsen er mindst, hvis der udelukkende tappes varmt vand om aftenen. Eksempelvis er ydelsen reduceret med mere end 20%, hvis hele varmtvandsforbruget ligger om aftenen. Det ses, at merydelsen for kappebeholderanlæg er særlig stor, hvis alt det varme vand tappes om morgenen.

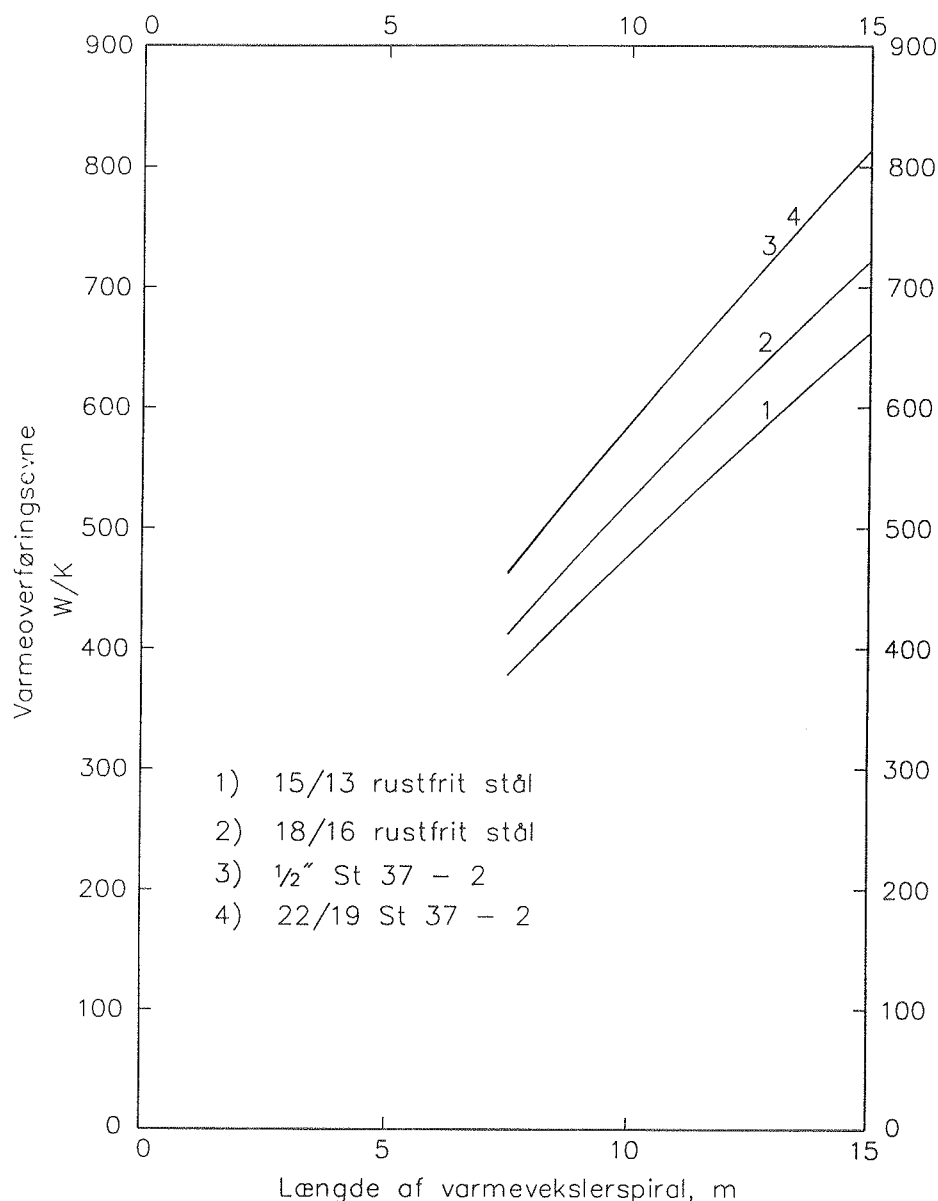
Ydelsen af forvarmeanlæg påvirkes også noget af tappemønsteret. For forvarmeanlæg er ydelsen størst, hvis hele varmtvandsforbruget ligger om eftermiddagen eller om aftenen.

Figur 33 viser for kombitankanlæg ydelsen som funktion af beholdervolumenet for to forskellige tappemønstre. Det ses, at hvis tappemønsteret er "skævt", altså hvis der fx udelukkende tappes varmt vand om aftenen, er der behov for et større beholdervolumen, end hvis tappemønsteret er "normalt".

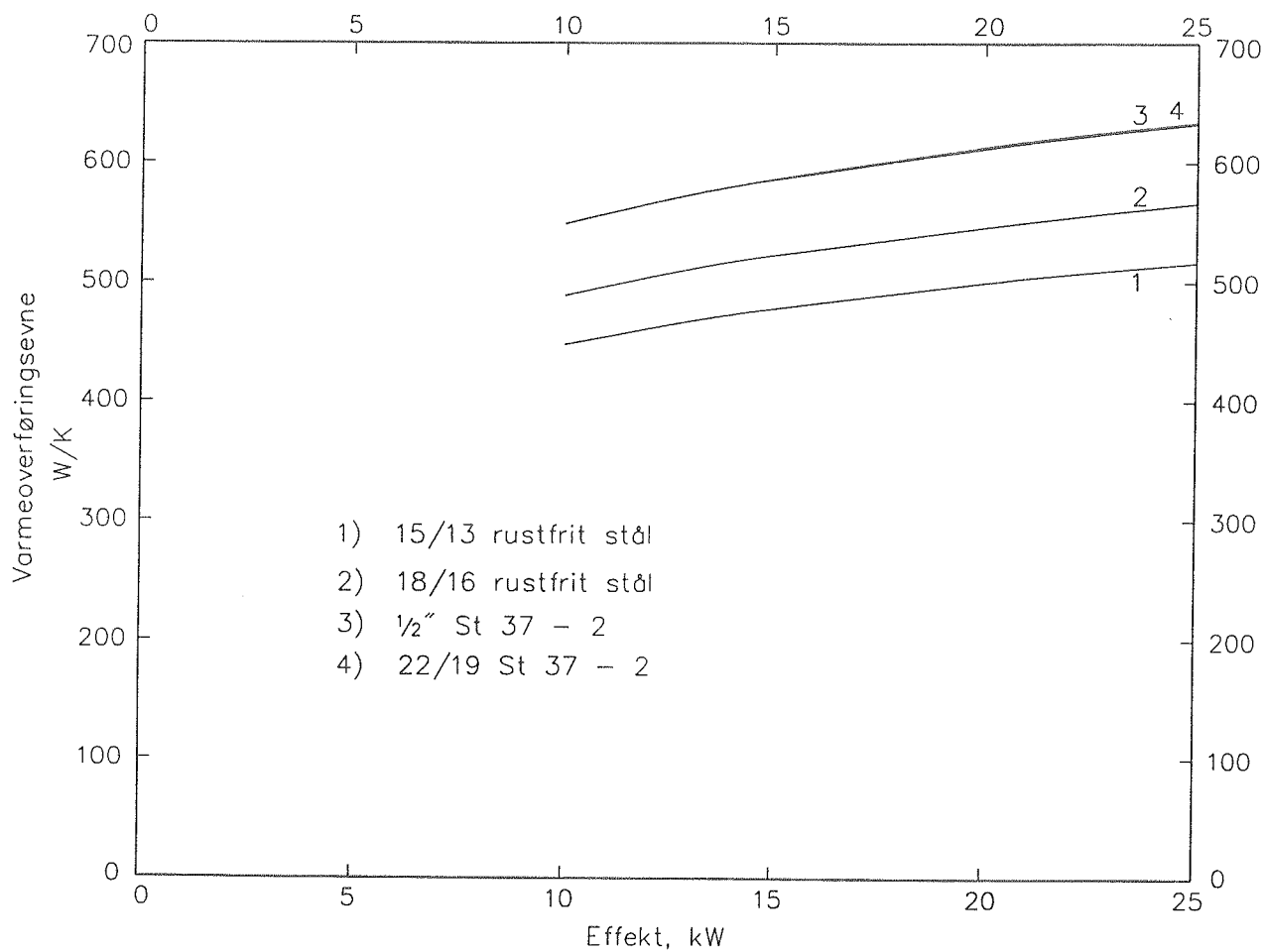
Betydningen af udformningen af varmeafgivelsessystemet for den supplerende energikilde er ikke belyst ved hjælp af ydelsesberegninger. I [13] er der opstillet tommelfingerregler for dimensionering af soltanks varmevekslerspiraler, som kobles til kedler. Det nævnes, at varmevekslerspiralen bør placeres øverst i beholderen, at volumenstrømmen gennem spiralen skal være stor, typisk ca. 10 l/min., og at varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen bør være større end kedeffecten/22.

Ved hjælp af den i [6] udviklede teori er varmeoverføringsevnen for fire varmevekslerspiraler beregnet for forskellige driftsbetingelser og spirallængder. Alle beregningerne er gennemført med en volumenstrøm gennem spiralen på 10 l/min. Figur 34 og 35 viser eksempler på beregnede varmeoverføringsevner ved en lagertemperatur på 45°C. Jo større spiralens rørdiameter er, og jo større effektilførslen er, des større er varmeoverføringsevnen.

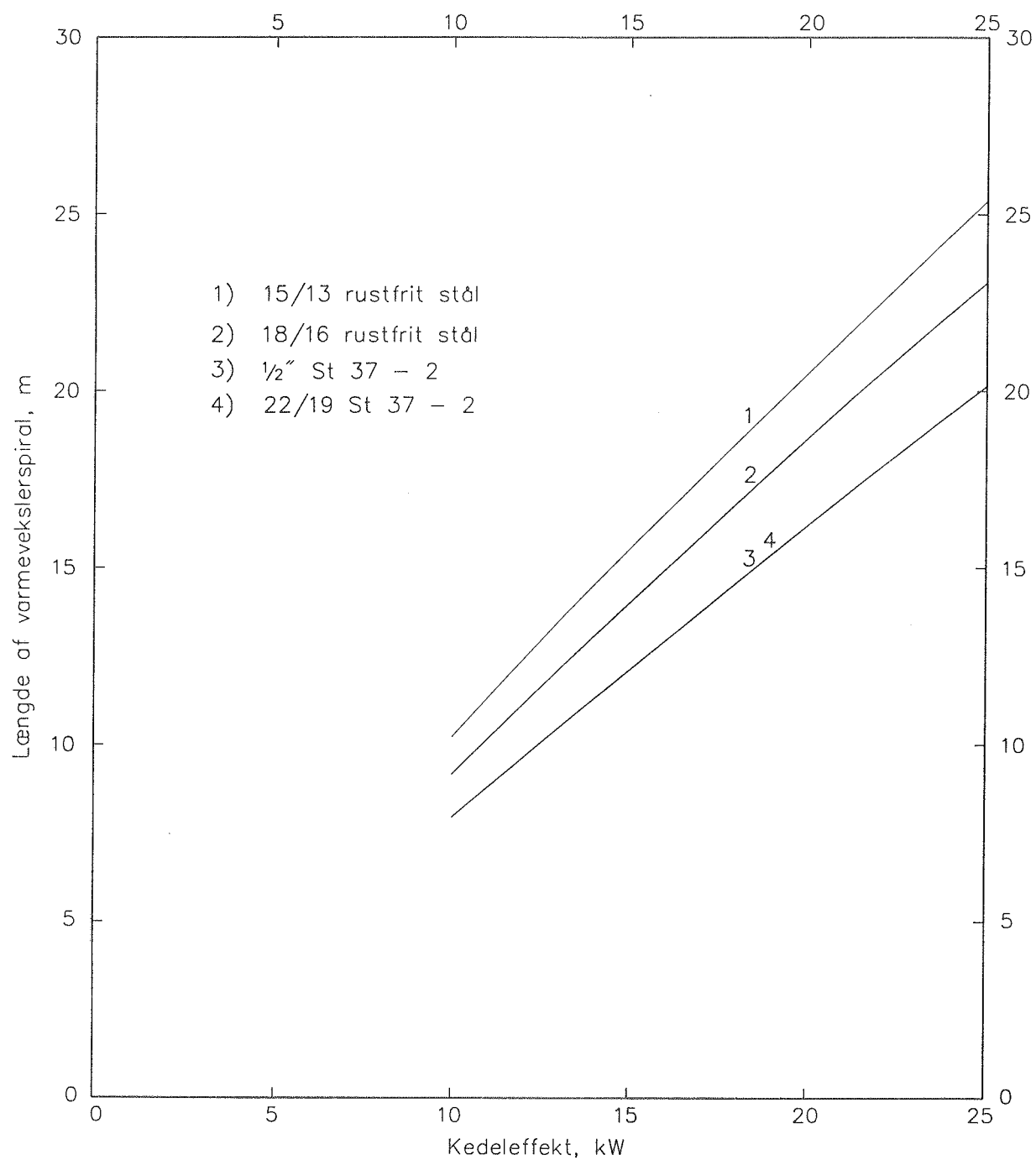
Disse beregningsresultater er ud fra ovennævnte tommelfingerregler benyttet til at bestemme den anbefalede længde af varmevekslerspiralen i toppen af en saltank. Figur 36 viser de anbefalede længder for varmevekslerspiraler i toppen af saltanken som funktion af kedeffecten. Jo større kedeffecten er, des længere er den anbefalede spiral. Jo mindre rørdiameteren er for spiralen, des længere er den anbefalede spiral.



Figur 34. Varmeroverføringssevne for forskellige varmevekslerspiraler som funktion af længden af varmevekslerspiralen ved en volumenstrøm gennem spiralen på 10 l/min., en lagertemperatur på 45°C og en effektilførsel på 15 kW.



Figur 35. Varmeoverføringsevne for forskellige 10 m lange varmevekslerspiraler som funktion af effektilførslen ved en volumenstrøm gennem spiralen på 10 l/min. og en lagertemperatur på 45°C.



Figur 36. Anbefalede længder for varmevekslerspiraler i toppen af beholderen som funktion af kedeeffekten.

4. RETNINGSLINIER FOR UDFORMNING AF SOLBEHOLDERE

Soltankene, som er taget i beregning i afsnit 3.2, er traditionelt udformede varmtvandsbeholdere. Disse beholdere er stort set udformet som de soltanke, der markedsføres i dag. Beholderne kan uden problemer produceres forholdsvis billigt i stort antal af beholderfabrikanterne.

Soltanke kan også udformes utraditionelt. Formålet vil da typisk være at billiggøre varmelageret. Der er gennemført en række indledende undersøgelser vedrørende billige solvarmelagre [14], [15], [16]. Disse solvarmelagre er baseret på en lille billig standard varmtvandsbeholder og en ekstern varmeveksler, som eventuelt er installeret i en billig trykløs beholder. Der er behov for udviklingsarbejde før sådanne varmelagre kan introduceres på markedet. Undersøgelser har desuden vist, at et varmelager bestående af en standard varmtvandsbeholder og en ekstern varmeveksler ydelsesmæssigt er et dårligere varmelager end en kappebeholder [17]. Det ligger uden for dette projekts rammer at vurdere sådanne utraditionelt udformede soltanke.

Beregningsresultaterne fra afsnit 3.2 og en række forhold, som ikke er taget i beregning, udgør grundlaget for, hvorledes traditionelle soltanke bør udformes. I afsnit 4.1 omtales en række vigtige forhold for soltanke, og afsnit 4.2 angiver retningslinier for udformningen af soltanke.

4.1 Design af soltanke - vigtige forhold

Beholdertype

Fra et ydelsesmæssigt synspunkt er den bedste soltank en opretstående cylinderformet beholder. Veldesignede low flow anlæg med kappebeholdere kan alt andet lige yde op til 20% mere end traditionelle spiralbeholderanlæg med høje volumenstrømme i solfangerkredsene. For anlæg med høje volumenstrømme i solfangerkredsene er ydelserne af kappebeholderanlæg og spiralbeholderanlæg næsten ens.

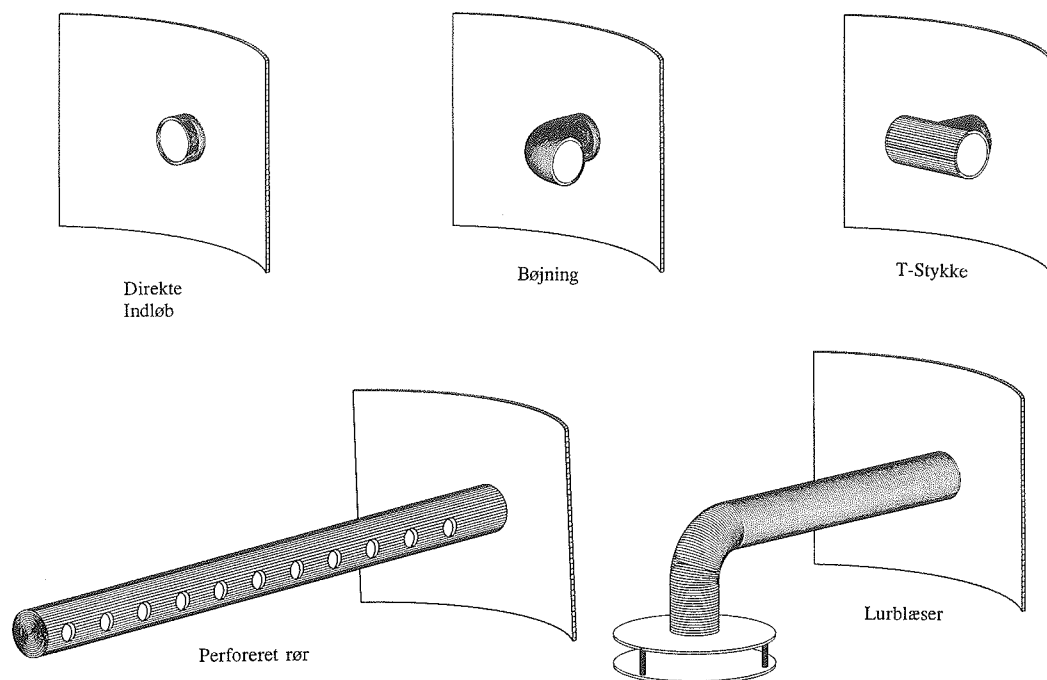
Indløb

Jo større temperaturlagdelingen er i en soltank under typisk drift, des større er solvarmeanlæggets ydelse.

Ydelsen af et solvarmeanlæg med en fuldt opblandet varmtvandsbeholder kan være ca. 2-3 gange mindre end ydelsen af et solvarmeanlæg med en varmtvandsbeholder med størst mulig temperaturlagdeling. Det er altså meget vigtigt, at temperaturlagdelingen i soltanke opbygges i størst muligt omfang under solfangerdrift og under varmetapning, og at temperaturlagdelingen bevares i størst muligt omfang i perioder uden solfangerdrift og varmetapning.

Undersøgelser har vist, at vand, som tilføres varmtvandsbeholdere, kan skabe en omrøring, som ødelægger temperaturlagdelingen i beholderne. Det er derfor af afgørende betydning, at alle indløb til beholdere udformes, så denne omrøring bliver mindst mulig. Det skal tilstræbes, at vandet føres vandret ind i beholderen med så lille en hastighed som muligt. For små beholdere skal man være opmærksom på dette forhold, hvis anlægget er forsynet med en cirkulationsledning. Det er vigtigt, at returvandet fra en cirkulationsledning ikke skaber omrøring i beholderen.

I [18] er det undersøgt, hvorledes omrøringen påvirkes af forskellige indløbsudformninger og volumenstrømme. Undersøgelserne omfattede fem forskellige indløbsudformninger, se figur 37. Alle indløbene var placeret i beholderens lodrette svøb.



Figur 37 De undersøgte indløbsudformninger.

Undersøgelserne viste, at lurblæseren forårsager mindst omrøring, T-stykket er den næstbedste indløbsudformning efterfulgt af det perforerede rør og det direkte indløb. Bøjningen er den dårligste indløbsudformning. Selv ved små volumenstrømme for vandet, der tilføres beholderen, skabes der omrøring, når dette indløb benyttes.

Det kolde vand tilføres ofte beholderen gennem endebunden. For eksempel gennem huller på siderne af et lille lodret plastrør, som er lukket i toppen. En anden indløbsudformning for det kolde vand består af et lodret direkte indløb kombineret med en prelplade. Begge disse indløbsudformninger kan fungere fint, uden at der skabes omrøring af betydning.

Kuldebroer og rørgennemføringer

Erfaringer har vist, at varmetabet for soltanke påvirkes stærkt af placeringen af kuldebroer og hjælpeudstyret for solvarmeanlægget [5]. Placeres en kuldebro i beholderens bund, afkøles vandet ved kuldebroen forholdsvis hurtigt og danner, hvis solfangeren ikke er i drift, et koldt stillestående, isolerende lag oven over kuldebroen, således at varmetabet fra kuldebroen bliver forholdsvis lille. Placeres en kuldebro i toppen af beholderen, vil kuldebroen forblive varm, idet det af kuldebroen afkølede vand erstattes af varmere vand fra lageret på grund af massefyldeforskelle. Naturlig konvektion i lageret holder altså kuldebroens temperatur høj, og varmetabet fra kuldebroen bliver derfor stort. Tilsvarende betragtninger kan gøres vedrørende varmetabet fra hjælpeudstyret. Hjælpeudstyret placeres mest hensigtsmæssigt under beholderen i et isoleret instrumentrum. En sådan placering begrænser udstyrets og lagerets varmetab mest muligt.

Rørføringen har også betydning for varmetabet fra varmelageret. En rørgennemføring gennem isoleringen er den type kuldebro, som kan forårsage størst varmetab, idet der kan optræde intern væskecirkulation i røret, da væskens massefylde er temperaturafhængig. Denne interne væskecirkulation vil opvarme større eller mindre dele af rørsystemet med større eller mindre lagervarmetab til følge. Det er derfor vigtigt, at rørgennemføringen **aldrig** placeres i toppen af lageret, at rørene er velisolerede, og at rørene føres nedad fra beholderen, så intern cirkulation i rørsystemet forhindres.

Under drift optræder der desuden ofte store temperaturforskelle mellem beholdertoppens varme vand og beholderbundens kolde vand. Sammenholdes dette med de ovenfor nævnte forhold, taler alle varmetabsmæssige forhold for, at 1) toppen af lageret skal være velisoleret uden nogen form for kuldebroer, 2) alle kuldebroer, fx rørgennemføringer, tankfastgørelser, o.l., skal placeres i bunden af lageret, og 3) alt hjælpeudstyr skal placeres i et isoleret instrumentrum under lagertanken.

Eksempelvis må det altså anbefales, at det varme brugsvand tappes fra toppen af soltanken gennem et plastrør, som strækker sig gennem beholderen fra top til bund. Eventuelt kan det varme vand fra toppen af beholderen føres ud gennem den øverste del af svøbet og herfra videre nedad i et rør beliggende i beholderisoleringen.

Anlæg med cirkulationsledning

For anlæg, som er forsynet med en cirkulationsledning, bør det varme vand imidlertid ikke tappes gennem et tapperør men fremføres **direkte** til cirkulationsledningen fra toppen af beholderen.

Undersøgelser har nemlig vist, at hvis solvarmeanlæg er forsynet med en cirkulationsledning yder anlæg, hvor det varme vand fremføres **direkte** til cirkulationsledningen fra toppen af beholderen ca. 15-20% mere end anlæg, hvor det varme vand fremføres til cirkulationsledningen gennem et plasttapperør, [19], [20], [21].

Årsagen til de små anlægsydelser for solvarmeanlæg som benytter tapperøret er, at beholderens fordelagtige temperaturlagdeling nedbrydes, idet der med det cirkulerende vand transporteres varme nedad i beholderen. Undersøgelserne resulterede i, at det for soltanke, som er forsynet med en cirkulationsledning, anbefales:

- at tappe det varme vand **direkte** fra toppen af beholderen.
- at udføre et omhyggeligt isoleringsarbejde for at reducere varmetabet forårsaget af rørgennemføringen i toppen af beholderen mest muligt. En god løsning er at føre røret ned langs beholderens side inde i beholderisoleringen.
- at forsyne varmelagerets returrør fra cirkulationsledningen med en automatisk reguleringsventil, som regulerer volumenstrømmen i cirkulationsledningen, således at returtemperaturen fra cirkulationsledningen holdes på en på forhånd indstillet temperatur. Herved bliver volumenstrømmen i cirkulationsledningen ikke unødvendig høj, hvorved omrøringen i beholderen reduceres mest muligt.
- at føre vandet fra cirkulationsledningen tilbage til toppen af beholderen gennem svøbet.
- at styre cirkulationsledningens pumpe så der kun er flow i ledningen på tidspunkter, hvor det er nødvendigt.

Varmevekslerspiral for den supplerende energikilde

I toppen af soltanke installeres normalt en varmevekslerspiral, som kobles til den supplerende energikilde. For at forhindre, at temperaturlagdelingen i soltankene nedbrydes på grund af rørene til og fra varmevekslerspiralen, bør disse føres ind gennem beholdernes svøb i det niveau, hvor varmevekslerspiralen er placeret. Rørene, som skal være velisolerede, skal føres nedad fra beholderen, så risikoen for intern cirkulation i rørsystemet reduceres mest muligt.

Kalkudfældning

Undersøgelser har vist, at der udfældes ca. 2,5 gange så meget kalk i spiralbeholdere for traditionelle solvarmeanlæg som i kappebeholdere for low flow anlæg, [11].

Årsagen til, at der udfældes mindst kalk i kappebeholdere er dels, at varmevekslerspiraler som varmevekslere er mere kompakte end kapper, dels de høje temperaturer, som etableres i toppen af kappebeholdere. Jo højere temperaturen af det aftappede vand er, des mindre vandmængder tappes nemlig fra beholderen. Altså strømmer der mere vand igennem et traditionelt solvarmeanlægs spiralbeholder, end der strømmer igennem et low flow anlægs kappebeholder. Den større vandmængde resulterer i en større kalkudfældning.

Størstedelen af kalken bundfældes i beholderne. I kappebeholdere får kalken derfor ingen indflydelse på varmeoverføringsevnen. Varmevekslerspiralen i en spiralbeholder er normalt placeret i den nederste del af tanken. Efter en årrække vil kalk derfor dække en større eller mindre del af varmeveksleren. Varmeoverføringsevnen og anlægsydelsen vil derfor på et tidspunkt reduceres mærkbart.

4.2 Designregler

I det følgende opstilles designregler for soltanke, både for kombibeholdere og for forvarmebeholdere. Solvarmeforberedte varmtvandsbeholdere bør principielt udformes efter samme retningslinier som kombibeholdere udformes efter.

De nedenfor nævnte designregler er ikke tilstrækkelige til at bestemme udformningen af soltanke. De installations- og korrosionsmæssige forhold for beholderne er også vigtige. For eksempel kan en besparelse i produktionen af en soltank tabes som følge af en vanskeligere installation, eller ved at der sker korrosion i beholderen med efterfølgende udskiftning/-reparation. Som nævnt beskrives i [3] de installations- og korrosionsmæssige forhold for soltanke, herunder hvorledes hjælpeudstyret til solvarmeanlæg bedst udformes og installeres. Derfor opstilles her udelukkende regler for beholdernes udformning.

Generelt

Der må ikke være nogen kuldebroer i toppen af beholderen, fx. skal rørgennemføringer igennem den øverste del af isoleringen undgås.

Koldt brugsvand skal tilføres bunden af beholderen, så der ikke skabes omrøring.

Det varme brugsvand bør tappes fra toppen af tanken gennem et plastrør, som strækker sig gennem beholderen fra top til bund. Eventuelt kan det varme vand fra toppen af beholderen føres ud gennem den øverste del af svøbet og herfra videre nedad i et rør beliggende i beholderisoleringen.

For soltanke til anlæg med en cirkulationsledning bør det varme vand tappes direkte fra toppen af beholderen. Vandet føres ned langs beholderens side i et rør inde i beholderisoleringen. Cirkulationsledningens returrør bør forsynes med en automatisk reguleringsventil, som sørger for, at returtemperaturen holdes på en på forhånd indstillet temperatur. Vandet fra cirkulationsledningen bør føres tilbage til toppen af beholderen gennem svøbet. Beholdere til anlæg med og uden cirkulationsledning kan eventuelt være identiske bortset fra den nævnte reguleringsventil. Det bør i så fald være let at blokere det tapperør, som ikke benyttes.

Kombibeholder

Beholdervolumenet bør være ca. 0,6-0,9 gange det daglige varmtvandsforbrug plus det volumen, den supplerende energikilde opvarmer. Jo "skævere" forbrugsmønsteret er, des større bør volumenet være. Hvis alt det varme vand fx. tappes om aftenen, bør volumenet være ca. 0,9 gange det daglige forbrug plus det volumen, som opvarmes af den supplerende energikilde. Beholderne har typisk et volumen mellem 150 l og 300 l.

Isoleringstykkelsen bør være ca. 3-4 cm, hvis PUR-skum benyttes. Ekstra isolering har størst effekt omkring den øverste del af beholderen.

Varmevekslerspiralen for den supplerende energikilde placeres øverst i beholderen. Varmevekslerspiralens længde, som bør afhænge af kedelens størrelse og den valgte rørdiameter, bestemmes ved hjælp af figur 36.

Den supplerende energikilde skal kun opvarme det vandvolumen, som er påkrævet af komfortmæssige forhold, og ikke til en højere temperatur end nødvendigt. Normalt vælges et volumen på max. 100 l opvarmet til ca. 50 °C.

Beholderen bør forsynes med en termostat, som kan afbryde flowet gennem varmeveksleren, når temperaturen er tilstrækkelig høj.

Rørene til og fra varmevekslerspiralen for den supplerende energikilde bør føres ind gennem beholderens svøb i det niveau, hvor varmevekslerspiralen er placeret. Rørene bør føres ned langs beholdersiden inde i beholderisoleringen.

Kappebeholder

Kappen bør starte ud for den nederste del af det vandvolumen, som opvarmes af de(n) supplerende energikilde(r). Kappen bør afsluttes ud for bunden af beholderen.

Beholderens højde/diameter-forhold bør være så stort som praktisk muligt.

Solvarmeanlæggets styresystems temperaturføler bør placeres nederst i kappen.

Spiralbeholder

Beholderens højde/diameter-forhold bør være ca. 2.

Solvarmevekslerspiralens længde bør være ca. 2 m pr. m² solfanger.

Solvarmeanlæggets styresystems temperaturføler bør placeres i beholderen ud for den nederste del af solvarmevekslerspiralen.

Solfangervæsken bør strømme fra toppen til bunden af solvarmevekslerspiralen.

Det er vanskeligt at bestemme den optimale vertikale udstrækning af solvarmevekslerspiralen, idet der ikke eksisterer et valideret detaljeret simuleringsprogram, som kan tage solvarmeanlæg med varmtvandsbeholdere med høje varmevekslerspiraler i beregning. Et sådant program skal kunne tage de komplicerede varmeoverføringsmæssige forhold for høje varmevekslerspiraler detaljeret i beregning. Desuden skal den i [12] beskrevne omrøring mellem solopvarmet vand og det ovenfor beliggende vand opvarmet af den supplerende energikilde kunne beregnes. Endvidere skal den nedadrettede varmetransport forårsaget af varmeledning gennem varmevekslerspiralen kunne tages i beregning. I [4] er der gennemført foreløbige undersøgelser, som tyder på, at solveksleren ikke bør være højere end 2/3 af højden af solvolumenet (beholdervolumenet minus suppleringsvolumenet), når der benyttes høje volumenstrømme i solfangerkredsen. Undersøgelser i [22] og [23] tyder på, at spiralhøjden skal være større, når der benyttes små volumenstrømme i solfangerkredsen.

Endelig skal det nævnes, at der skal være mulighed for at foretage udslamning af beholderen.

Forvarmebeholder

Beholdervolumenet bør være ca. 0,8 gange det daglige varmtvandsforbrug. Beholderne bør derfor have et volumen mellem 100 l og 200 l.

Isoleringstykkelsen bør være ca. 2-3 cm, hvis PUR-skum benyttes. Ekstra isolering har størst effekt omkring den øverste del af beholderen.

Kappebeholder

Kappen bør strække sig fra beholderens top til beholderens bund.

Beholderens højde/diameter-forhold bør være så stort som praktisk muligt.

Spiralbeholder

Solvarmevekslerspiralens længde bør være ca. 2 m pr. m² solfanger.

Som for kombibeholdere er det vanskeligt at bestemme den bedste spiralhøjde for forvarmebeholdere.

Solvarmeforberedt varmtvandsbeholder

Disse beholdere bør principielt udformes efter samme retningslinier som kombibeholdere udformes efter.

REFERENCER

- [1] "Undersøgelse af solvarmeanlægget Solkit fra Schweiz". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 278, juli 1995.
- [2] "Solvarmebeholdere. Beslutningsgrundlag for videreudvikling". Lise Boye-Hansen. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 94-21, juli 1994.
- [3] "Installations- og korrosionsmæssige forhold for mindre solvarmelagre". Søren Østergaard Jensen, Leon Buhl. Prøvestationen for Solenergi, DTI Energi. August 1995.
- [4] "Små solvarmeforberedte varmtvandsbeholdere - retningslinier for dimensionering". Søren Østergaard Jensen. Prøvestationen for Solenergi, DTI Energi. 1994.
- [5] "Varmelagring til solvarmeanlæg". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr.162, september 1984.
- [6] "Varmeovergang for varmevekslerspiraler neddykket i vand". Søren Østergaard Jensen. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 84-10, maj 1984.
- [7] "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Teoretiske undersøgelser". Peter Berg. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 209, marts 1990.
- [8] "Små low flow solvarmeanlægs ydelser". Simon Furbo & Peter Fagerlund Carlsson. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 221, august 1991.
- [9] "Vejrdata for VVS og energi. Dansk referenceår TRY". Bo Andersen, Stig Eidorff, Lars Hallgreen, Hans Lund, Erik Pedersen, Stig Rosenørn, Ole Valbjørn. Statens Byggeforskningsinstitut. SBI-rapport 135, 1982.
- [10] "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Eksperimentelle undersøgelser". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 205, marts 1989.
- [11] "Små low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - status". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 90-7, oktober 1990.
- [12] "Varmelager med omrøring. Prøvning og beregning af Batecs varmelager". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 90-04, februar 1994.
- [13] "Solvarmebeholdere med kedel-back-up - Dimensionering og driftsforhold". Ivan Katic og Otto Paulsen. Prøvestationen for Solenergi, august 1993.
- [14] "Undersøgelse af trykløs forvarmebeholder til solvarmeanlæg". Ivan Katic. Prøvestationen for Solenergi, oktober 1994.
- [15] "Billige solvarmeanlæg ved sammenkobling med eksisterende varmtvandsbeholdere". Peter Vejsig Pedersen. Cenergia Energy Consultants, november 1994.

- [16] "Solvarmeanlæg med standard varmtvandsbeholder som varmelager". Peter Fagerlund Carlsson. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 216, november 1990.
- [17] "Optimal udformning af low flow solvarmeanlæg". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 238, december 1992.
- [18] "Temperaturstratificering i varmelagre". Peter Fagerlund Carlsson. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 272, januar 1995.
- [19] "Varmelager med cirkulationsledning. Prøvning af Aidt Miljøs varmelager". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 93-2, januar 1993.
- [20] "Varmelager med cirkulationsledning. Prøvning af Djurs Solvarmes varmelager". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 93-10, marts 1993.
- [21] "Beregnete ydelser for solvarmeanlæg med cirkulationsledning". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 94-7, februar 1994.
- [22] "Canadian/Dutch/Danish cooperation on low flow solar heating systems". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport nr. 95-3, januar 1995.
- [23] "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg. Måling på 3 små brugs-vandsanlæg". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 188, december 1987.

