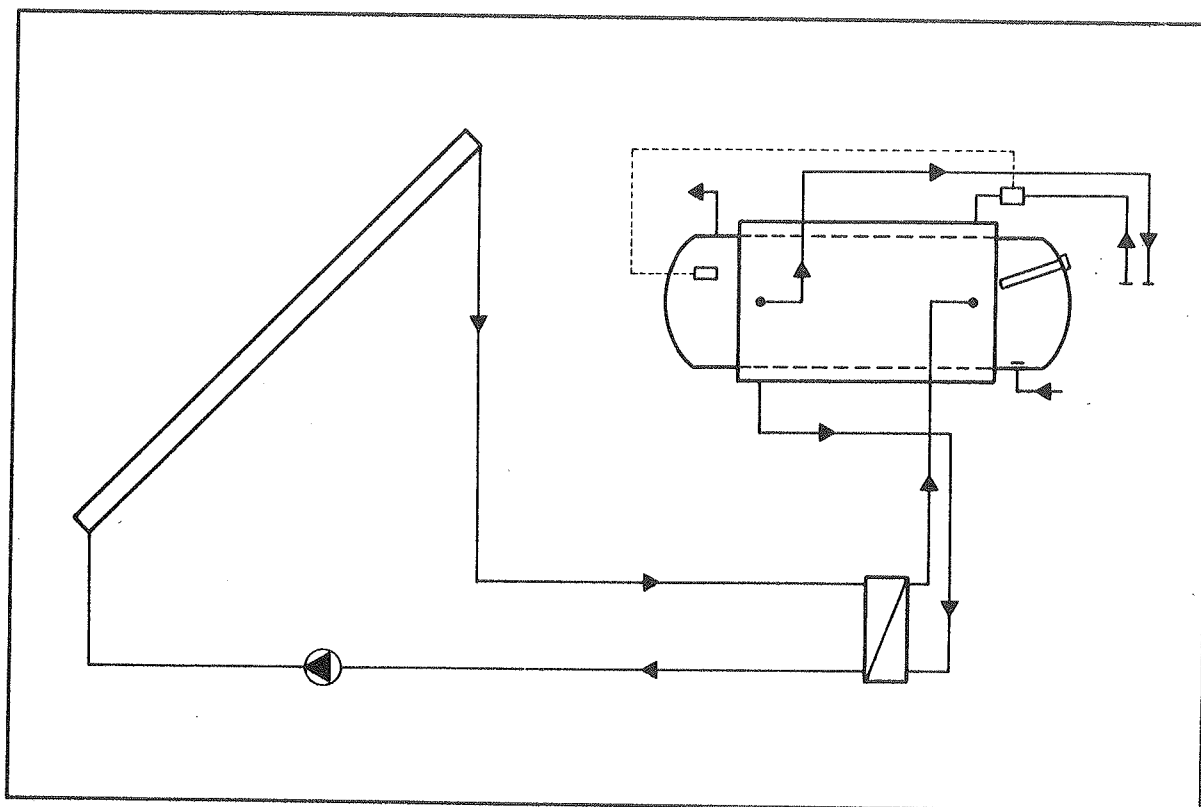


SOLVARMEANLÆG MED STANDARD VARMTVANDSBEHOLDER SOM VARMELAGER



PETER FAGERLUND CARLSSON

MEDDELELSE NR. 216 NOVEMBER 1990
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

SOLVARMEANLÆG MED STANDARD VARMTVANDSBEHOLDER SOM VARMELAGER

PETER FAGERLUND CARLSSON

MEDDELELSE NR. 216 NOVEMBER 1990
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

FORORD

Denne rapport beskriver arbejdet, som er gennemført under projektet : "Solvarmeanlæg med standard varmtvandsbeholder som varmelager, fase 1 og 2". Projektet, som er finansieret af Energiministeret, er en del af forskningsområde 10 : "Udredninger og dokumentation m.v." under Ministeriets Forskningsprogram EFP-89. Projektets journal-nr. er 151/89-34.

Projektet er gennemført på Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, med deltagelse af nedenstående medarbejdere :

Peter Fagerlund Carlsson, civilingeniør
Simon Furbo, civilingeniør, lich.techn.
Svend Svendsen, lektor, civilingeniør, lich.techn.
Finn Kristiansen, civilingeniør
Sally Lykke Høgsted, programmør
Bodil Fauerskov, assistent

RESUME

Det overordnede formål med dette projekt har været at undersøge egnetheden af solvarmeanlæg med en standard varmtvandsbeholder som varmelager. Dette solvarmeanlæg vil kunne udføres billigere end et traditionelt solvarmeanlæg med kombibeholder som varmelager. Desuden har en standardbeholder den fordel, at den kan opstilles uden leveringstid. Finansieringen af solvarmeanlægget og valg af fabrikat kan evt. udskydes til et senere tidspunkt.

Lagerdelen af et solvarmeanlæg, der anvender en ekstern varmeveksler mellem solfanger og varmelager, er installeret i en lagerprøvestand. Der er gennemført forsøg med opstillingen. Forsøgene viste, at varmeudvekslingen mellem solfangerkredsen og varmelageret kan ske gennem en ekstern varmeveksler. Specielt de små kompakte pladevarmevekslere har vist sig at være meget velegnede, fordi de både har en stor varmeoverføringsevne og et meget lille tryktab. Varmeveksleren placeres under varmtvandsbeholderen, således at det termiske drivtryk forårsager en naturlig cirkulation mellem varmeveksleren og varmtvandsbeholderen. Målinger under normale driftsbetingelser for et solvarmeanlæg viste, at den naturlige cirkulation gennem varmevekslerens sekundære side kan foregå med en tilfredsstillende høj volumenstrøm.

Et low flow solvarmeanlæg giver mulighed for stor afkøling gennem varmeveksleren. Den store afkøling er gunstig for den naturlige cirkulation i varmevekslingskredsen, og de høje fremløbstemperaturer til varmtvandsbeholderen giver størst mulig temperaturlagdeling i beholderen.

Beregningsprogrammet EMGP2 har vist sig, ved sammenligning med målinger, at simulere solvarmeanlæggets virkemåde på en tilfredsstillende måde. Dog havde EMGP2 vanskeligt ved at efterligne den store temperaturlagdeling i beholderen helt korrekt.

Ved udformning af et solvarmeanlæg med et solfangerareal på ca. 5 m^2 bør varmevekslerens varmeoverføringsevne være omkring 150 W/K . En pladevarmeveksler med en hedeflade på ca. $0,5 \text{ m}^2$ vil normalt kunne opfylde dette krav.

Beregning af anlæggenes årlige nettoydelse og anlægsprisen viste, at et solvarmeanlæg med en standard varmtvandsbeholder som varmelager og en ekstern varmeveksler vil give den samme gode driftsøkonomi som et traditionelt solvarmeanlæg med en kombibeholder som varmelager.

I projektet er der benyttet en vandretliggende kappebeholder som udgangspunkt for undersøgelserne af egnetheden af solvarmeanlæg med en standard varmtvandsbeholder og en ekstern varmeveksler. Denne beholder er valgt, idet det er en almindelig anvendt beholder-type i Danmark. Rentabiliteten af solvarmeanlæg med ekstern varmeveksler og en standard varmtvandsbeholder vil kunne forbedres, hvis der i stedet for en vandretliggende tank benyttes en lodretstående beholder. En forbedret styring af beholderopvarmningen fra kedel vil kunne forbedre rentabiliteten yderligere.

SUMMARY

Different designs of a solar heating system using a standard hot water tank as heat storage have been proposed. By means of water thermosyphoning in a loop between the tank and an external heat exchanger, heat is transferred from the solar collector loop to the tank.

Different heat storage / heat transfer unit prototypes consisting of a standard horizontally situated hot water mantle tank and an external heat exchanger were installed and tested in a test facility for heat storages at the Thermal Insulation Laboratory. The principle worked as planned.

A mathematical model, simulating the thermal performance of the prototype was validated by means of the tests.

The suitability of solar heating systems using a standard tank and an external heat exchanger was estimated based on calculations of the thermal performance of the systems and on cost estimates.

The investigations proved that the profitability of solar heating systems making use of a standard tank and an external heat exchanger is as good as the profitability of a normal solar heating system. Additionally, further improvements of the new systems are possible.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD

RESUME

SUMMARY

1	INDLEDNING	1
2	UNDERSØGTE PRINCIPPER	2
2.1	Opstilling 1	8
2.2	Opstilling 2	9
2.3	Opstilling 3	10
3	MÅLEOPSTILLINGER	12
3.1	Målingerne	12
3.2	Varmebalance for varmeveksler	12
3.3	Varmebalancen for varmtvandsbeholderen	14
3.4	Lagdeling i varmtvandsbeholder	14
3.5	Naturlig cirkulation	16
3.6	Måleudstyret	16
4	VARMEVEKSLER	17
4.1	Grundtyper	17
4.2	Pladevarmeveksler	17
4.3	Dobbeltstrørsvarmeveksler	18
4.4	Varmeoverføring	18
4.5	Afprøvede varmevekslere	19
4.6	Målte varmeoverføringsevner	22
4.7	Tryktab i varmevekslere	23
4.8	Varmetab	25
4.9	Kalk og korrosionsmæssige forhold	26
4.10	Markedsførte varmevekslere til solvarmeanlæg	26
5	MÅLERESULTATER	27
5.1	Måleserier	28
5.2	Måling 1	31
5.3	Måling 2	33
5.4	Måling 3	35
5.5	Måling 4	36
5.6	Måling 5	38
5.7	Måling 6	39
5.8	Måling 7	41
5.9	Måling 8	43
5.10	Måling 9	45
5.11	Måling 10	47
5.12	Sammenfatning af målinger	48

6 BEREGNINGSPROGRAMMET EMGP2	49
7 MÅLING OG EMGP2 BEREGNING	52
7.1 Sammenligning 1	54
7.2 Sammenligning 2	55
7.3 Sammenligning 3	56
7.4 Sammenligning 4	57
7.5 Sammenligning 5	59
7.6 Sammenfatning	60
8 BEREGNINGSRESULTATER FRA EMGP2	61
8.1 Sammenligning for fire anlægstyper	62
8.2 Sammenligning for forskellige varmevekslerstørrelser	66
8.3 Lodretstående beholder med ekstern varmeveksler	67
8.4 Afsluttende bemærkninger	68
9 ANLÆGSØKONOMI	69
9.1 Energibesparelse	69
9.2 Anlæggets pris	71
10 KONKLUSION	73
REFERENCER	74

1 INDLEDNING

I et normalt solvarmeanlæg anvendes en kombibeholder som muliggør, at brugsvandet både kan opvarmes af solvarmen og af det eksisterende energianlæg. Kombibeholderen har en kompliceret opbygning og er derfor dyr. Desuden er der ofte leveringstid på en kombibeholder, fordi den kun produceres i få eksemplarer. Disse forhold har gjort det vanskeligt at installere solvarme, når den eksisterende beholder skal udskiftes pga. en utæthed.

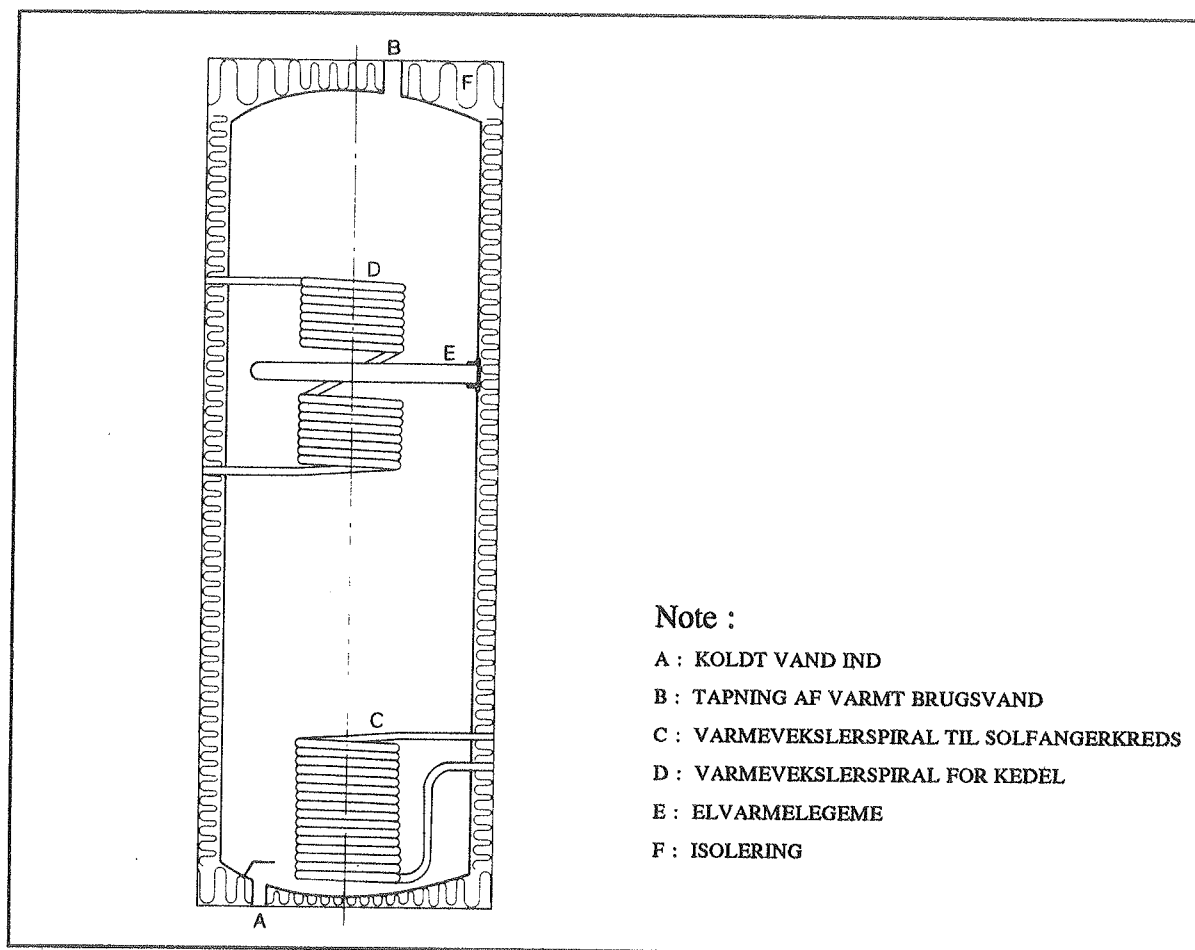
Formålet med projektet er at udvikle et solvarmeanlæg, der anvender en standard varmtvandsbeholder som varmelager. Fordelen ved dette anlæg vil være, at standardbeholderen kan opstilles uden leveringstid. Det resterende solvarmeanlæg kan evt. installeres på et senere tidspunkt. Varmeudvekslingen mellem solfangerkredsen og varmtvandsbeholderen kan ske gennem en ekstern varmeveksler.

For at undersøge mulighederne for en velegnet anlægsudformning er der installeret en vandretliggende kappebeholder i laboratoriets lagerprøvestand. Med denne kappebeholder som varmelager er der udført korttidsmålinger på tre forsøgsopstillinger. I samtlige målinger er den eksterne varmeveksler anbragt ca. 1,5 meter under varmtvandsbeholderen. Hermed kan der foregå en naturlig cirkulation mellem varmeveksleren og beholderen. Målingerne skal vise, om det er muligt at finde en velegnet varmeveksler, der både har en stor varmeoverføringsevne og meget lille tryktab, således at den cirkulerende væskemængden kan blive tilstrækkelig stor. Low flow i solfangerkredsen vil give størst muligt drivtryk til gavn for den naturlige cirkulation og en gunstig temperaturlagdeling i beholderen med størst mulig nettoydelse til følge, se [1] og [2].

Målingerne blev brugt til validering af en EDB-model i beregningsprogrammet EMGP2. EDB-programmet skal derefter udføre årsberegninger for anlæggenes ydelser. Desuden skal EDB-beregninger anvendes til at optimere varmevekslerens størrelse. Årsydelse for anlæg med en standard varmtvandsbeholder og en ekstern varmeveksler er sammenlignet med et traditionelt anlæg med kombibeholder som varmelager. Priserne for de forskellige anlæg beregnes og sammenlignes.

2 UNDERSØGTE PRINCIPPER

Solvarmeanlæggets varmtvandsbeholder har til formål at akkumulere solenergien, indtil der er behov for varmt brugsvand. På figur 2.1 ses en principskitse af en solvarmeforberedt varmtvandsbeholder, også kaldet en kombibeholder.

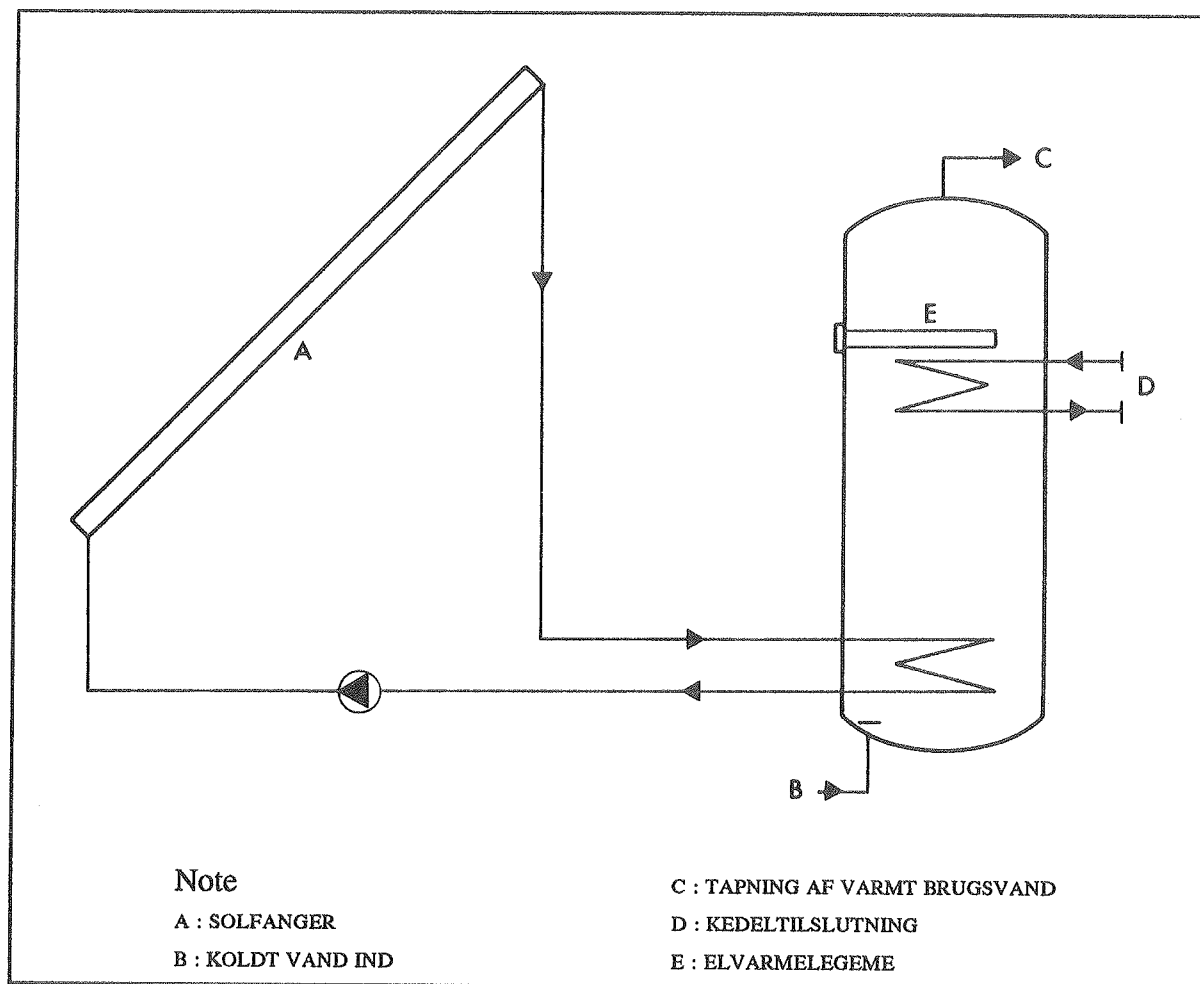


Figur 2.1 Principskitse af kombibeholder.

Den traditionelle kombibeholder er normalt lodretstående og har et volumen på mellem 200 og 300 l. Lagervolumenet skal afpasses efter det daglige varmtvandsforbrug og solfangerstørrelsen. Nederst i beholderen sidder varmevekslerspiralen, hvor solfangeren tilsluttes. Placeringen i bunden giver solfangeren mulighed for at varme på det koldeste vand i beholderen.

Kedlen tilsluttes 2/3 oppe i beholderen. Samme sted er elvarmelegemet normalt placeret. I fyringssæsonen opvarmer kedlen den øverste trediedel af beholderen. Uden for fyringssæsonen overtager elvarmelegemet opvarmningen. På denne måde kan kedlen sættes ud af drift uden for fyringssæsonen, hvorved der spares et tomgangstab fra denne.

Ved anvendelse af kombibeholderen kommer solvarmeanlægget til at se ud på følgende måde.

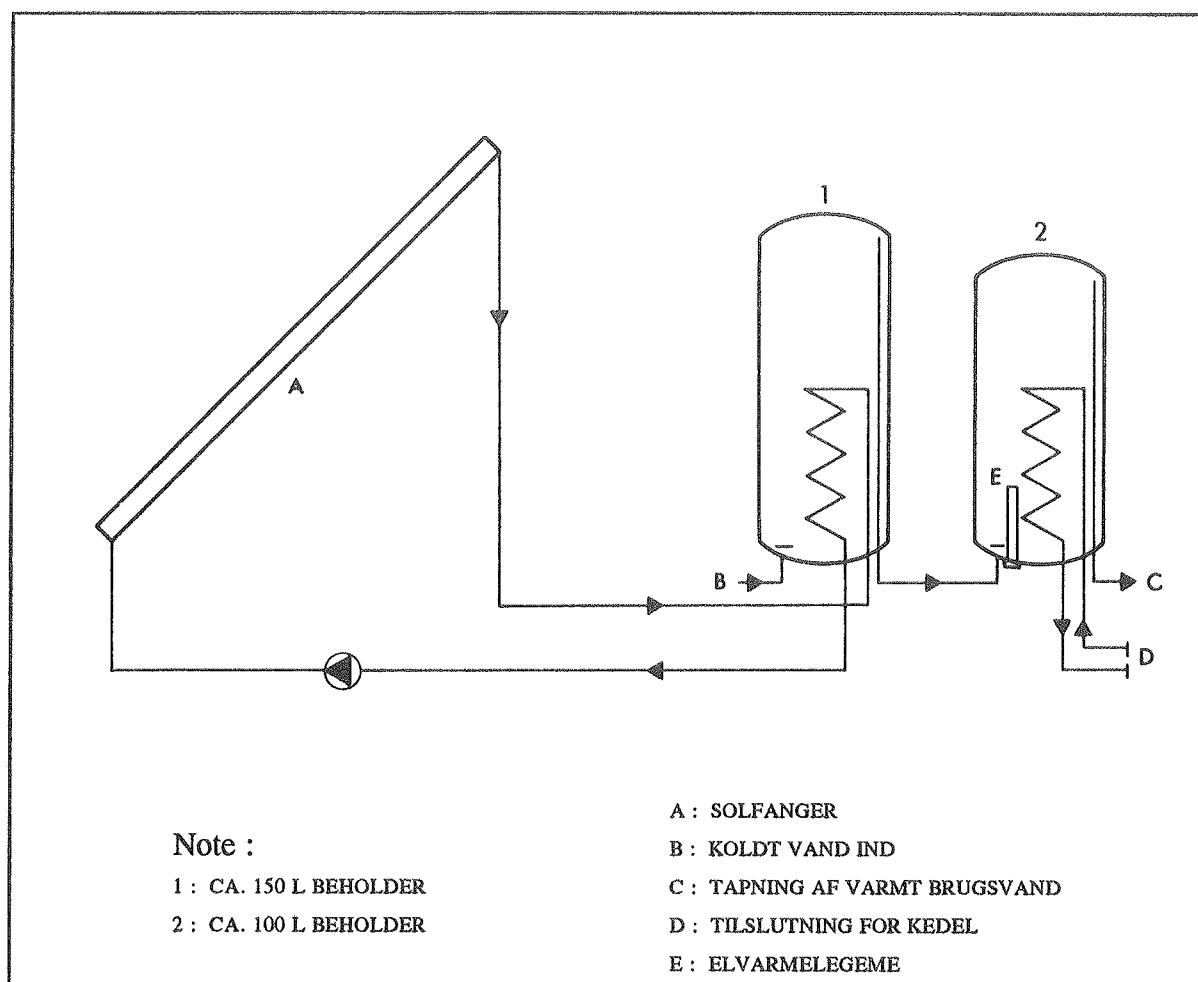


Figur 2.2 Principskitse af traditionelt solvarmeanlæg med kombibeholder.

Den solvarmeforberedte varmtvandsbeholder er forholdsmæssig dyr, fordi den har en kompliceret opbygning og kun produceres i få eksemplarer.

Det bedste tidspunkt for installation af solvarme er, når den eksisterende varmtvandsbeholder alligevel skal udskiftes f.eks. pga. en utæthed. Idet der normalt er leveringstid på en kombibeholder, er forbrugeren mange gange tvunget til at få installeret en standardbeholder i stedet og udskyde beslutningen om at etablere solvarmeanlægget til et senere tidspunkt. Finansieringen af solvarmeanlægget og valg af fabrikat kræver også betænkningstid.

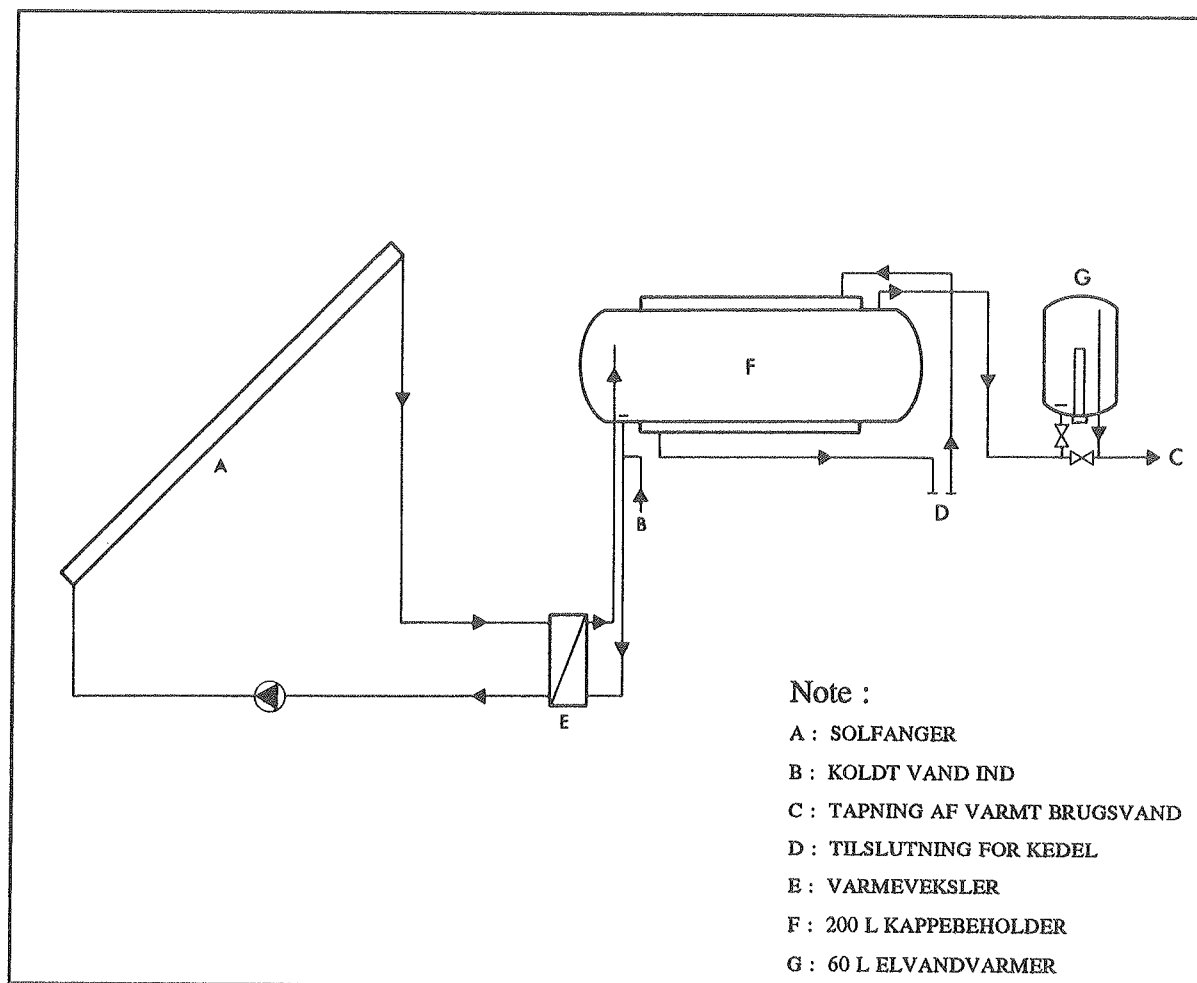
Kombibeholderes opbygning og gode virkemåde kan efterlignes af to standardbeholdere, som i pris ikke overgår kombibeholderens. Anlægsudformningen ses på figur 2.3



Figur 2.3 Principskitse af solvarmeanlæg opbygget af to standardbeholdere.

Beholder 1 er en alm. standardbeholder på mellem 150 og 200 l. Denne beholder anvendes som forvarmningstank for beholder 2, der er på ca. 100 l. Fordelen ved dette system er, at varmtvandsbeholder 2 med indbygget elvarmelegeme kan opstilles uden leveringstid, hvis den eksisterende beholder skal udskiftes pga. en utæthed. Beholder 1 og det resterende solvarmeanlæg kan installeres på et senere tidspunkt. Ulemperne ved denne udformning skal findes i større pladsforbrug for varmtvandsbeholderne og et forøget varmetab fra varmelageret. Desuden giver udformningen en dyrere installation.

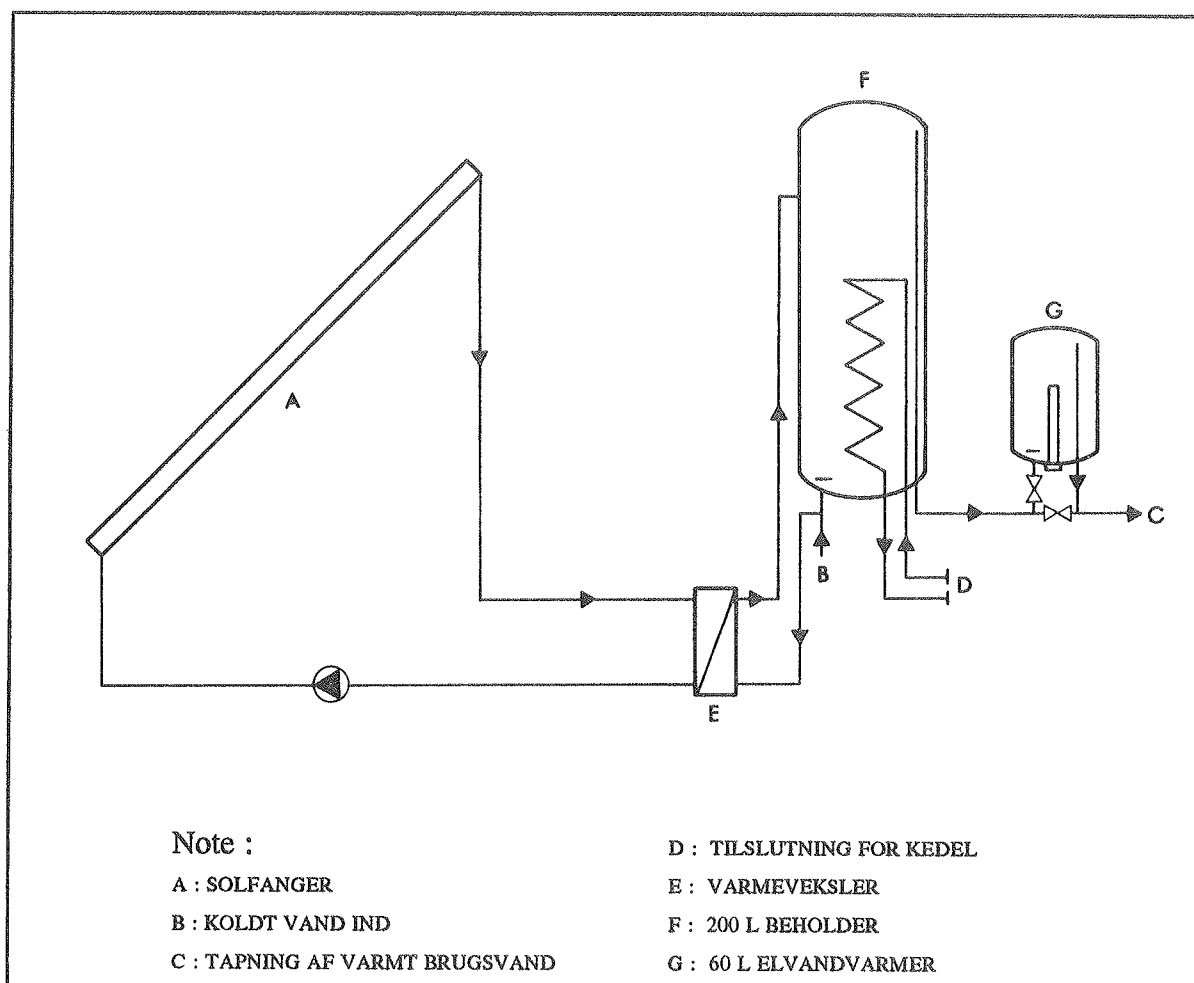
En anden spændende mulighed for anvendelse af en standardbeholder er, hvis der anvendes en ekstern varmeveksler som indsættes mellem solfangerkredsen og varmtvandsbeholderen. Beholderen kan f.eks være en vandretliggende kappebeholder som vist på figur 2.4.



Figur 2.4 Principskitse af solvarmeanlæg med ekstern varmeveksler.

Figur 2.4 viser en standard kappebeholder F på ca. 200 l. Brugsvandet cirkulerer ved naturlig cirkulation gennem den eksterne varmeveksler E. Kedelkredsen tilsluttes kappen og opvarmer brugsvandet i fyringssæsonen til en ønsket temperatur. Uden for fyringssæsonen eftervarmes brugsvandet i en ca. 60 l elvandvarmer.

Den vandretliggende kappebeholder kan naturligvis også være en lodretstående beholder med indbygget varmevekslerspiral for kedlen. Denne beholder kunne f.eks være en 200 l HS-Tarm VBF MKII. I dette tilfælde er det også nødvendigt at have en elvandvarmer til at eftervarme brugsvandet. Principskitse af dette anlæg er vist på figur 2.5.



Figur 2.5 Principskitse af lodretstående beholder med ekstern varmeveksler.

Solvarmeanlæggene på figur 2.4 og 2.5 er specielt interessante, hvis den eksisterende varmtvandsbeholder er forholdsvis ny og dermed kan genanvendes fra den eksisterende installation.

Ved begge anlæg (figur 2.4 og 2.5) kan rørinstallationen med fordel være forberedt til senere tilslutning af varmeveksler og elvandvarmer.

Den vandretliggende kappebeholder med ekstern varmeveksler, figur 2.4, er valgt som grundlag for en nærmere analyse. Den vandretliggende kappebeholder blev valgt, fordi der findes mange af denne type rundt om i de danske hjem. Kappebeholderen giver desuden mulighed for måleopstillinger, hvor solfangerkredsen enten kan udveksle varme med kappen eller direkte til brugsvandet.

Kappebeholderen er desuden meget attraktiv i forbindelse med low flow princippet, fordi der kan etableres en stor temperaturlagdeling i beholderen. Strømningshastigheden i kappen er desuden meget lille, hvilket medfører meget små tryktab. Både den gode temperaturlagdeling og det lille tryktab er vigtige faktorer, når der skal foregå en naturlig cirkulation mellem varmeveksleren og varmtvandsbeholderen.

Den anvendte kappebeholder er på 200 l og er på bestilling leveret med ekstra studse i kappen. Dette giver mulighed for flere tilslutningsmuligheder. Beholderen er isoleret med polyurethanskum og er produceret på Sønder Højrup Maskinfabrik A/S.

Der er udført laboratorieundersøgelser på tre forsøgsanlæg og derefter gennemført EDB-beregninger for at beregne solvarmeanlæggenes årlige nettoydelse. Disse beregninger er sammenlignet med EDB-beregninger for et traditionelt anlæg, som er vist på figur 2.2.

De tre forsøgsanlæg er beskrevet i de følgende tre afsnit. For alle anlæggene foregår koldt-vandstilførslen i bunden af beholderen, og tapning af varmt brugsvand sker i toppen.

Varmemediet i primærkredsen (solfangerkredsen) har tvungen cirkulation og opvarmes af en 4 - 5 m² solfanger. Varmemediet er en 50 % propylenglykol/vand blanding. I sekundærkredsen foregår en naturlig cirkulation mellem varmeveksleren og varmtvandsbeholderen.

Kedlen leverer suppleringsvarmen i fyringssæsonen, fra den 23/9 til den 9/5, mens et el-varmelegeme leverer suppleringsvarmen uden for fyringssæsonen. Varmetilførslen fra kedel til kappe styres af en ventil, der regulerer efter en indstillet temperatur.

Varmeudvekslingen mellem varmemediet i solfangeren og brugsvandet sker i opstilling 1 og 2 vha. en ekstern varmeveksler og varmtvandsbeholderens kappe. I opstilling 3 sker varmeudvekslingen direkte til brugsvandet. I det traditionelle anlæg sker varmeudvekslingen gennem en indbygget varmevekslerspiral nederst i beholderen.

På de efterfølgende figurer af opstilling 1, 2 og 3 har varmevekslerens fire ind/udløb fået følgende forkortelser.

Pf : Primær frem

Pr : Primær retur

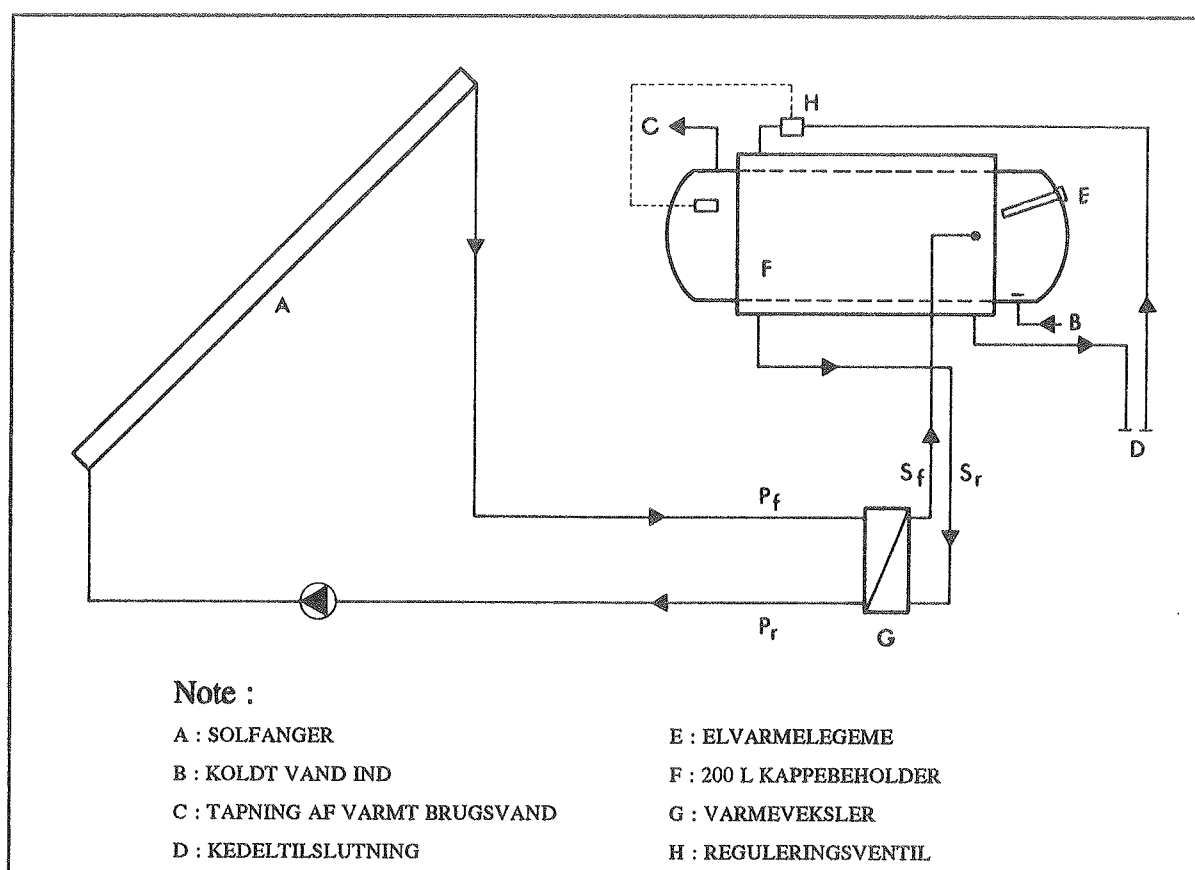
Sf : Sekundær frem

Sr : Sekundær retur

2.1 Opstilling 1

Opstilling 1 består af en vandretliggende kappebeholder, hvor der er anvendt to ekstra studs i kappen. En studs midt på kappen hvor sekundær frem tilsluttes og en studs i bunden hvor sekundær retur tilsluttes. Uden for fyringssæsonen opvarmer et indbygget elvarmelegeme de øverste 75 l af beholderen. Tilslutningen af elvarmelegemet kræver en 2" studs.

Kedelen tilsluttes på normal vis, hvor fremløbet er ført ind i toppen af kappen, og returen er ført ud i bunden.



Figur 2.6 Principskitse af opstilling 1.

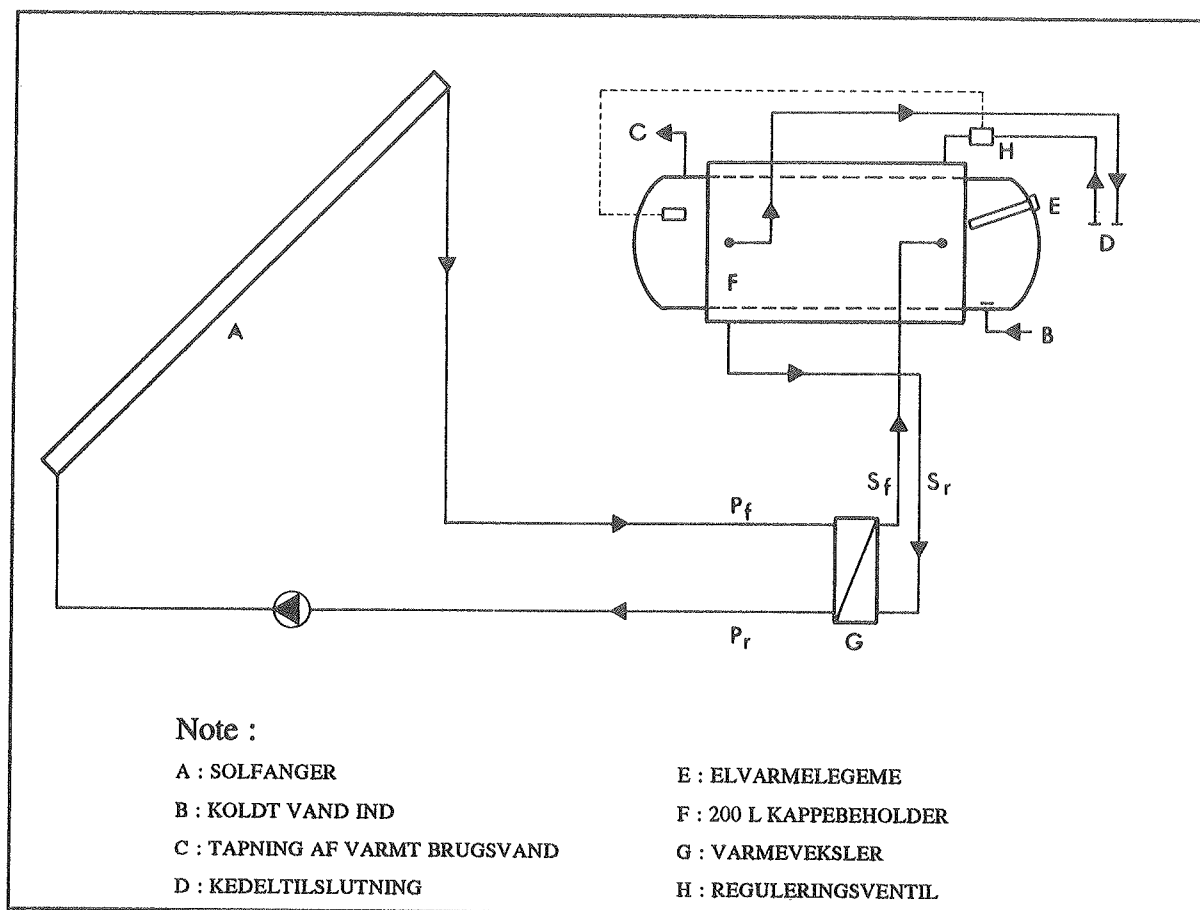
Flow'et på primærsiden er ca. $0,15 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ dvs. et low flow anlæg. Dette bevirker en høj fremløbstemperatur fra solfangeren og størst mulig afkøling gennem varmeveksleren.

Den ønskede virkemåde for opstilling 1 er følgende. Ved større temperaturer for sekundær frem end temperaturen i kappen, hvor det ledes ind, vil vandet stige op og opvarme beholder vandet højere oppe. Er fremløbstemperaturen mindre vil vandet "falde ned" og opvarme et underliggende vandlag. Det er et håb, at det er muligt at styre kedelopvarmningen af brugsvandet, så solfangeren om vinteren har mulighed for at forvarme det koldeste vand i beholderen.

Sekundærkredsen er tilsluttet kappen, hvorved kalkproblemer i varmeveksleren undgås.

2.2 Opstilling 2

I denne opstilling er sekundærkredsen også tilsluttet kappen.



Figur 2.7 Principskitse af opstilling 2.

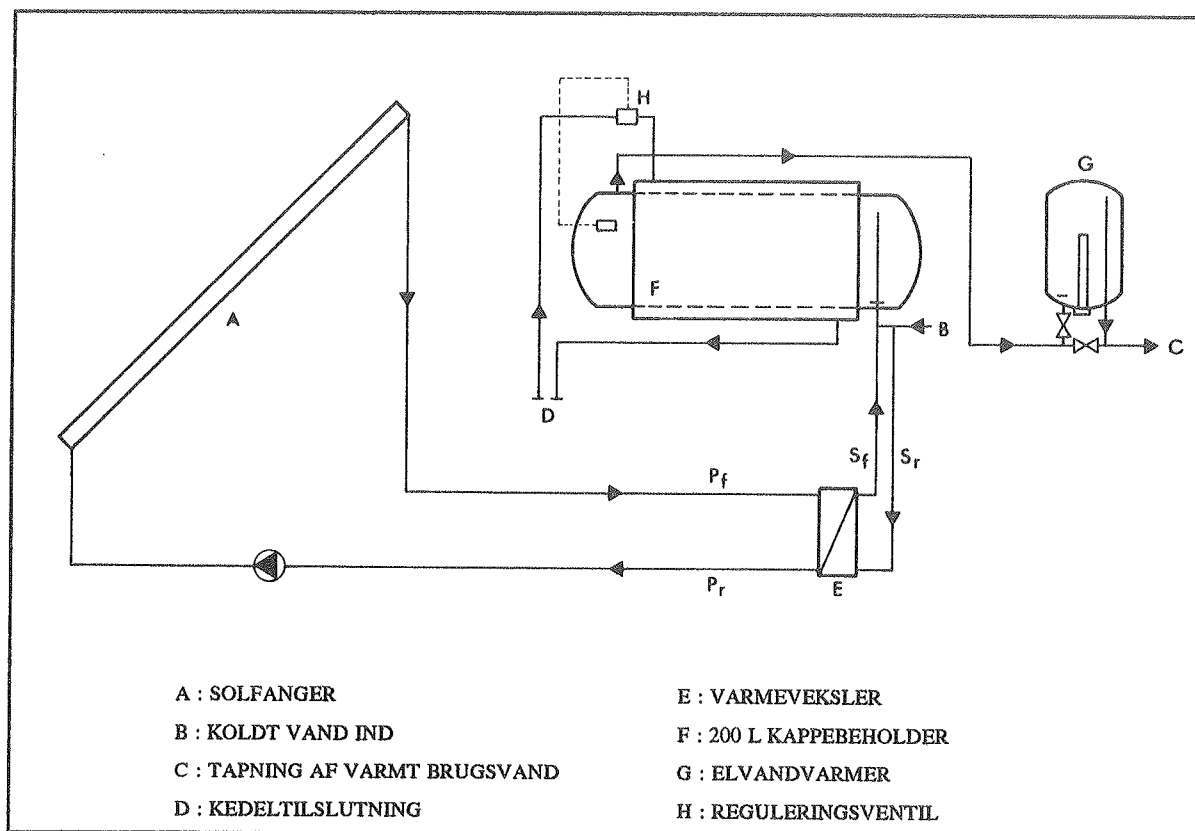
I opstilling 2 tilsluttes returen til kedlen i midten af kappen og ikke i bunden som i opstilling 1. Desuden er fremløbsledningen fra kedlen flyttet til den modsatte side af kappen. Resten af anlægget er opbygget som i opstilling 1.

I denne opstilling er der anvendt fire ekstra studse i kappen. Dette er gjort, for at sekundærkredsen fra måleopstilling 1 kan genanvendes i måleopstilling 2. Ved at flytte kedel/sekundær frem til den venstre side af kappen og kedel/sekundær retur til højre side af kappen skal der kun anvendes to ekstra studse i kappen. Sønder Højrup Maskinfabrik A/S har oplyst, at de ekstra studse let kan blive en del af deres standardbeholder, uden at prisen forøges nævneværdigt.

Udformning af opstilling 2 er tænkt at virke på følgende måde. Returen til kedelen anbringes i midten af kappen. Derved opvarmer kedlen kun den øverste halvdel af beholderen. I fyringssæsonen opnås en større temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen, som bevirker, at solfangernes driftsperiode forlænges.

2.3 Opstilling 3

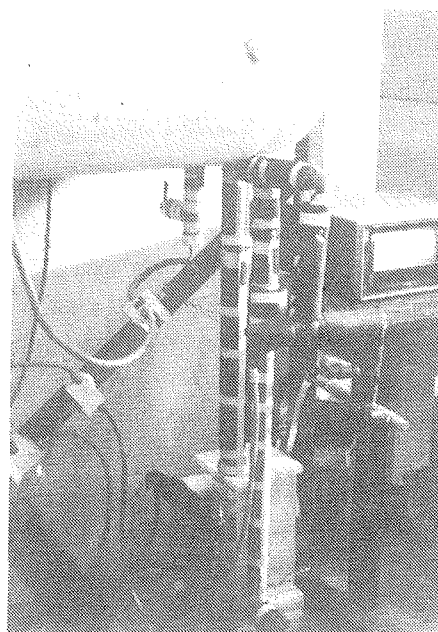
Sekundærkredsen er koblet direkte til brugsvandsbeholderen og ikke til kappen som i opstilling 1 og 2. Der er opbygget en specialløsning omkring koldtvarsstuds, som er vist på figur 2.10.



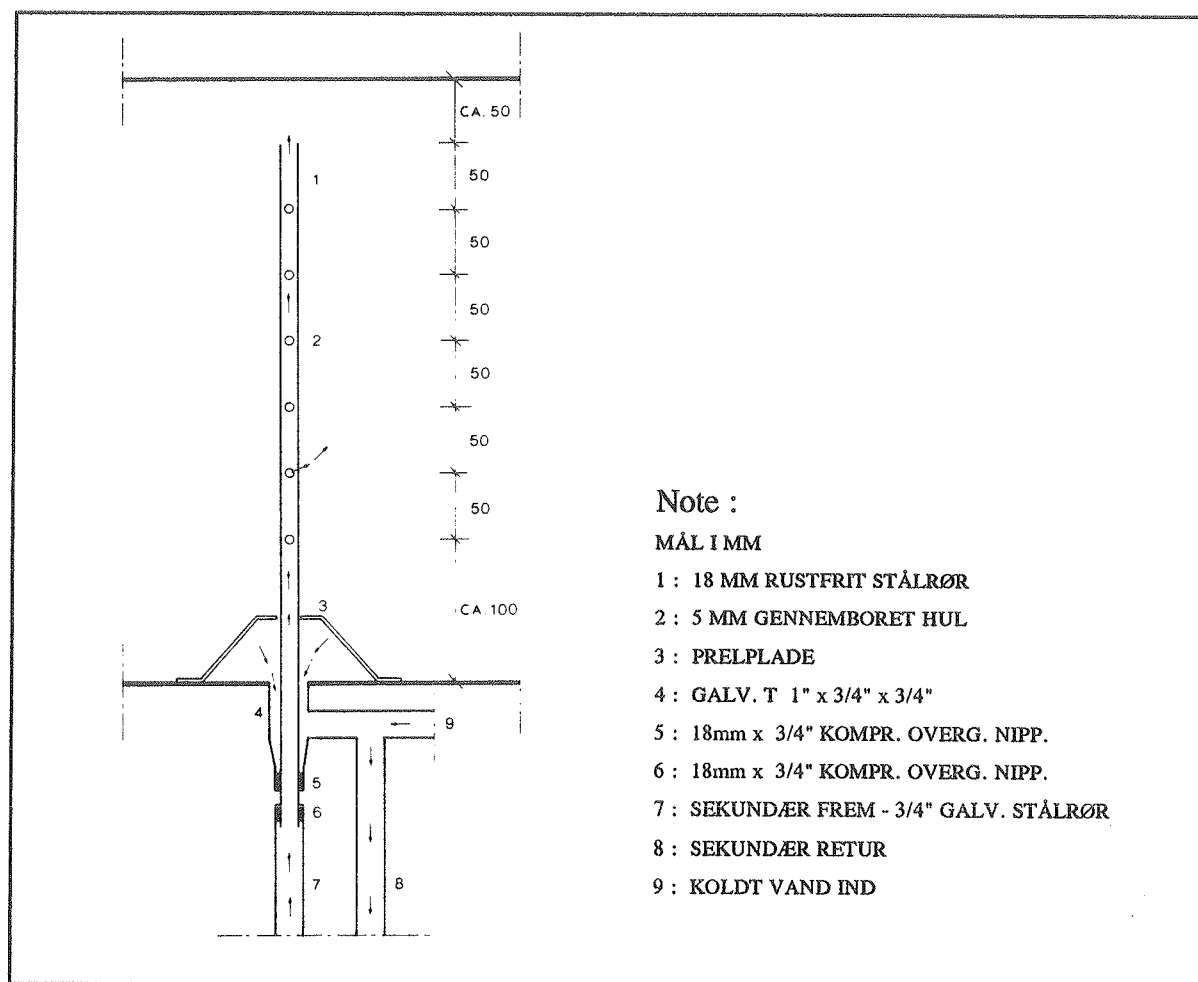
Figur 2.8 Principskitse af opstilling 3.

Figur 2.9 Foto af prøveopstilling 3.

Fotoet viser rørtilslutningen mellem varmeveksleren og kappebeholderen. Desuden ses datalogger, der måler temperaturer.



I opstilling 3 anvendes kun de studse, der normalt er i en standardbeholder. Idet der ikke er mulighed for at tilslutte et elvarmelegeme i beholderen, serieforbindes en elvandvarmer.



Figur 2.10 Specialløsning ved koldtandsstuds.

Den viste udformning på figur 2.10 giver mulighed for at tilslutte sekundær frem og sekundær retur uden at anvende andre studse end koldt vandstilgangen. Et 18 mm rustfrit stålør føres op gennem koldt vandstilgangen, efter at der er boret et hul i prelpladen. I den øverste del af røret er der boret et antal 5 mm huller med en afstand på ca. 5 cm. Er temperaturen for sekundær frem højere end beholdertemperaturen, er det hensigten, at størstedelen af væskemængden vil strømme ud af rørets ende. I vinterperioden er det hensigten, at vandet vil strømme ud i et lavere niveau. Altså sikrer røret, at beholderens temperaturlagdeling opbygges i størst muligt omfang. Sekundær retur og koldt vandstilførslen tilsluttes hhv. studsene mærket 8 og 9.

Hvis beholderens cirkulationsstuds ikke er anvendt, vil en anden mulighed være at tilslutte sekundær retur til koldt vandstilgangen og sekundær frem til cirkulationsstuds. Denne løsning er ikke nærmere undersøgt i denne rapport.

3 MÅLEOPSTILLINGER

De indendørs målinger har fundet sted i Laboratoriet for Varveisolering's lagerprøvestand. Ved hjælp af disse målinger har det været muligt at følge anlæggenes virkemåde over en kortere tidsperiode.

3.1 Målingerne

Der er udført ialt 10 korttidsmålinger for opstilling 1, 2 og 3. Hver af målingerne har en varighed på 8 timer. Figur 3.1 og 3.2 viser hhv. et foto og en principskitse af forsøgsopstilling 1.

Følgende ting bestemmes for måleopstillingerne :

- a) Varmebalancen for varmeveksleren
- b) Varmebalancen for varmtvandsbeholderen
- c) Temperaturlagdelingen i varmtvandsbeholderen
- d) Naturlig cirkulation i sekundærkredsen

3.2 Varmebalance for varmeveksler

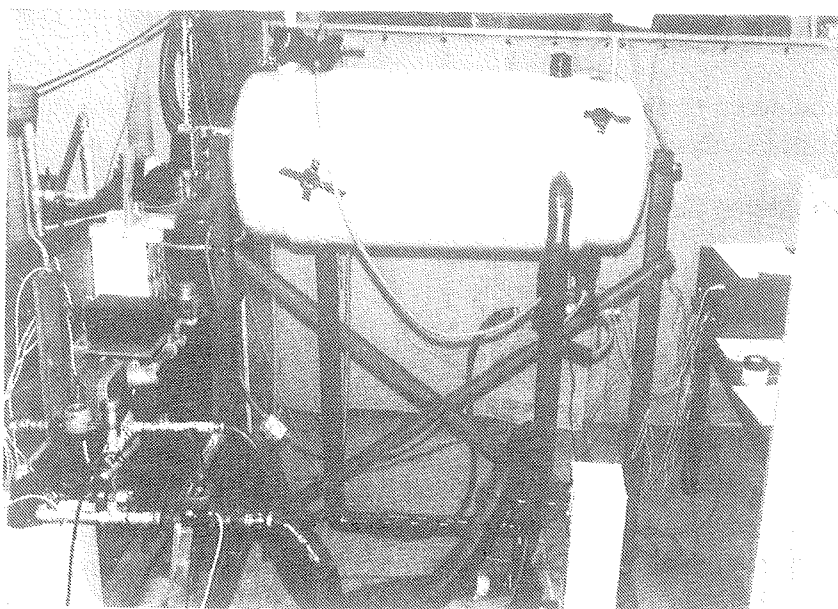
Der er energibevarelse i varmeveksleren, når der ses bort fra varmetabet gennem den isolerede kasse, der omslutter veksleren.

Effekten, som solfangeren afgiver til veksleren, bestemmes ud fra temperaturdifferencen mellem måling (6) og måling (7) samt flow'et i solfangerkredsen måling (15), se figur 3.2.

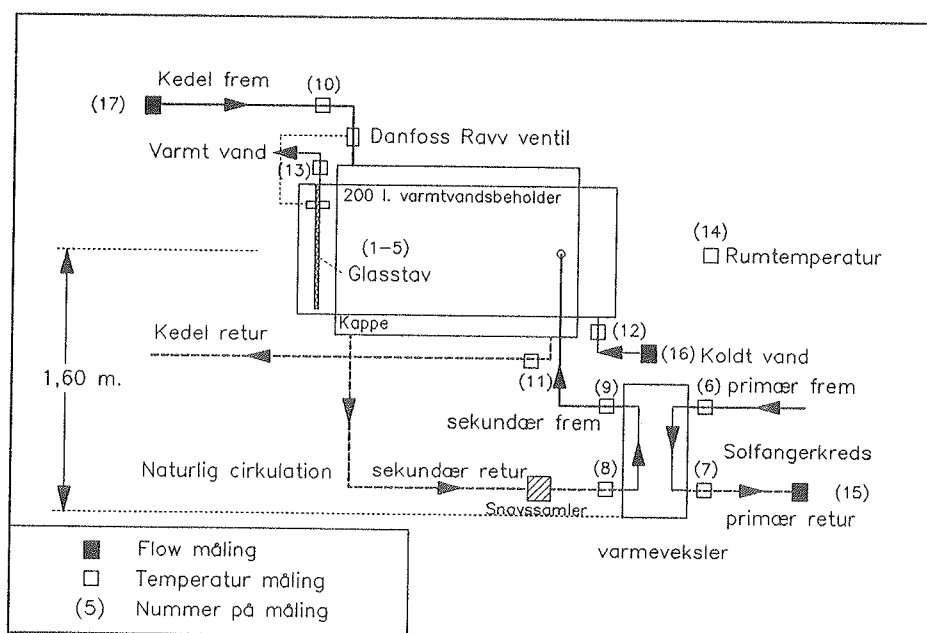
De indendørs målinger gør det ikke muligt at anvende en solfanger. Derfor er denne erstattet af en "solfangersimulator", hvor flow'et og fremløbstemperatur kan reguleres manuelt. Simulatoren svarer til en ca. 4 m^2 stor solfanger med en cirkulerende væskemængde på $0,15 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$. Dette giver et flow på ca. $0,6 \text{ l}/\text{min}$. Varmemediet er en 50 % propylenglykol/vand-blanding.

Den energimængde, som sekundærsiden modtager, beregnes som afgivet energi fra solfangeren til varmeveksler fratrasket varmetabet fra veksleren. Flow'et i sekundærkredsen beregnes derefter ud fra temperaturmålingerne (8) og (9), se figur 3.2.

For at skåne varmeveksleren for snavs er der indskudt en snavssamler i sekundærkredsen mellem beholderen og varmeveksleren. Den bør renses jævntligt for at formindske tryktabet gennem snavssamleren mest muligt.



Figur 3.1 Foto af forsøgsopstilling 1.



Figur 3.2 Principskitse af forsøgsopstilling 1.

3.3 Varmebalancen for varmtvandsbeholderen

Varmtvandsbeholderen er en 200 l kappebeholder, fabrikat Fønix Plasto Pur. Beholderen har fået påsvejest ekstra studse i kappen.

Varmtvandsbeholderen får et varmetilskud fra :
- Sekundærkredsen
- Kedlen

Varmtvandsbeholderen afgiver varme ved :
- Tapning af varmt brugsvand
- Transmissionstab fra beholder

Suppleringsvarmen til varmtvandsbeholderen kommer fra måleopstillingens "kedel". Kedlen er et ca. 20 l stort kar, der opvarmes af elvarmelegemer med en samlet effekt på ca. 1,8 kW. Kedlen simulerer kedelinstallationen i et parcelhus, hvor effekten normalt er 10 - 15 kW. Måleopstillingens kedel er således underdimensioneret, hvilket giver sig udslag i kedeltemperaturer, som er lavere end 60 °C under et opvarmningsforløb af varmtvandsbeholderen.

Kedlens opvarmning af varmtvandsbeholderen reguleres af et Danfoss RAVV følerement. Dette følerement anvendes sammen med et 1/2" Danfoss ventilhus RAV 15/8-13U0017. Ventilen er indstillet til at regulere varmetilførslen efter en temperatur på ca. 56 °C i toppen af beholderen.

Den samlede energitilførsel fra kedlen bestemmes ud fra temperaturmålingerne (10) og (11) samt flowmåling (17), se figur 3.2.

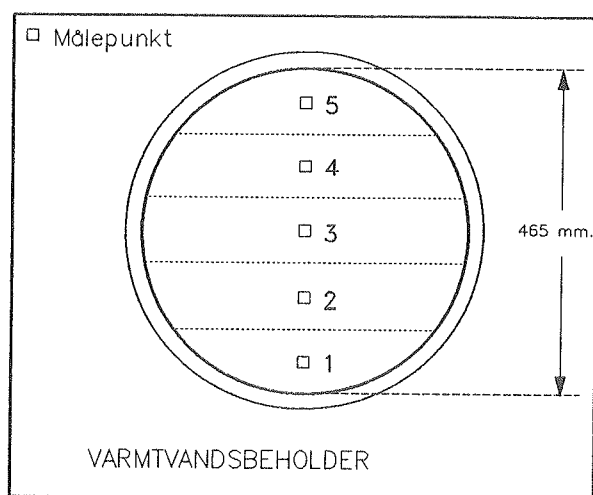
Tapning af varmt brugsvand foregår over ca. 12 minutter, hvor der ialt tappes 50 liter vand. Den tappede energimængde bestemmes ud fra måling (12),(13) og flow'et i (16), se figur 3.2.

Transmissionstabet for beholderen er bestemt ved at måle temperaturfaldet af brugsvandet i en periode, hvor beholderen ikke tilføres energi fra kedel og solfanger.

3.4 Lagdeling i varmtvandsbeholder

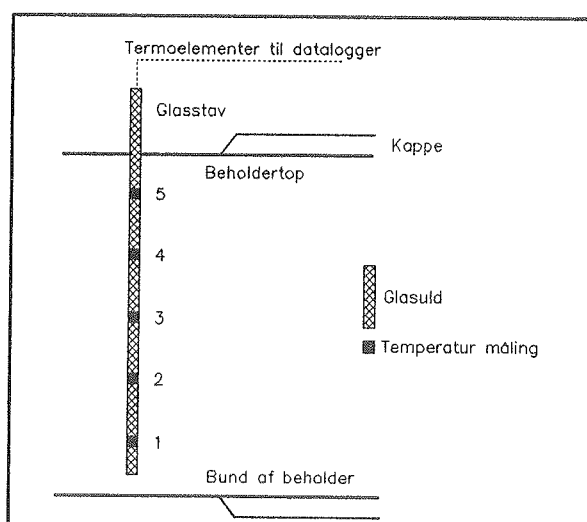
Lagdelingen i beholderen er bestemt ved 5 temperaturmålinger betegnet 1 til 5. Målingerne er foretaget i punkterne, der er vist på nedenstående figur 3.3. Hvert af de 5 lag har en højde på 93 mm. Lagenes volumen er :

lag 1 : 28,5 liter
lag 2 : 46,2 liter
lag 3 : 50,6 liter
lag 4 : 46,2 liter
lag 5 : 28,5 liter



Figur 3.3 Målepunkter i varmtvandsbeholder.

Temperaturmålingerne er foretaget vha. termoelementer, der er indbygget i et glasrør. Se figur 3.4.



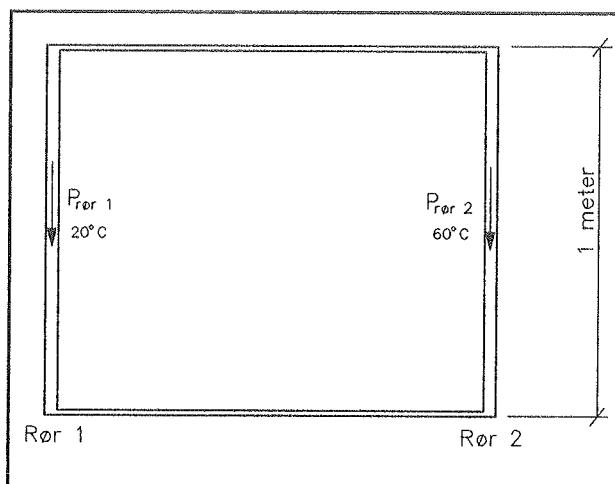
Figur 3.4 Principskitse af glasstav.

Det cirkulære glasrør er lukket i bunden. Der er anbragt 5 termoelementer inde i røret, som vist på figuren. Mellem termoelementerne er der isolering. Denne udformning giver en pålidelig temperaturmåling og mulighed for vandværkstryk i varmtvandsbeholderen.

3.5 Naturlig cirkulation

Varmemediet på sekundærsiden cirkulerer ved naturlig cirkulation. Derved spares pumpe og driftsudgifterne til denne. Den naturlige cirkulation opstår ved et termisk drivtryk P_{driv} , forårsaget af vands forskellige densiteter ved forskellige temperaturer. Højere temperatur giver lavere densitet. Drivtrykket skal overvinde tryktabet i sekundærkredsen, som bl.a. består af varmeveksler, rør og snavssamler.

Nedenstående eksempel giver en hurtig overslagsberegning for det termiske drivtryk, når der er 20 °C varmt vand i det ene rør og 60 °C varmt vand i det andet rør. Rørene har en længde på 1 m.



Figur 3.5 Skitse til beregning af naturligt drivtryk.

Det termiske drivtryk bliver følgende :

$$P_{\text{rør 1}} = 1,00 \text{ m} \cdot 998,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9793 \text{ Pa.}$$

$$P_{\text{rør 2}} = 1,00 \text{ m} \cdot 983,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9645 \text{ Pa.}$$

$$P_{\text{driv}} = P_{\text{rør 1}} - P_{\text{rør 2}} = 148 \text{ Pa} = 15 \text{ mmVS.}$$

Ovenstående beregninger viser, at det er meget små drivtryk, der skal opretholde den naturlige cirkulation. For en nærmere beskrivelse af naturlig cirkulation henvises til [10].

3.6 Måleudstyret

Samtlige temperaturmålinger registreres af en 30 kanals datalogger, Philips type PM 8237A, der udskriver målingerne på kurveform. Kurverne aflæses hvert kvarter, hvorefter disse værdier indtastes i regnearket Symphony. Flow'et i primærkredsen og kedelkredsen samt tappet vandmængde måles manuelt. Temperaturerne måles med termoelementer, type TT Termotråd.

4 VARMEVEKSLER

I måleopstillingerne anvendes en varmeveksler, der har til formål at overføre energi fra varmemediet i solfangerkredsen til brugsvandet i varmtvandsbeholderen. Fire forskellige varmevekslere er undersøgt for at finde den mest velegnede til solvarmeanlæg.

4.1 Grundtyper

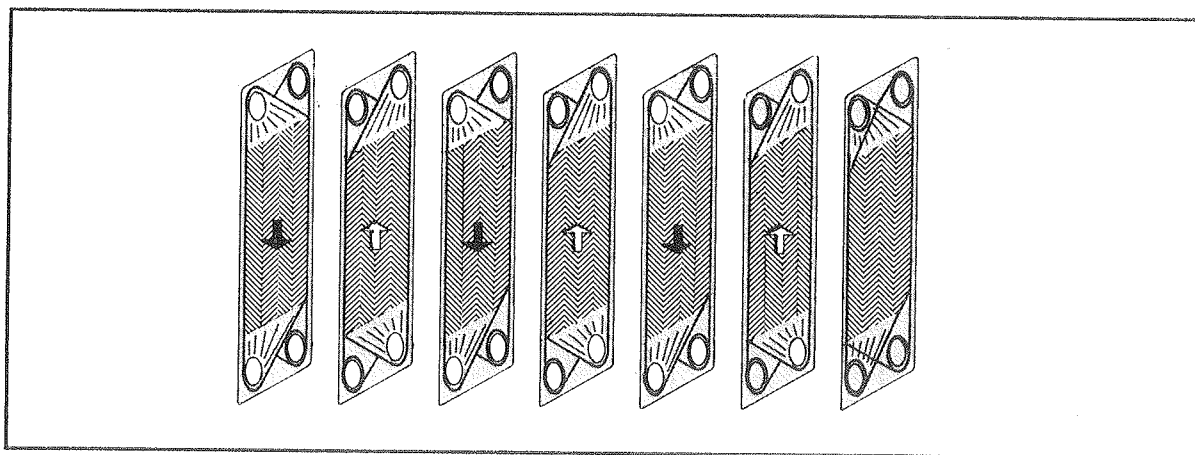
Til varmeoverføring mellem to varmemedier benyttes hovedsagelig to typer varmevekslere.

- a) Pladevarmeveksler.
- b) Dobbelttrørsvarmeveksler.

Varmeoverføringen mellem de to medier sker for begge veksler typer gennem vægfladen, der adskiller væskeerne.

4.2 Pladevarmeveksler

Pladevarmevekslere er opbygget af et antal tynde profilerede stålplader.



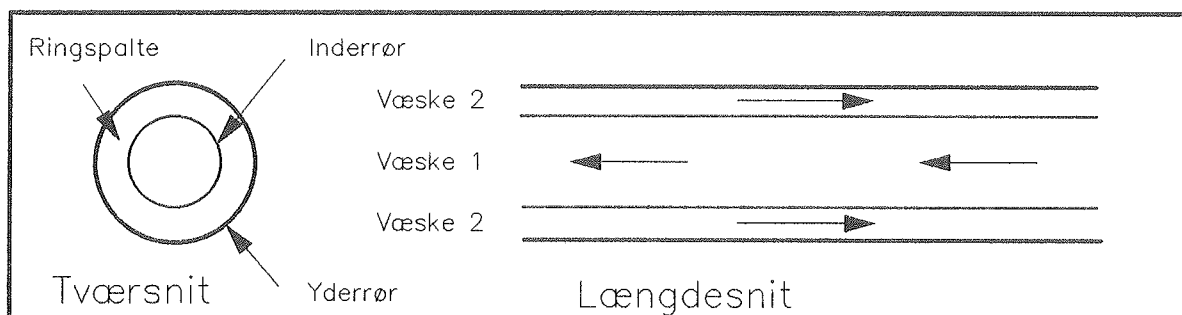
Figur 4.1 Eksempel på opbygning af pladevarmeveksler.

Pladerne i varmevekslerne er normalt forsynet med en gummipakning, der sikrer tæthed mellem de to varmevekslende medier. Samtlige plader er sammenspændt med bolte mellem to kraftige endeplader. Denne opbygning giver mulighed for at skille varmeveksleren ad ved reparation, rengøring og forøgelse af varmevekslerens varmeoverførende areal.

Ved små pladevarmevekslere kan pladerne være sammenloddede. Denne type er vanskelig at reparere og rengøre for kalk og snavs.

4.3 Dobbeltstrørsvarmeveksler

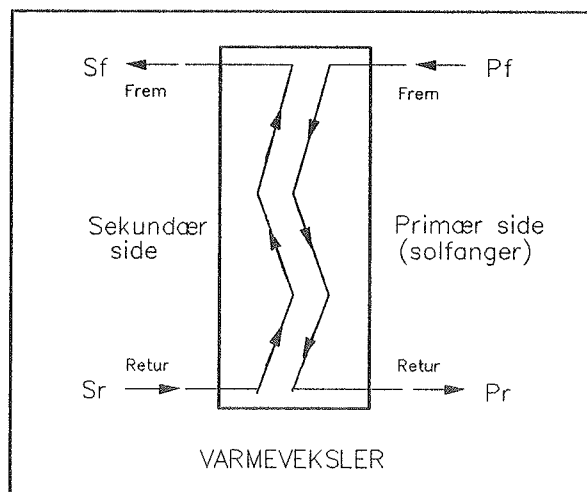
Dobbeltstrørsvarmeveksleren er opbygget af to koncentriske rør. Det ene varmemedie strømmer i inderrøret og det andet i ringspalten mellem inderrøret og yderrøret.



Figur 4.2 Principskitse af dobbeltstrørsvarmeveksleren.

4.4 Varmeoverføring

Mediet, som afgiver energi, kaldes primærmediet og er i dette tilfælde væsken, der cirkulerer i solfangerkredsen. Mediet, der modtager energi fra primærmediet, kaldes sekundærmediet. Dette medie cirkulerer på varmevekslerens sekundære side.



Figur 4.3 Principskitse af varmeveksler.

Fremløbstemperaturen for primærsiden, P_f , og sekundærsiden, S_f , er vist i figur 4.3. Returtemperaturen for primærsiden og sekundærsiden forkortes hhv. P_r og S_r . Hedefladen er det varmeoverførende areal for veksleren. De to varmemedier løber i modstrøm, som er det strømningsarrangement, der giver den bedste energiuudveksling.

Varmeoverføringsevnen V_F mellem varmemedierne afhænger af mediernes strømningsform, se [3] og [4]. Den turbulente strømningsform, som plademønsteret fremprovokerer, giver en større varmeoverføringsevne end den laminare strømning. Desuden har bl.a. pladeafstanden og mediernes varmeledningsevne betydning.

Varmevekslerens varmeoverføringsevne er en vigtig størrelse, der er et mål for hvor god varmeveksleren er ved givne driftbetingelser. Størrelsen af varmeoverføringsevnen bør kun sammenlignes, når driftsforholdene er ens.

Varmeoverføringsevnen V_F er defineret som : $V_F = E / T_m$

hvor E er den overførte effekt i W.

T_m er den logaritmiske middeltemperaturdifferent mellem de to medier .

Middeltemperaturdifferenten T_m er for en modstrømsvarmeveksler defineret som :

$$T_m = (A - B) / (\ln(A/B))$$

hvor $A = P_r - S_r$

$$B = P_r - S_r$$

4.5 Afprøvede varmevekslere

Men henblik på udvælgelse af varmevekslere til solvarmeanlæg, er der målt varmeoverføringsevner og tryktab for fire forskellige varmevekslere.

1. Redan B25/12
2. Power Trans P013/17
3. Power Trans P025/21
4. Mrk1

De tekniske data for hver af de fire varmevekslere er vist i nedenstående oversigt.

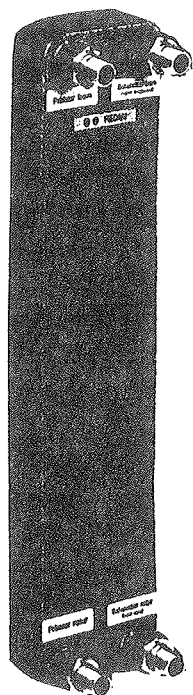
Navn :	Redan B25/12
Fabrikat :	Redan A/S - Sindalsvej 33, Risskov
Type :	Sammenloddet pladevarmeveksler
Antal plader :	12
Hedeflade :	0,63 m ²

Navn :	Power Trans P013R-5B-N/17-1
Fabrikat :	Power Trans A/S - Fabriksvej 6, Kolding
Type :	Sammenboltet pladevarmeveksler
Antal plader :	17
Hedeflade :	0,195 m ²

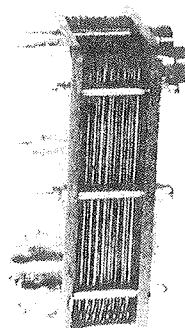
Navn :	Power Trans P025R-5B-N/21-1
Fabrikat :	Power Trans A/S - Fabriksvej 6, Kolding
Type :	Sammenboltet pladevarmeveksler
Antal plader :	21
Hedeflade :	0,475 m ²

Navn :	Mrk1
Type :	Dobbelttrørsvarmeveksler
Længde :	16 meter
Inderrør :	8 mm kobberør, bløde, med indvendig diameter på 6,4 mm
Yderrør :	PP 16 mm Ribbeplastrør - Forhandler : Aidt Miljø Aps
Hedeflade :	0,35 m ²

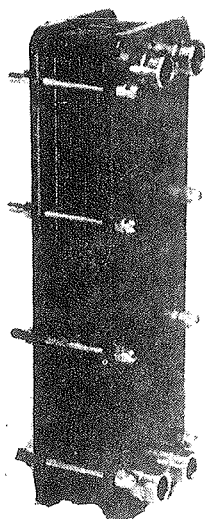
Figur 4.4 Tekniske data for afprøvede varmevekslere.



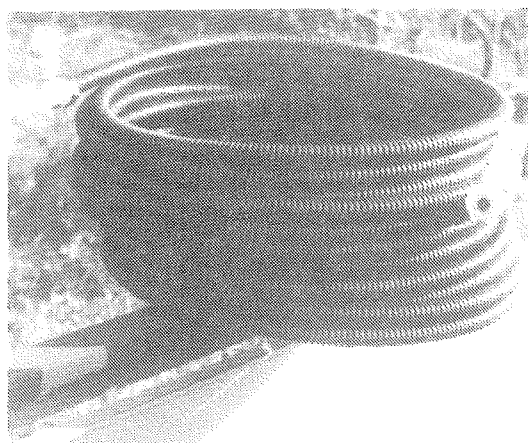
Redan B25/12



Power Trans P013\17



Power Trans P025/21



Mrk1

Figur 4.5 Fotos af afprøvede varmevekslere.

4.6 Målte varmeoverføringssevner

De tre pladevarmevekslere er afprøvet i måleopstillingerne, hvorimod Mrk1 er afprøvet i solfangerprøvestanden. Driftsforholdene skal for samtlige målinger være ens, for at de tre varmevekslere kan sammenlignes på korrekt vis. Dette er ikke lykkedes 100 %, bl.a. fordi den naturlige cirkulation på sekundærsiden er vanskelig at regulere.

Nedenstående figur 4.6 viser de målte resultater med en 50 % propylenglykol/vand-blanding på primærsiden og vand på sekundærsiden.

	Enhed	Redan B25/12	P. T. P013	P. T. P025	Mrk1
Primær flow	l/min	0,63	0,60	0,68	0,60
Sekundær flow	l/min	0,70	0,81	0,93	0,64
Primær frem	°C	68	61	68	69
Sekundær retur	°C	26	25	26	16
Overført effekt	W	1500	910	1600	1775
Varmeoverføringssevne	W/K	200	62	180	157

Figur 4.6 Målte værdier for de fire varmevekslere.

Værdierne er udvalgt efter et ønske om at få så ens driftsbetingelser som muligt. Redan B25/12 og Power Trans P013/17 har den samme varmeoverføringssevne pr. m² hedeplade. Power Trans P025 har derimod en ca. 20 % bedre varmeoverføringssevne pr. m² hedeplade. Det må antages, at strømmingen i de tre pladevarmevekslere er laminar på grund af det lille flow. Med et flow på 0,6 l/min er strømningshastigheden i pladevarmevekslerne ca. 0,5 m/min.

Varmeveksleren Mrk1 har en god varmeoverføringssevne. Dette skyldes bl.a. den perfekte modstrøm, de større strømningshastigheder, kombineret med ribberørets ujævnheder. Strømningshastigheden i inderrøret er beregnet til ca. 18 m/min ved et flow på 0,60 l/min.

4.7 Tryktab i varmevekslere

Tryktabet i varmeveksleren har stor betydning, fordi vandet i sekundærkredsen cirkulerer ved naturlig cirkulation. I måleopstillingen er det naturlige drivtryk omkring 20 mmVS ved normale driftstemperaturer.

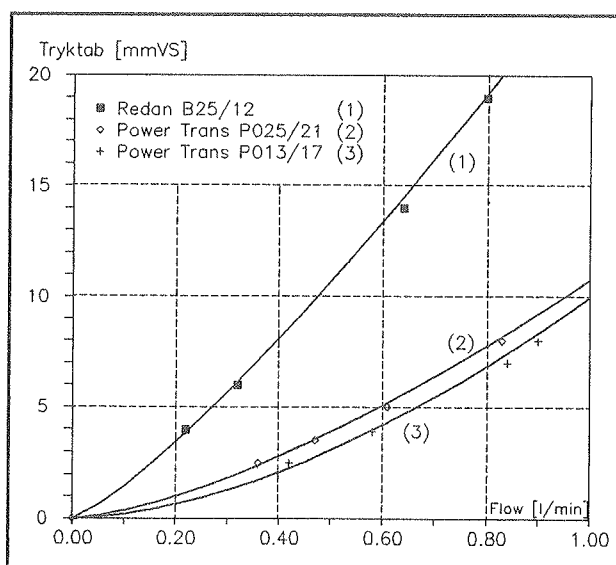
Nedenstående figur 4.6 viser de målte tryktab i millimeter vandsøjle. Målingerne er foretaget med vand ved 20 °C.

Varmeveksler	Tryktab ved 0,6 l/min mmVS	Tryktab $\Delta P = f(m)$ mmVS
Redan B25/12	13	25,3 m ^(1,24)
Power Trans P013/17	4	10,0 m ^(1,70)
Power Trans P025/21	5	10,8 m ^(1,47)
Mrk1	640	Ikke beregnet

Figur 4.7 Målte tryktab for sekundærsiden. Flow'et m indsættes i l/min.

Ud fra ovenstående figur 4.7 fremgår det, at kun de tre pladevarmevekslere kan anvendes, når varmemediet på sekundærsiden skal cirkulere ved naturlig cirkulation. Sekundærsiden skal indeholde en pumpe, hvis Mrk1 skal anvendes i et solvarmeanlæg.

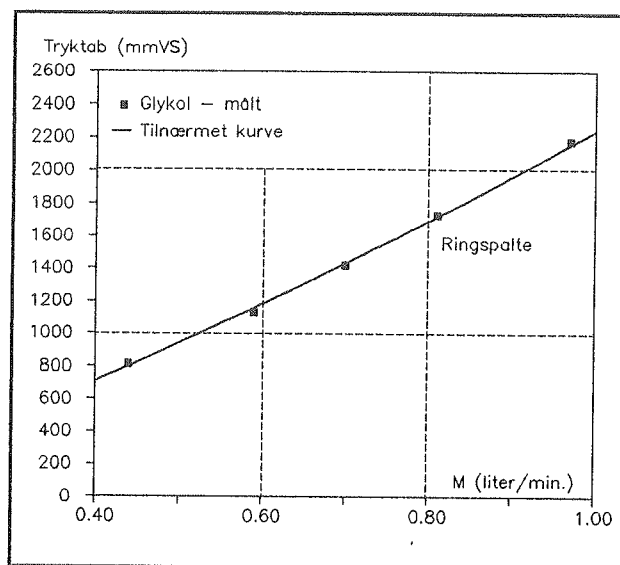
For de tre pladevarmevekslere er der målt tryktab for sekundærsiden som funktion af flow'et. En tilnærmet kurve er beregnet ud fra disse måleresultater og er angivet i figur 4.7. Flow'et m indsættes i l/min, og det skal være mindre end 1 l/min.



Figur 4.8 Målte tryktab for pladevarmevekslere.

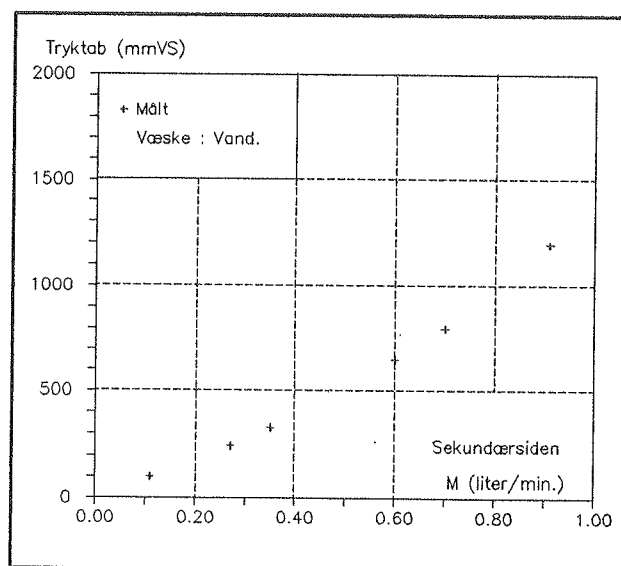
Tryktabene er små, hvilket er en forudsætning for naturlig cirkulation.

Tryktabsforholdene for rørvarmeveksleren Mrk1 er optegnet på figur 4.9 og 4.10. Det målte tryktab for ringspalten (primærsiden) vises sammen med en tilnærmet kurve på figur 4.9.



Figur 4.9 Målt tryktab for Mrk1's primærside - ringspalten.

Tryktabet er målt for en 50 % propylenglykol/vand-blanding ved 40 °C. Det ses, at tryktabet ved 0,6 l/min er ca. 1200 mmVS. Dette er en acceptabel værdi, fordi primærkredsen har tvungen cirkulation. Pumpen i primærkredsen yder normalt en trykhøjde på 2000 mmVS, og den skal overvinde tryktab i solfanger, rør og varmeveksler.



Figur 4.10 Målt tryktab for Mrk1's sekundærside - inderrøret.

Figur 4.10 viser målte tryktab for inderrøret. Mediet er vand ved 40°C. I dette tilfælde er der ikke beregnet en tilnærmet kurve for måleresultaterne. Tryktabet stiger ved forøgelse af volumenstrømmen og er ved 0,6 l/min målt til 640 mmVS. Dette tryktab på sekundærsiden gør en cirkulationspumpe nødvendig.

4.8 Varmetab

Der er foretaget varmetabsmålinger for Redan B25/12 og Power Trans P025/21 ved en rumtemperatur på ca. 22 °C.

Redan varmeveksleren bliver monteret i en isoleret stålkasse. Denne kasse har en kuldebro, fordi en af kassens sider ikke er isoleret. Ved at efterisolere denne side kan varmetabet nedsættes.

Målingerne er foretaget ved at måle afkølingen over primærsiden, når der cirkulerer 60 °C varm propylenglykol/vand-blanding gennem varmeveksleren. Resultaterne er som følger.

Redan B25/12	Tindløb	Tændring	Flow	Varmetab	k
Enhed	°C	K	l/min	W	W/K
Med kuldebro	60,5	1,68	0,34	34,3	0,92
Efterisoleret	60,5	1,41	0,34	28,8	0,77

Figur 4.11 Målte varmetab for isoleret Redan B25/12 varmeveksler.

Den efterisolerede varmeveksler, som er anvendt i målingerne, har fået målt en varmetabskoefficient k på 0,77 W/K. Dette vil normalt betyde et varmetab på 2-5 % af den overførte effekt.

Varmevekslerne fra Power Trans leveres normalt ikke med isoleret kasse. Derfor er varmetabet målt uden isolering.

Power Trans P025/21	Tindløb	Tændring	Flow	Varmetab	k
Enhed	°C	K	l/min	W	W/K
Uisoleret	60,2	3,00	0,39	74	2,1

Figur 4.12 Målt varmetab for uisoleret Power Trans P025/21 varmeveksler.

Figur 4.12 viser, at varmetabet for en uisoleret varmeveksler ligger omkring 2 W/K.

4.9 Kalk og korrosionsmæssige forhold

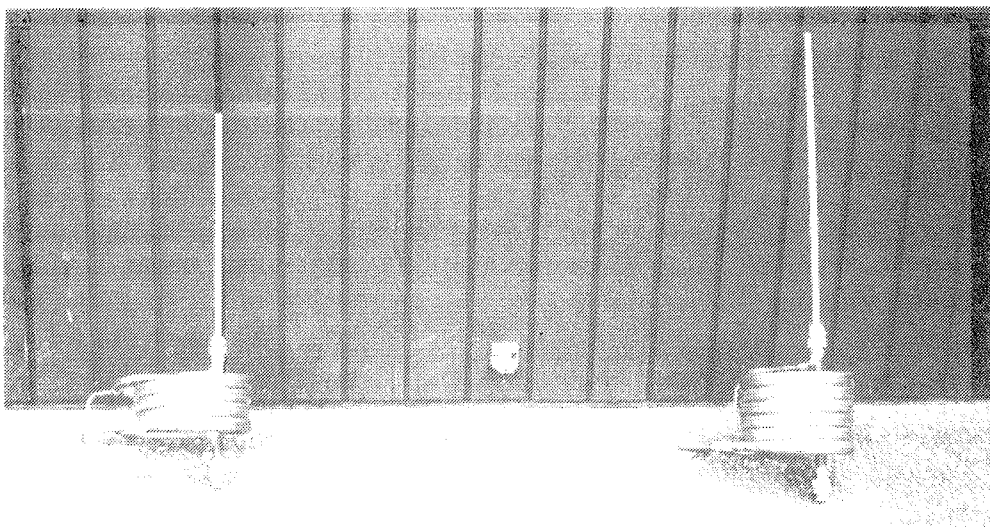
De tre pladevarmevekslere, som er undersøgt, er alle udført i syrefast rustfrit stål AISI 316. Når der anvendes AISI 316, skal vandets chloridindhold være mindre end 300 mg/l. Hvis varmeveksleren indsættes i et lukket system, f.eks. opstilling 1, er det muligt at anvende kobber til varmeveksleren. Dette er f.eks. gjort i MRK1. I opstilling 3, hvor varme udveksles direkte til brugsvand, er det et krav, at der ikke må anvendes kobber, hvis vandinstallationerne i huset er udført af galvaniserede stålrør. MRK1 kunne i dette tilfælde være udført i rustfrit stål.

Kalkproblemer bør man også tage højde for, når der varmeveksles direkte til brugsvandet. Der skal derfor være mulighed for at rengøre varmeveksleren for kalk. Hvis der anvendes meget stærke kalkfjerningsmidler, er der mulighed for, at det går ud over lodningen i de sammenloddede pladevarmevekslere.

De sammenboltede pladevarmevekslere har her et fortrin, idet de kan skilles ad, så hver enkelt plade kan rengøres separat. Man skal dog være opmærksom på, at gummipakninger også bør skiftes, når veksleren skilles ad.

4.10 Markedsførte varmevekslere til solvarmeanlæg

Det svenske firma TeknoTerm producerer en dobbeltrørsvarmeveksler af kobber, som er beregnet til direkte tilslutning til koldtvandsstudsene på varmtvandsbeholdere.



Figur 4.13 Foto af TeknoTerms varmevekslere i to størrelser.

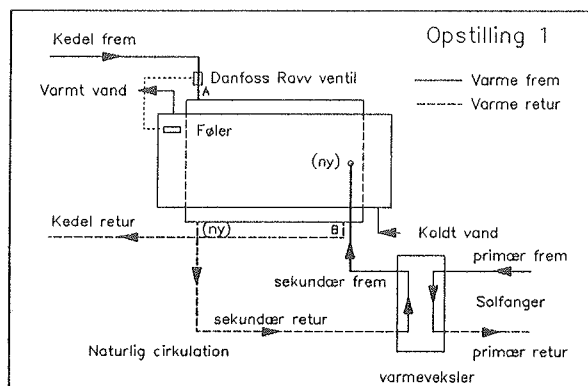
TeknoTerms varmevekslere er ikke afprøvet i prøvestanden. Virkemåden kan sammenlignes med varmevekslingsdelen i opstilling 3.

Idet varmevekslerne er udført af kobber, vil anvendelsesmulighederne i Danmark være begrænsede pga. de korrosionsmæssige forhold.

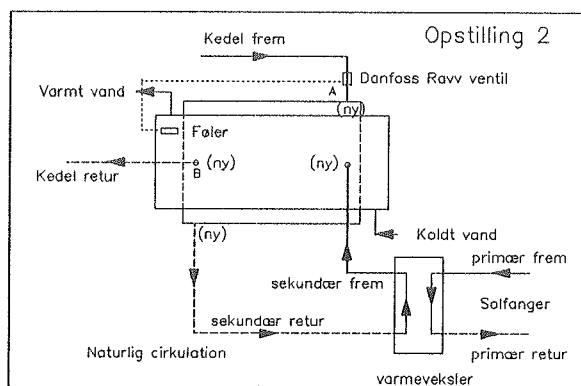
5 MÅLERESULTATER

Som nævnt i kapitel 2 er der udført indendørs målinger på tre forsøgsopstillinger :

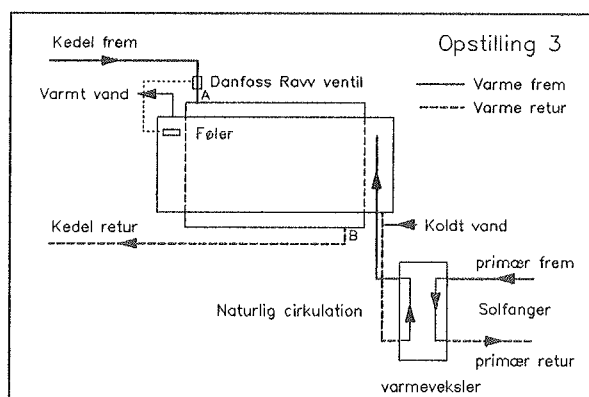
De tre forsøgsopstillinger er vist i figur 5.1, 5.2 og 5.3.



Figur 5.1 Principskitse af opstilling 1.



Figur 5.2 Principskitse af opstilling 2.



Figur 5.3 Principskitse af opstilling 3.

Forskellen mellem de tre opstillinger skal bl.a. findes i påmonteringen af fremløb og retur fra kedlen, mærket A og B. I opstilling 1 og 3 har vandet fra kedlen hele kappen som varmeoverførende areal, hvorimod opstilling 2 kun anvender halvdelen af den øverste halvdel. I opstilling 1 og 2 udveksles solvarme til kappen, hvorimod opstilling 3 udveksler solvarme direkte til brugsvandet.

Til måleopstillingerne er der anvendt en 200 l vandretliggende kappebeholder, som har fået påsvejet ekstra studse i kappen. De nye studse er på tegningerne ovenfor mærket med symbolet (ny).

Primærkredsen (solfangerkredsen) er udført med tvungen cirkulation (pumpe), og fremløbstemperaturen styres af et elvarmelegeme. I denne kreds er varmemediet en 50 % propylenglykol/vand-blanding. Flow'et på primærsiden er ca. 0,6 l/min. Denne væskemængde svarer til et low flow anlæg, med en solfangerstørrelse på ca. 4 m².

Varmemediet på sekundærsiden cirkulerer ved naturlig cirkulation.

Kedlens opvarmning af varmtvandsbeholderen reguleres af en Danfoss RAVV ventil, som regulerer efter en temperatur på ca. 56 °C. Når kedlen er ude af drift uden for fyringssæsonen, vil opstilling 1 og 2 fungere på samme måde. I fyringssæsonen, hvor kedlen er i drift, er det undersøgt, hvilken opstilling der fungerer bedst.

5.1 Måleserier

Alle måleserier har en varighed på 8 timer, hvor der er målt temperaturer og væskeflow med 15 minutters mellemrum. Der er ialt udført 10 måleserier som vist i det følgende :

Måling	Opstilling	Målebetingelser \ hensigt med måling
1	Både 1 og 2	Solfangerdrift : ja - med variabel fremløbstemp. Kedeldrift : nej Tapning af vand : nej Hensigt med forsøg: At undersøge den naturlige cirkulation på sekundærsiden, temperaturlagdelingen i beholderen, samt varmeoverføringsevnen for varmeveksleren.

2	Både 1 og 2	Solfangerdrift : ja - med konstant fremløbstemp. Kedeldrift : nej Tapning af vand : ja - 2 tapninger á 50 liter Hensigt med forsøg: At undersøge temperaturlagdelingen i beholderen, når der tappes
---	-------------	---

3	1	Solfangerdrift : nej Kedeldrift : ja Tapning af vand : nej Hensigt med forsøg: At bestemme RAVV ventilens indflydelse på temperaturlagdelingen.
---	---	---

Måling	Opstilling	Målebetingelser \ hensigt med måling
4	1	Solfangerdrift : ja - lave fremløbstemperaturer. Kedeldrift : ja Tapning af vand : nej Hensigt med forsøg: Det undersøges, om solfanger og kedel kan fungere sammen i en vintersituation, hvor solfangeren forvarmer det koldeste vand.

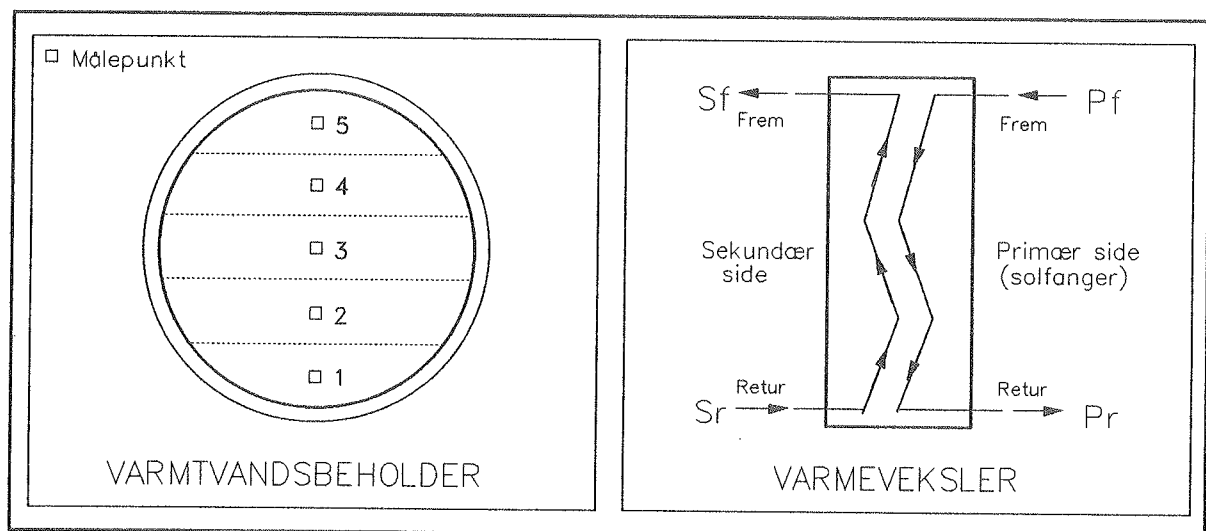
5	2	Solfangerdrift : nej Kedeldrift : ja Tapning af vand : ja - 1 tapning á 50 liter. Hensigt med forsøg: At bestemme temperaturforløbet i beholderen over en nat, når der ikke tappes. RAVV ventilens indflydelse på forsøget vurderes.
---	---	--

6	2	Solfangerdrift : ja - lave fremløbstemperaturer. Kedeldrift : ja Tapning af vand : ja - 2 gange á 50 liter. Hensigt med forsøg: Det undersøges, om solfanger og kedel kan fungere sammen i en vintersituation, hvor solfangeren bør kunne forvarme det koldeste vand.
---	---	---

7	Både 1 og 2	Solfangerdrift : ja - konstant fremløbstemperatur. Kedeldrift : nej Tapning af vand : nej Hensigt med forsøg: At undersøge flow'et på sekundærsiden samt varmevekslerens varmeoverføringsevne. Der er ved denne måling anvendt en mindre varmeveksler P013/17 fra firmaet Power Trans.
---	-------------	--

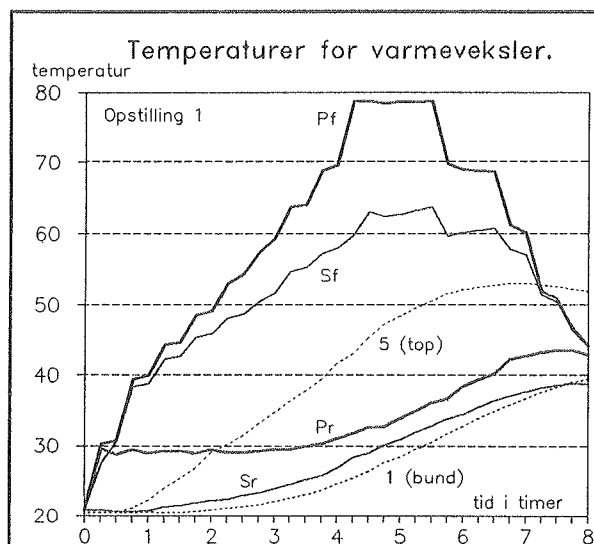
Måling	Opstilling	Målebetingelser \ hensigt med måling
8	3	Solfangerdrift : ja - med variabel fremløbstemp. Kedeldrift : nej Tapning af vand : nej Hensigt med forsøg: At undersøge den naturlige cirkulation på sekundærsiden, temperaturlagdelingen i beholderen samt varmeoverføringsevnen for varmeveksleren.
9	3	Solfangerdrift : ja - med konstant fremløbstemp. Kedeldrift : nej Tapning af vand : ja - 2 tapninger á 50 liter Hensigt med forsøg: At undersøge temperaturlagdelingen i beholderen, når der tappes
10	3	Solfangerdrift : ja - lave fremløbstemperaturer. Kedeldrift : ja Tapning af vand : ja - 2 gange á 50 liter. Hensigt med forsøg: Det undersøges, om solfanger og kedel kan fungere sammen i en vintersituation.

Målepunktsplacering og lagdelingen i varmtvandsbeholderen samt temperaturdefinitioner i varmeveksleren er vist på figur 5.4.

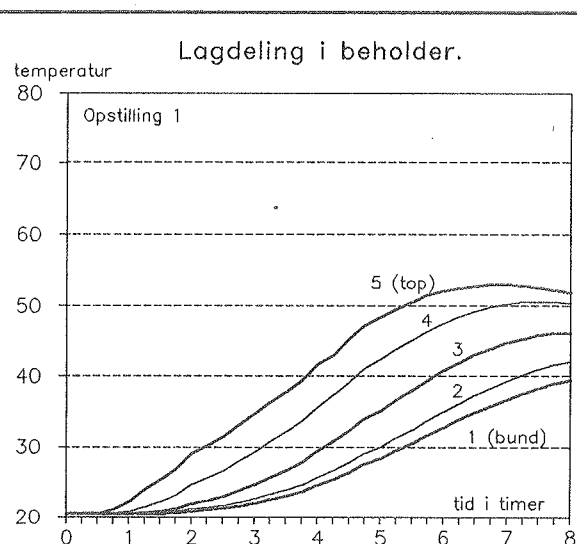


Figur 5.4 Målepunktsplacering i beholder og principskitse af varmeveksler.

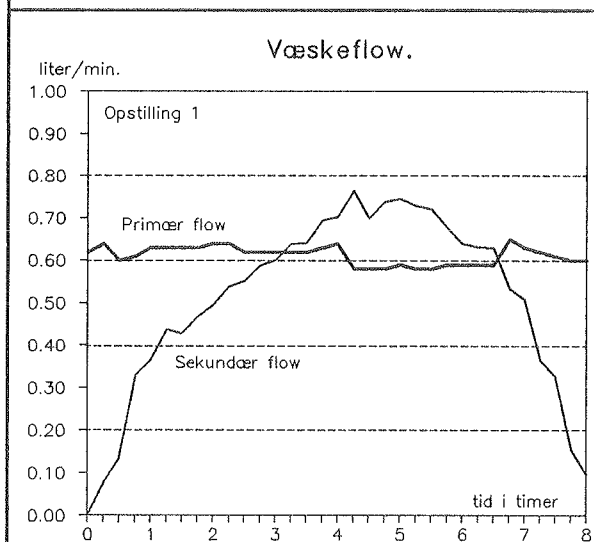
5.2 Måling 1



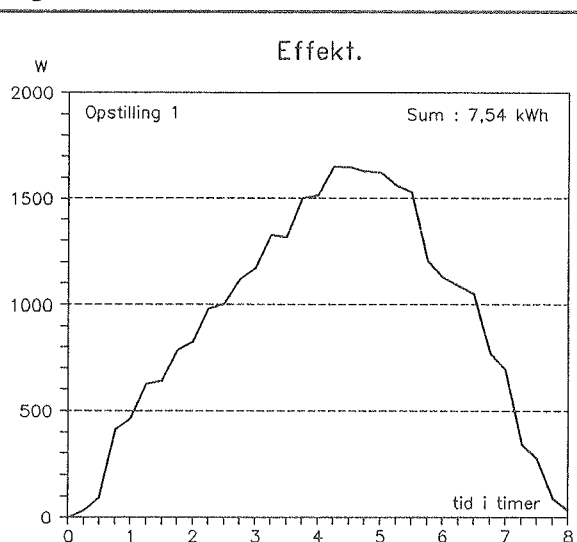
Figur 5.5



Figur 5.6



Figur 5.7



Figur 5.8

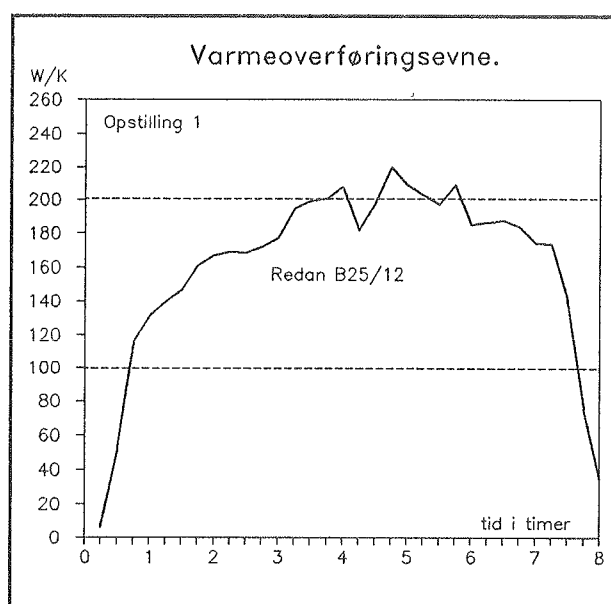
Måling 1 viser, om kombinationen af varmeveksler og vandretliggende varmtvandsbeholder kan fungere sammen ved naturlig cirkulation i sekundærkredsen.

Figur 5.5 viser temperaturforholdene på hhv. primær- og sekundærsiden af veksleren. Denne måling skal simulere en "sommerdag". Det ses, at fremløbstemperaturen på primærsiden (Pf) stiger fra 20 °C ved forsøgets start til 78 °C efter 4 - 5 timer. Derefter falder fremløbstemperaturen, indtil forsøget afsluttes efter 8 timer. Afkølingen på primærsiden (Pf - Pr) stiger fra 0 K ved forsøgets start til ca. 45 K efter 4 - 5 timer. Temperaturerne på sekundærsiden følger temperaturerne på primærsiden, dog parallelforskuet nedefter 5 - 10 K. Temperaturlagdelingen i varmtvandsbeholderen angives af de stiplede kurver.

Figur 5.6 viser temperaturen i de enkelte lag i varmtvandsbeholderen. Det ses, at der er en mærkbar temperaturgradient i beholderen. Temperaturen i toppen (5) stiger fra 20 °C til ca. 52 °C efter 6 timer.

Figur 5.7 viser flow'et på hver side af varmeveksleren. Primærsiden har et flow på omkring 0,6 l/min og er reguleret manuelt vha. en strengreguleringsventil. Sekundærflow'et varierer på grund af den naturlige cirkulation. Sekundærflow'et er beregnet ud fra temperaturdifferensen ($S_f - S_r$). Efter 5 timer er flow'et oppe på 0,75 l/min. Dette, sammenholdt med at sekundærsiden får en opvarmning fra 31 °C til 63 °C, giver en effektilførsel på ca. 1650 W til varmtvandsbeholderen.

Figur 5.8 viser den beregnede nettoeffekt som sekundærkredsen afgiver til varmtvandsbeholderen. Effekten stiger og er efter 5 timer oppe på ca. 1650 W. Den totale energitilførsel til beholderen over de 8 timer er beregnet til 7,54 kWh.



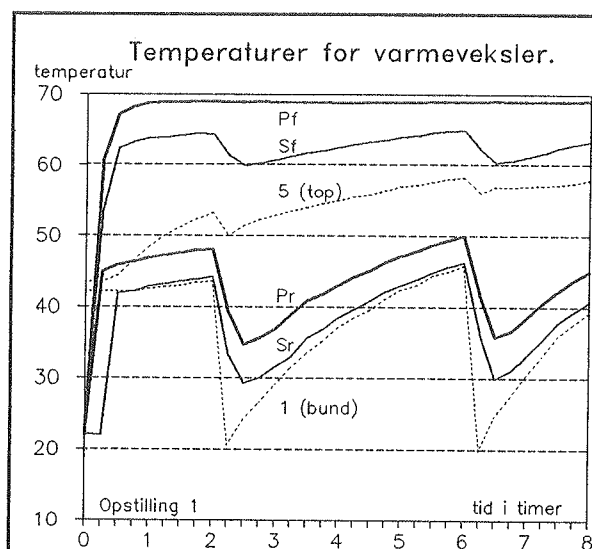
Figur 5.9 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

Pladevarmeveksleren er fabrikat Redan, type B25/12. Varmeoverføringsevnen ligger på ca. 180 W/K i de tidsrum, hvor væskeflow'et på begge sider er ca. 0,6 l/min. Dette er bl.a. tilfældet efter 6,5 timer.

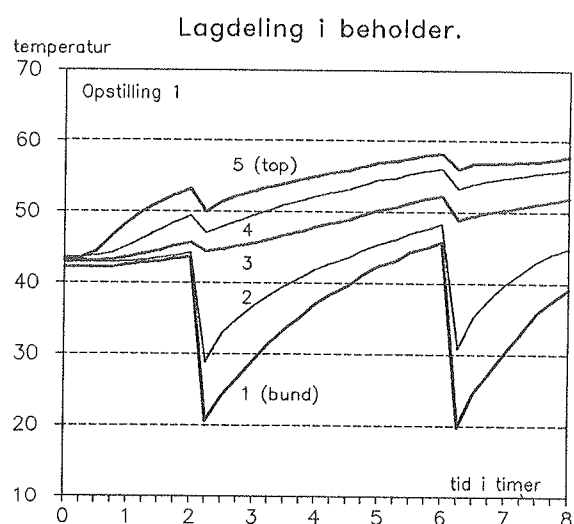
Sammenfatning af måling 1.

Ved solfangerdrift alene virker opstilling 1 på en tilfredsstillende måde. Varmeoverførings-evnen for varmeveksleren ligger på samme niveau som for en indbygget varmevekslerspiral i en kombibeholder til solvarme, se [11]. Den naturlige cirkulation på sekundærsiden virker efter hensigten.

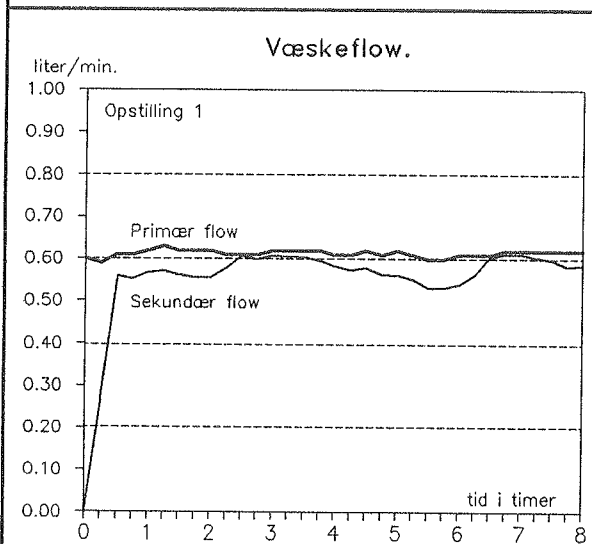
5.3 Måling 2



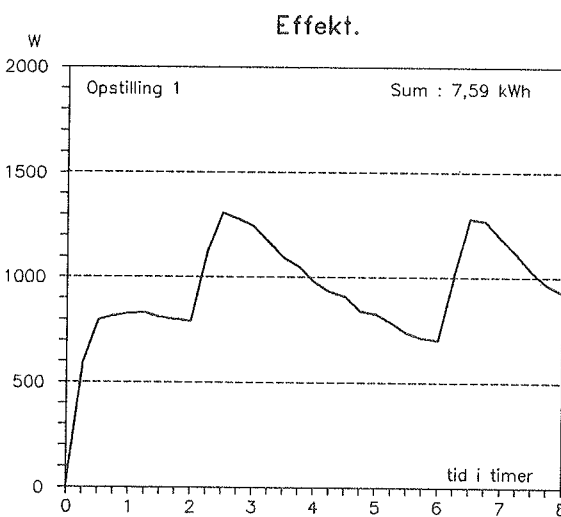
Figur 5.10



Figur 5.11



Figur 5.12



figur 5.13

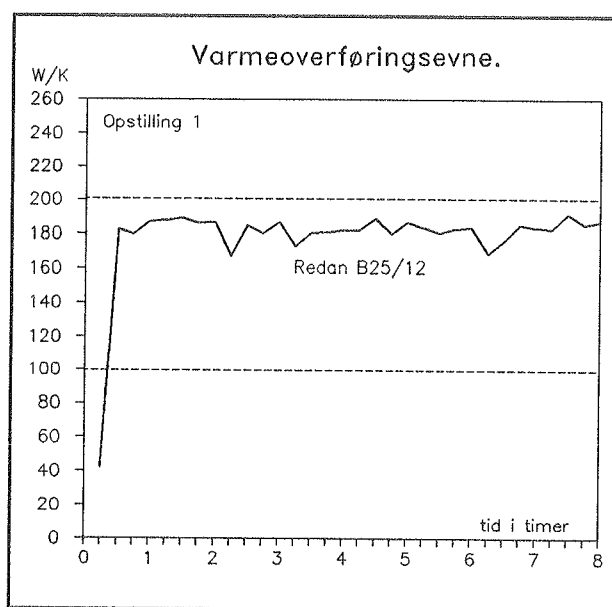
I dette forsøg tappes brugsvand efter 2 og 6 timer. Begge tapninger er på 50 liter varmt vand. Temperaturen af det kolde brugsvand fra vandværket er målt til 17 °C.

Figur 5.10 viser, at fremløbstemperaturen fra solfangeren (Pf) er konstant på 68 °C. Under tapningerne er afkølingen på primærsiden (Pf - Pr) ca. 33 K. Returtemperaturen for sekundærsiden (Sr) ligger konstant 5 K under Pr. Det første kvarter er Sr konstant 23 °C. Dette skyldes, at vandet i røret fra kappen til veksleren har rumtemperatur. Temperaturerne i beholderens øverste og nederste lag er de stiplede kurver. Kurverne er medtaget til orientering.

Lagdelingen i varmtvandsbeholderen er vist på figur 5.11. Temperaturen i de to nederste lag berøres mærkbart af tapningerne. Dette temperaturfald hænger sammen med, at koldt-vandstilgangen er i beholderens bund. De to tapninger giver kun få graders udsving i behol-derens top. Dette indebærer, at der kan tappes varmt brugsvand med næsten konstant tem-peratur, selvom der tappes 25 % (50 liter) af beholderens volumen.

Figur 5.12 viser flow'et på primær og sekundærsiden af veksleren. Flow'et på begge sider holder sig næsten konstant på 0,6 l/min.

Den beregnede nettoeffekt er vist på figur 5.13. Under tapningerne stiger effektafgivelsen fra ca. 800 W til ca. 1300 W. Den samlede energitilførsel til varmtvandsbeholderen er beregnet til 7,59 kWh over de 8 timer.



Figur 5.14 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

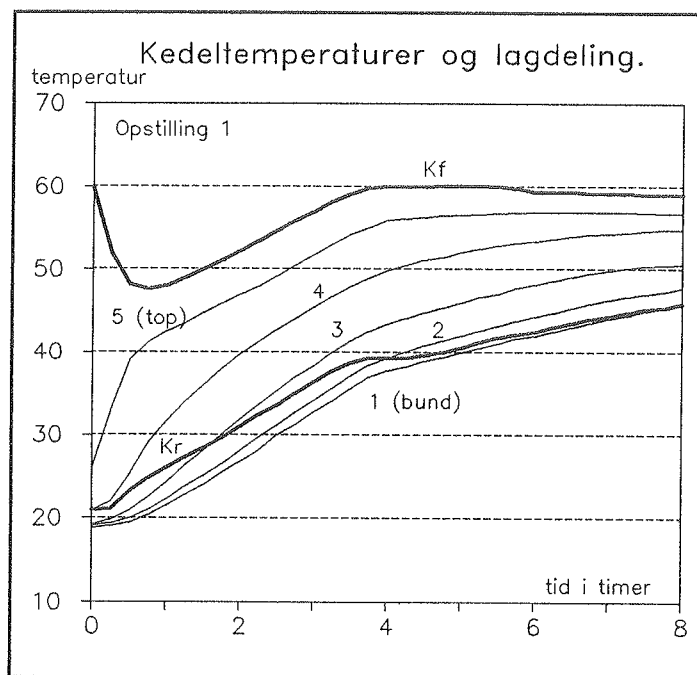
I dette forsøg er kapacitetstrømmen for de to kredse næsten ens. Dette giver en varmeover-føringsevne på ca. 180 W/K. Varmeovergangskoefficienten mellem de to medier ligger på $285 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, idet varmevekslerens hedeflade er på $0,63 \text{ m}^2$.

Sammenfatning af måling 2.

Varmtvandstapninger reducerer temperaturen i bunden af beholderen kraftigt. Dette er en fordel i vinterperioden, hvor solfangeren skal forvarme det koldeste vand. Tapning af 50 liter varmt brugsvand kan ske med næsten konstant temperatur.

5.4 Måling 3

Denne måling viser kedelopvarmning af beholderen uden tapning af varmt brugsvand.



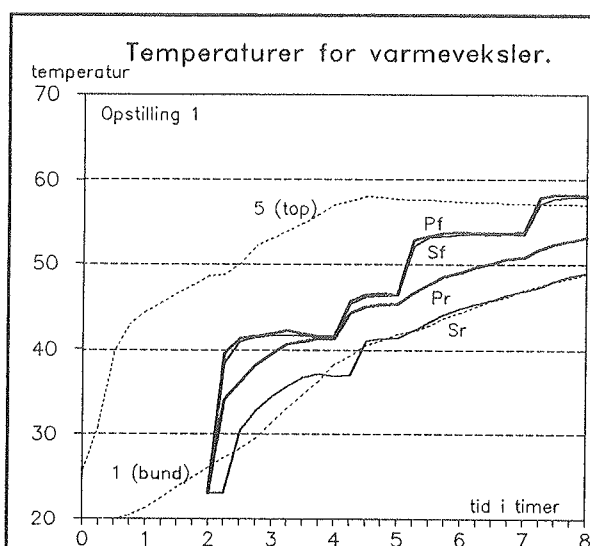
Figur 5.15 Lagdeling i beholder og kedeltemperaturer.

Sammenfatning af måling 3.

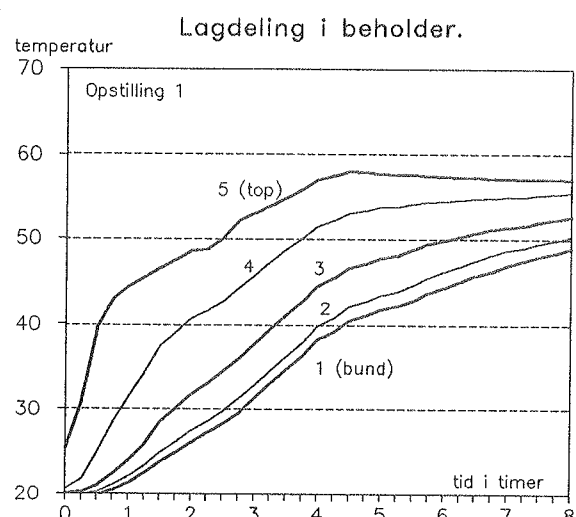
Figur 5.15 viser, hvordan kedlen opvarmer vandet i varmtvandsbeholderen. RAVV ventilen standser varmetilførslen, når den øverste del af beholderen har en temperatur på ca. 56 °C. Det kunne også have været glædeligt, hvis den kunne have holdt temperaturen i det nederste lag nede, så solfangeren i vinterperioden havde en mulighed for at forvarme dette vand. Dette formår den ikke. Fremløbstemperaturen for kedlen (Kf) falder i starten af forsøget. Dette skyldes, at varmelegemerne i prøvestandens "kedel" er underdimensioneret.

Istedet for RAVV ventilen, der er placeret på fremløbet fra kedlen, vil en returventil også kunne anvendes. Denne returventil sikrer en god afkøling af kedelvandet og vil antagelig kunne forbedre temperaturlagdelingen i beholderen noget. En anden mulighed vil være at indsætte en urstyret ventil på kedelkredsen således, at varmetilførslen fra kedlen kan stoppes i dagtimerne.

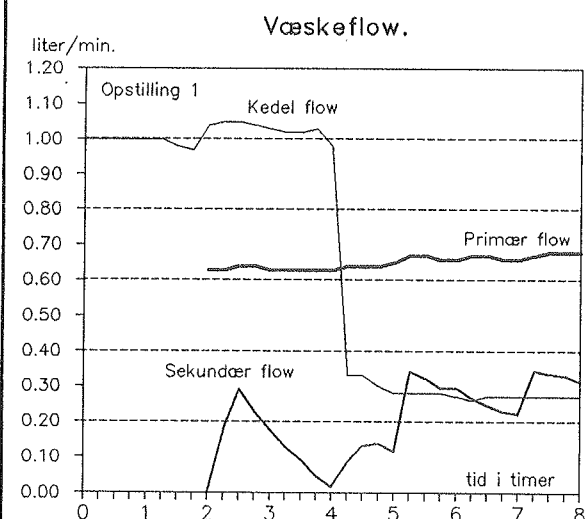
5.5 Måling 4



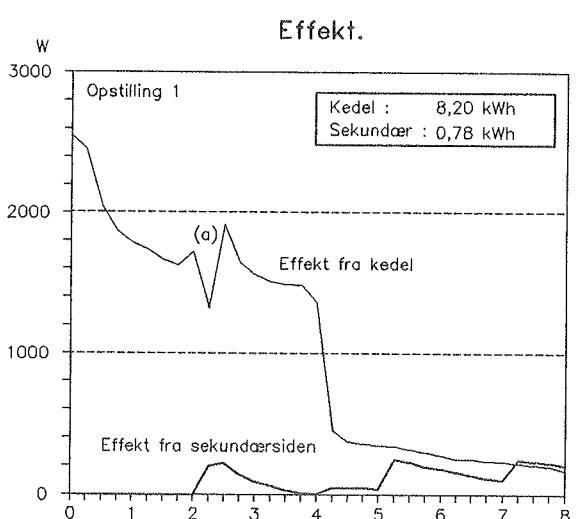
Figur 5.16



Figur 5.17



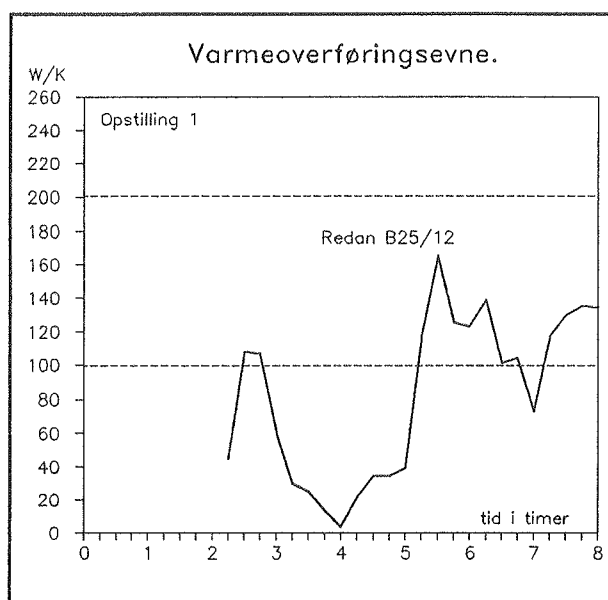
Figur 5.18



Figur 5.19

Denne måling viser kombineret drift mellem kedel og solfanger.

Efter 2 timer blev varmetilførslen ved en fejl midlertidig afbrudt. På figur 5.19 er dette afmærket med (a). I figur 5.16 er kedeltemperaturerne ikke indtegnet, men fremløbet fra kedlen holdt sig omkring 60 °C gennem hele forsøget.

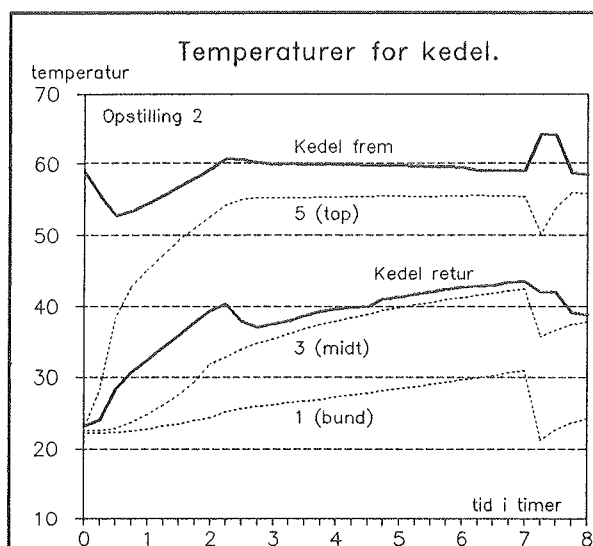


Figur 5.20 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

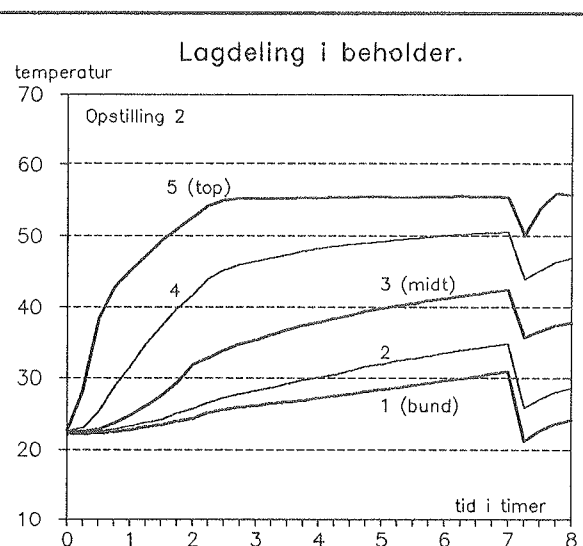
Sammenfatning af måling 4.

Dette forsøg illustrerer, hvor svært solfangeren har det, når den er i drift sammen med kedlen. Kedlen styrer hele opvarmningen, bl.a. fordi kedeltilslutningen til kappen er uheldigt opbygget.

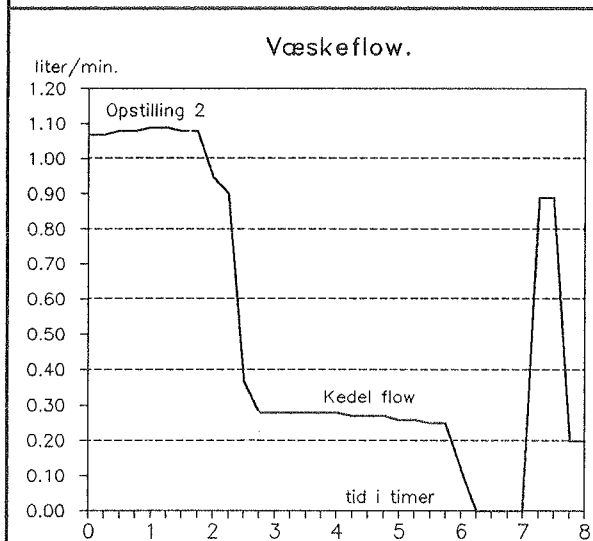
5.6 Måling 5



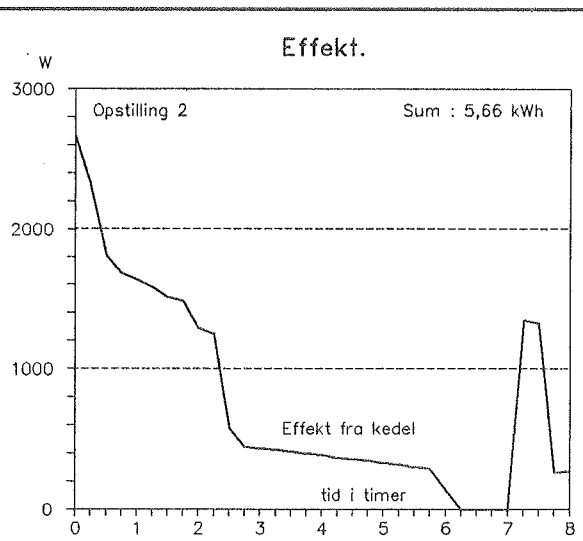
Figur 5.21



Figur 5.22



Figur 5.23

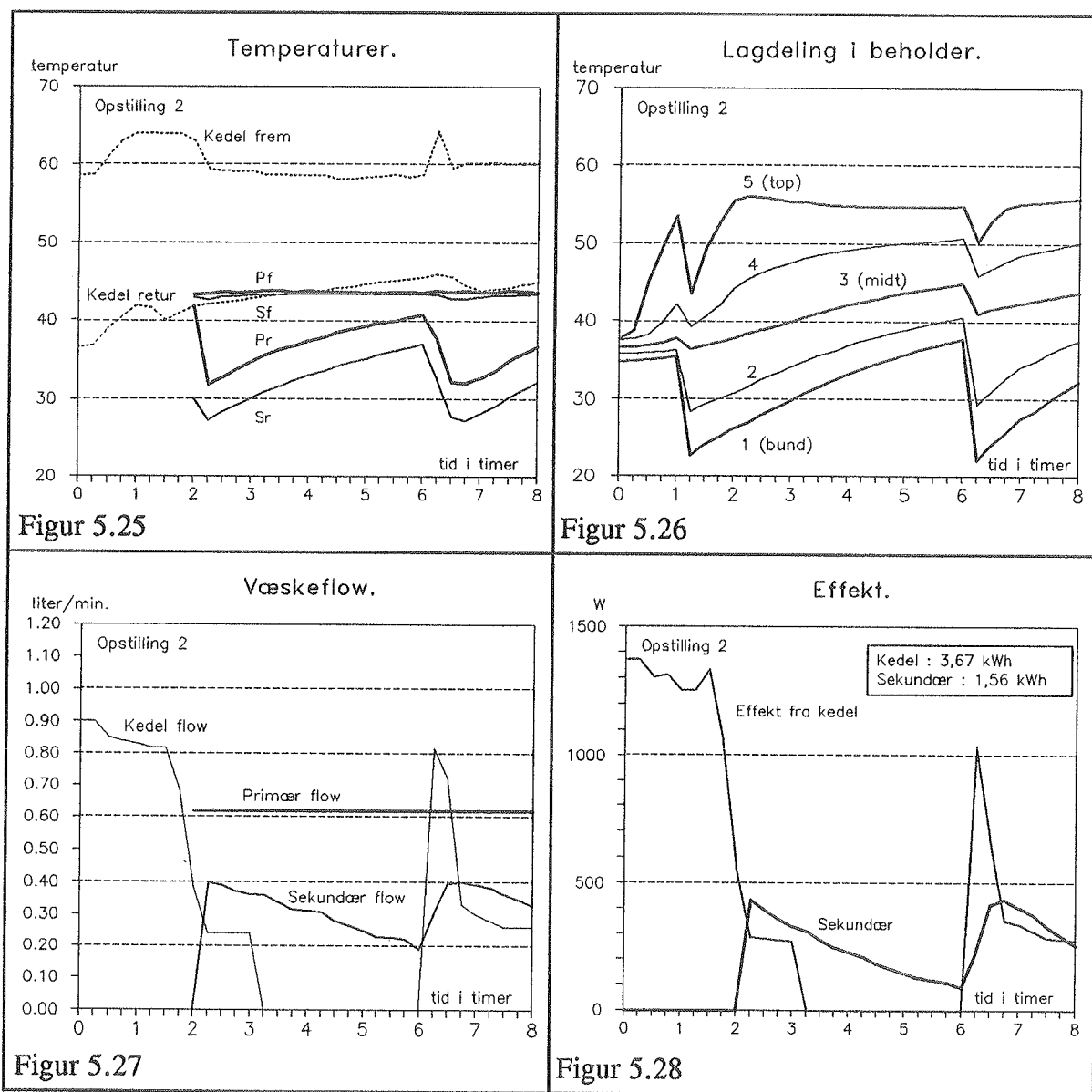


Figur 5.24

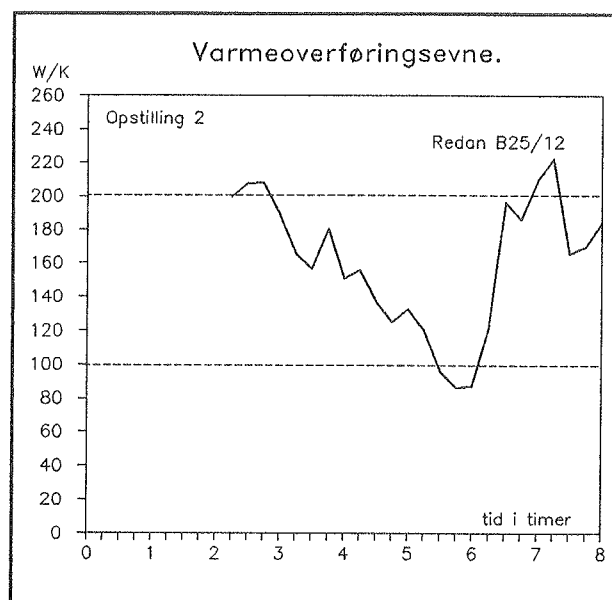
Sammenfatning af måling 5.

Ved at ændre placeringen af returløbet til kedlen, er det lykkedes at få en større lagdeling i beholderen. I figur 5.22 ses, at kedlen koncentrerer sig om at opvarme de to øverste lag af beholderen. Til gengæld bliver returtemperaturen til kedlen højere end i opstilling 1. Dette skyldes det mindre varmeoverførende areal mellem kappen og brugsvandet. Efter 6 timer lukker RAVV ventilen for varmetilførslen, fordi den ønskede temperatur er nået.

5.7 Måling 6



I dette forsøg er solfanger og kedel fælles om opvarmningen af brugsvandet. Kedlen opvarmer den øverste del og solfangeren den nederste. Fremløbstemperaturen for primærsiden (Pf) aflæses i figur 5.25 til ca. 43 °C. På trods af denne lave fremløbstemperatur afgiver primærsiden op til 400 W til sekundærsiden. Det skal bemærkes, at primærsiden først opstartes to timer inde i forsøget.

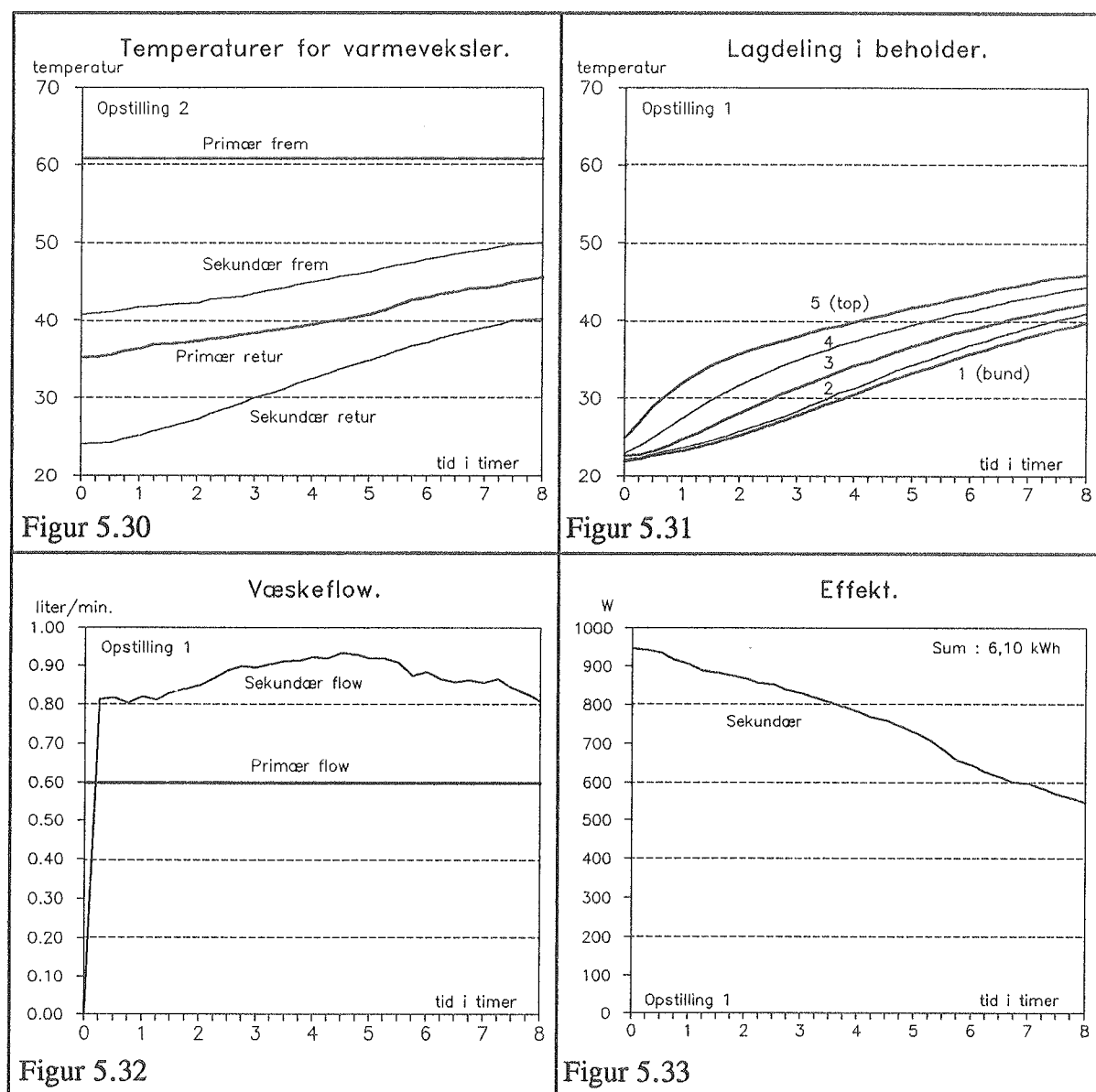


Figur 5.29 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

Sammenfatning af måling 6.

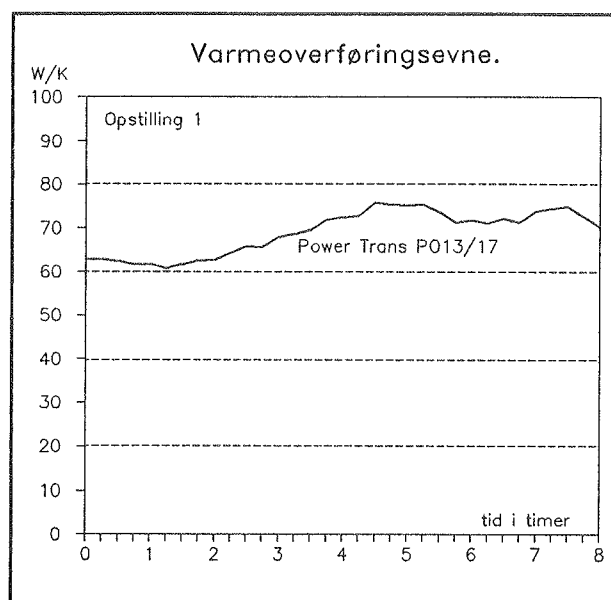
Måling 6 viser, at opstilling 2 er bedre end opstilling 1, når det gælder kombineret drift mellem solfanger og kedel. Temperaturlagdelingen i beholderen gør det muligt for solfangeren at forvarme det koldeste vand i beholderen, selv ved lave fremløbstemperaturer for primærkredsen (solfangeren).

5.8 Måling 7



I denne måleserie er Redan varmeveksleren udskiftet med en mindre pladevarmeveksler P013/17 fra firmaet Power Trans. Den mindre varmeveksler har et mindre tryktab. På figur 5.32 ses, at flow'et i den selvcirkulerende kreds er oppe på 0,93 l/min. Temperaturlagdelingen i beholderen er ikke særlig stor - ca. 10 K.

Effektafgivelsen under forsøget ses på figur 5.33. Effekten falder fra tilnærmelsesvis 950 W til 550 W ved forsøgets slutning.



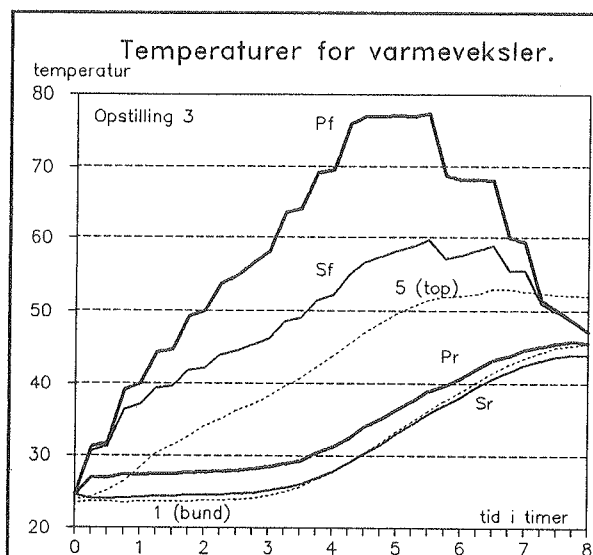
Figur 5.34 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

Varmeveksleren P013/17 har en hedeplade på $0,195 \text{ m}^2$. En middelværdi for varmeoverføringsevnen på ca. 70 W/K er repræsentativ for forsøget.

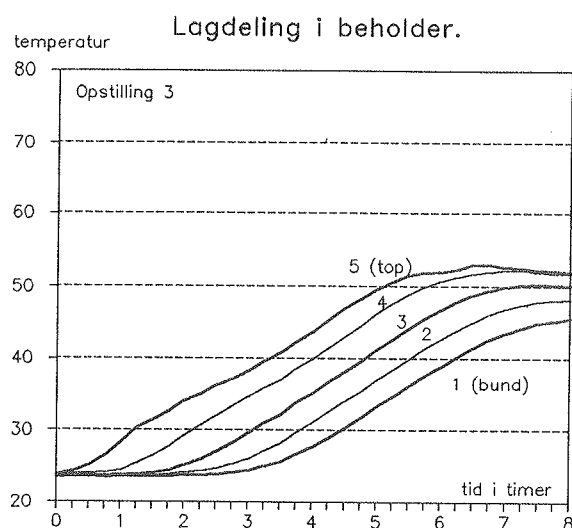
Sammenfatning af måling 7.

Forsøget forløber fint. Varmeroverføringsevnen for varmeveksleren er ikke så stor som for Redan B25/12.

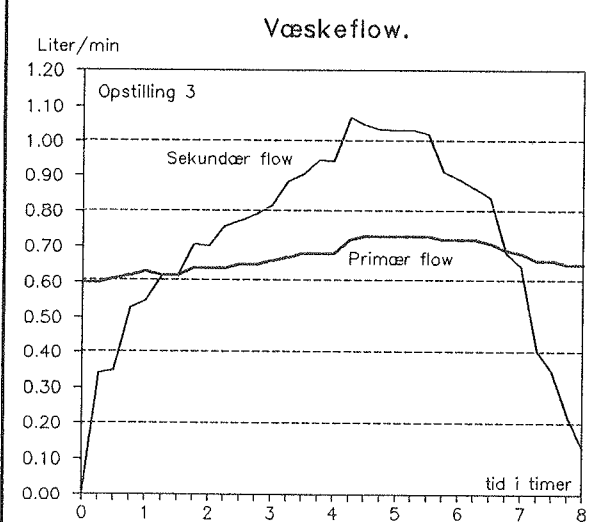
5.9 Måling 8



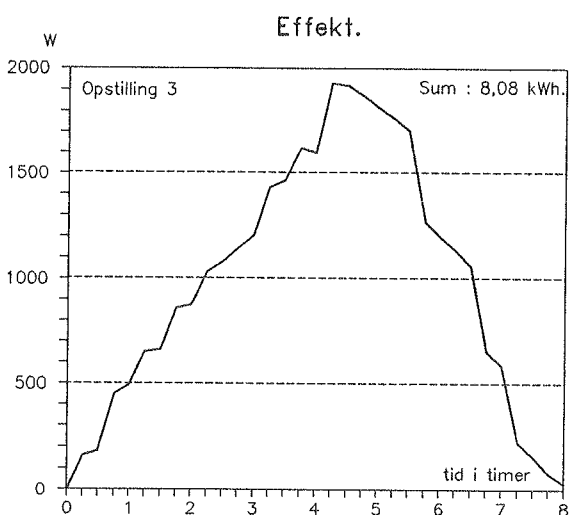
Figur 5.35



Figur 5.36



Figur 5.37



Figur 5.38

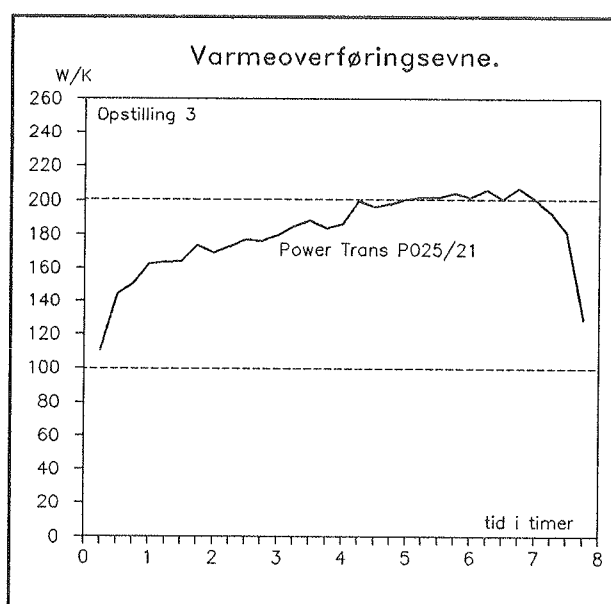
Måling 8, 9 og 10 viser måleresultaterne for opstilling 3. Varmevexleren er for disse 3 målinger Power Trans P025/21. Opstilling 3 kendetegnes ved varmeudveksling direkte til brugsvandet.

Måling 8 skal simulere en "sommerdag", hvor kun solfangeren står for opvarmningen af brugsvandet i beholderen. Figur 5.35 viser temperaturforholdene på primær- og sekundær-siden af varmeveksleren. Desuden er bund- og toptemperaturerne i beholderen stiplede ind til orientering. Fremløbstemperaturen Pf stiger fra 24 °C ved forsøgets start til ca. 77 °C efter 5 timer. Afkølingen på primærsiden stiger fra 0 K til ca. 40 K efter 5 timer.

Temperaturlagdelingen i beholderen ses på figur 5.36. Temperaturen i toppen af beholderen (5) stiger fra 24 °C til 53 °C efter 6 timer. Forskellen mellem temperaturen i bunden og toppen af beholderen er ca. 10 - 15 K.

Figur 5.37 viser flow'et på hver side af veksleren. Flow'et på primærsiden varierer lidt i forhold til fremløbstemperaturen men ligger på omkring 0,65 l/min. Idet den anvendte varmeveksler har et meget lille tryktab, når flow'et på sekundærsiden op på 1,05 l/min efter 5 timer. Det større flow på sekundærsiden medfører størst mulig afkøling på primærsiden. Forskellen mellem P_r og S_r bliver derfor kun ca. 4 K.

Figur 5.38 viser den beregnede nettoeffekt som sekundærkreden afgiver til varmtvandsbeholderen. Den maksimale effektafgivelse er ca. 1900 W. Den totale energitilførsel til beholderen er beregnet til 8,08 kWh.



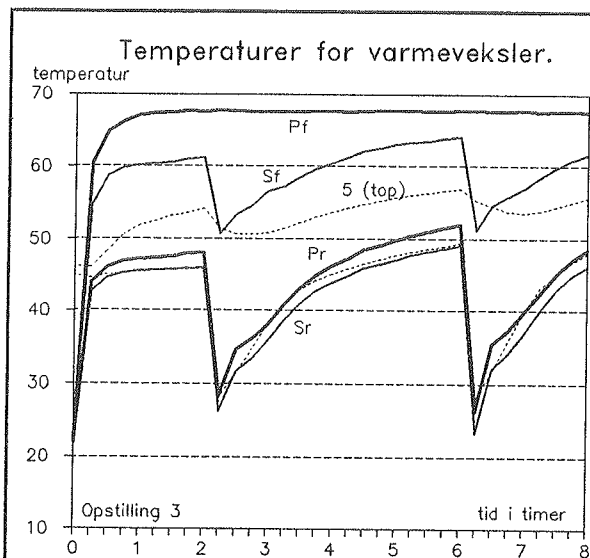
Figur 5.39 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

Pladevarmeveksleren er fabrikat Power Trans, type P025/21. Varmeoverføringsevnen stiger i forhold til fremløbstemperaturen og er efter 5 - 6 timer oppe på ca. 200 W/K.

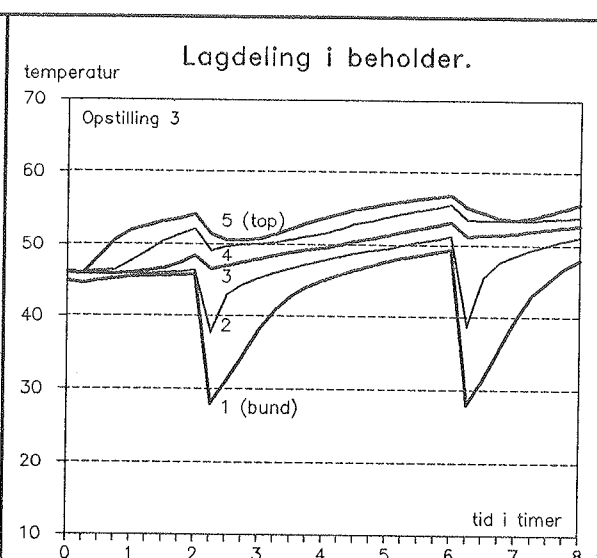
Sammenfatning af måling 8.

Ved solfangerdrift alene fungerer opstilling 3 på en tilfredsstillende måde. Forskellen mellem primær og sekundær retur er mindre end 4 K. Dvs. en meget god afkøling på primærsiden.

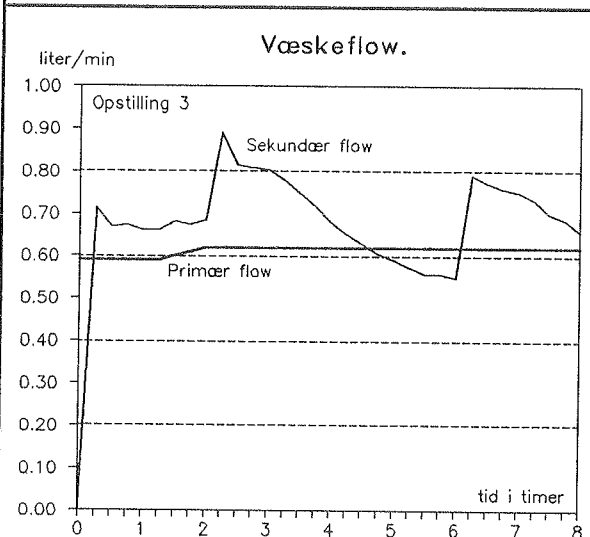
5.10 Måling 9



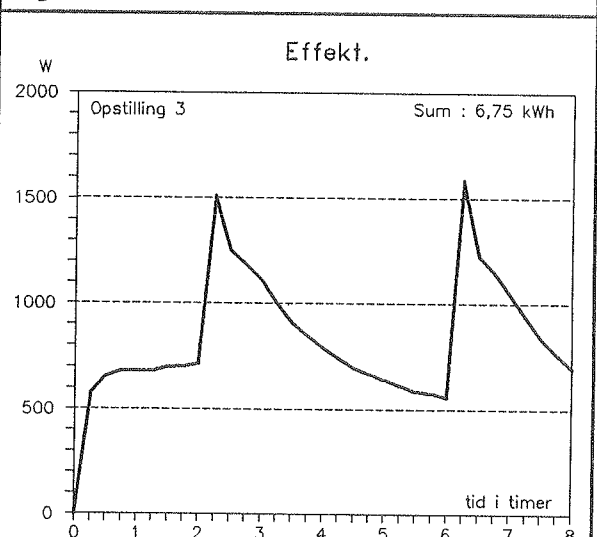
Figur 5.40



Figur 5.41



Figur 5.42



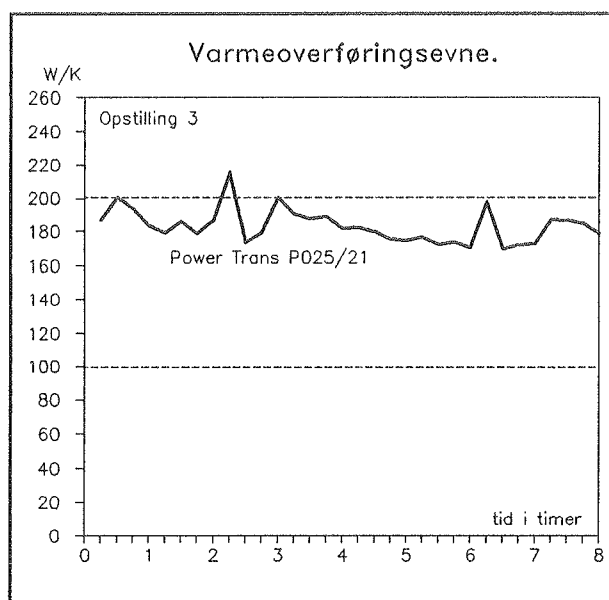
Figur 5.43

Under denne måling har solfangeren en konstant fremløbstemperatur P_f . Efter 2 og 6 timer tappes 50 liter varmt vand.

Figur 5.40 viser temperaturforholdene for varmeveksleren. Efter ca. 1 time er fremløbstemperaturen for primærsiden konstant på $67\text{ }^{\circ}\text{C}$. Under tapningerne er afkølingen på primærsiden ca. 40 K . På figur 5.43 ses, at denne afkøling resulterer i en effektafgivelse på ca. 1500 W . Under tapningerne falder S_f ikke under $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette viser, at det kolde brugsvand under tapningerne løber direkte til beholderen og ikke igennem varmeveksleren. Dette er en fordel, fordi opblanding mellem koldt og varmt vand i beholderen derved forhindres.

Temperaturlagdelingen i beholderen er vist på figur 5.41. Ved målingens start er beholder-temperaturen ca. 45 °C. Under tapningerne er det kun temperaturen i de to nederste målepunkter, der falder mere end 4 K. Dette bevirker, at der kan tappes brugsvand med næsten konstant temperatur.

Flow'et ses på figur 5.42. Primærflow'et er ca. 0,62 liter/min, hvorimod sekundærflow'et normalt ligger højere - specielt efter tapningerne.



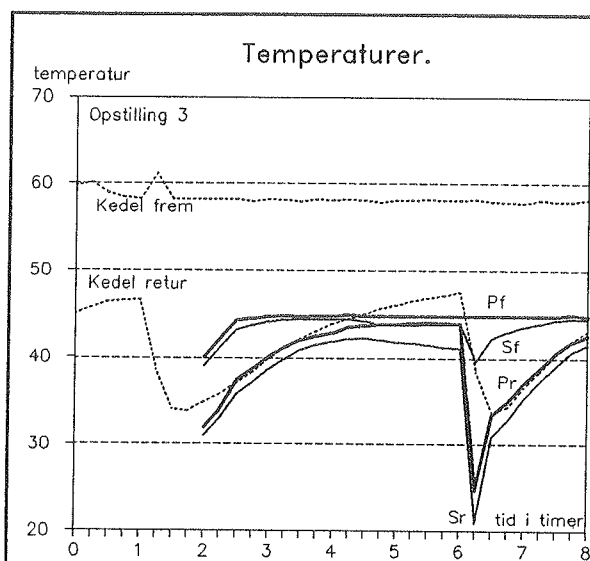
Figur 5.45 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

I de tidsrum, hvor flow'et på begge sider er ens, aflæses varmeoverføringsevnen til ca. 175 W/K. Dette giver en varmeovergangskoefficient på $370 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, idet varmevekslerens hedeflade er på $0,475 \text{ m}^2$.

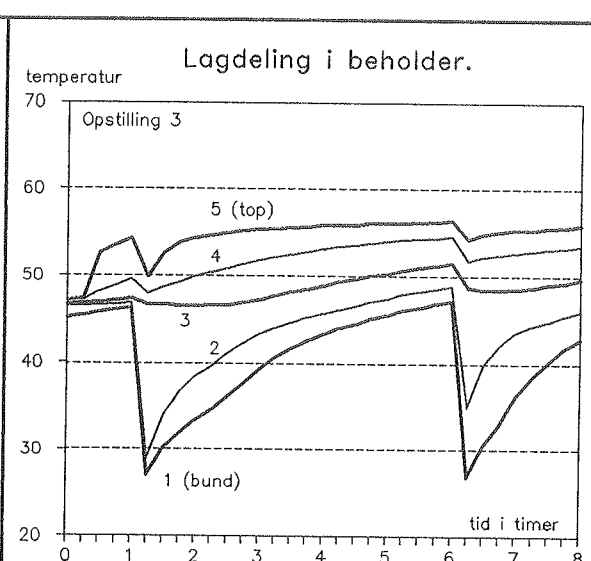
Sammenfatning af måling 9.

Der sker ingen nævneværdig opblanding mellem det kolde og varme vand under tapningerne. Varmeoverføringsevnen for den anvendte varmeveksler er ca. 175 W/K.

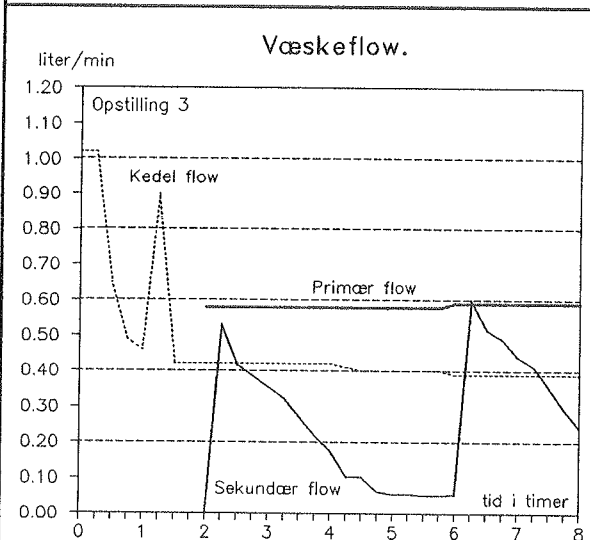
5.11 Måling 10



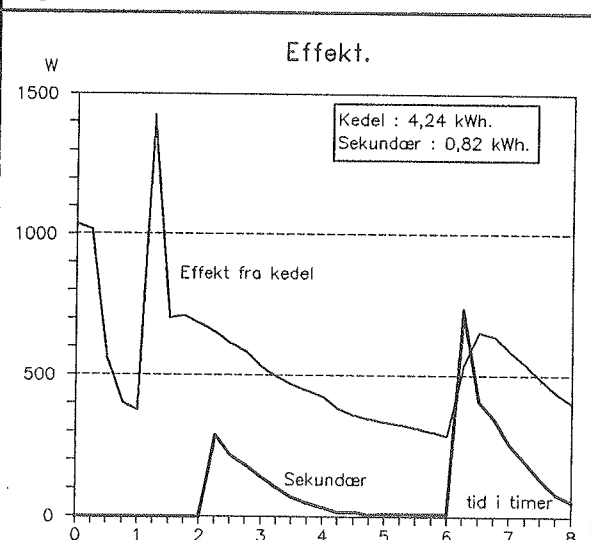
Figur 5.46



Figur 5.47



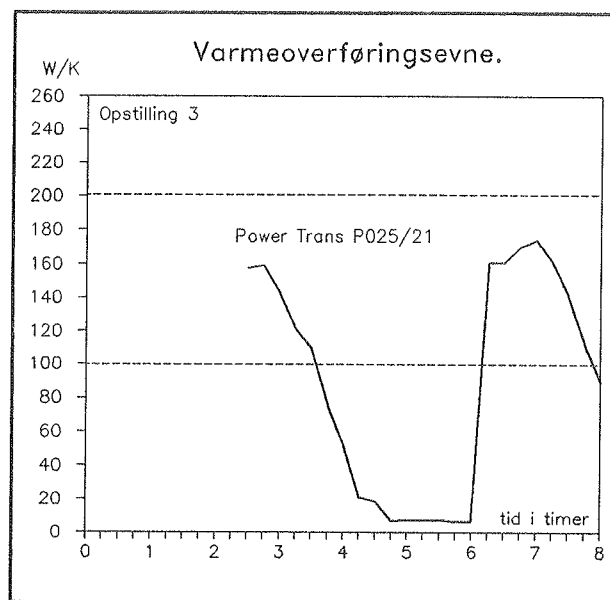
Figur 5.48



Figur 5.49

I dette forsøg er solfanger og kedel fælles om opvarmningen af brugsvandet. Under denne måling har solfangeren en lav fremløbstemperatur P_f på ca. 45°C . Efter 1 og 6 timer tappes 50 liter varmt vand. Det skal bemærkes, at solfangeren først opstartes to timer inde i forsøget.

I "vintersituationen" har solfangeren vanskeligt ved at forvarme det koldeste vand i beholderen. Dette er tilfældet, fordi kedlen prøver at opvarme hele beholderen. Kun omkring tapingerne har solfangeren mulighed for at afgive energi til beholderen.



Figur 5.50 Varmeoverføringsevne for varmeveksler.

Sammenfatning af måling 10.

Heldigvis ligger den mindste del af solvarmeanlæggets produktion i vintermånederne. Denne måling viser, at kedlen prøver at opvarme hele beholderen. Kun ved tapningerne har solvarmeanlægget en kortvarig mulighed for at forvarme det koldeste vand i beholderen.

5.12 Sammenfatning af målinger

Forsøgene har vist, at varme kan overføres fra solfangerkredsen til den vandretliggende kappebeholder på en tilfredsstillende måde ved selvcirkulation i kredsen mellem den eksterne varmeveksler og kappebeholderen.

Flow'et i den selvcirkulerende kreds er omtrent lige så stort som flow'et i solfangerkredsen.

Varmeveksleren Redan B25/12 har en varmeoverføringsevne på ca. 180 W/K, hvorimod den mindre varmeveksler Power Trans P013/17 kun når op på ca. 70 W/K. Power Trans P025/21 har vist sig at have en varmeoverføringsevne på ca. 175 W/K.

Opstilling 2, hvor vandet til kedlen føres retur fra midten af kappen, er mere velegnet end opstilling 1 og 3, hvor vandet føres retur til kedlen fra bunden af kappen, når det gælder den kombinerede drift mellem solfanger og kedel. Dette skyldes den bedre temperaturlagdeling i beholderen.

En forbedret styring af varmeafgivelsen fra kedlen må dog formodes at kunne sikre en forbedret temperaturlagdeling i beholderen, så den kombinerede kedel- solfangerdrift forbedres.

6 BEREGNINGSPROGRAMMET EMGP2

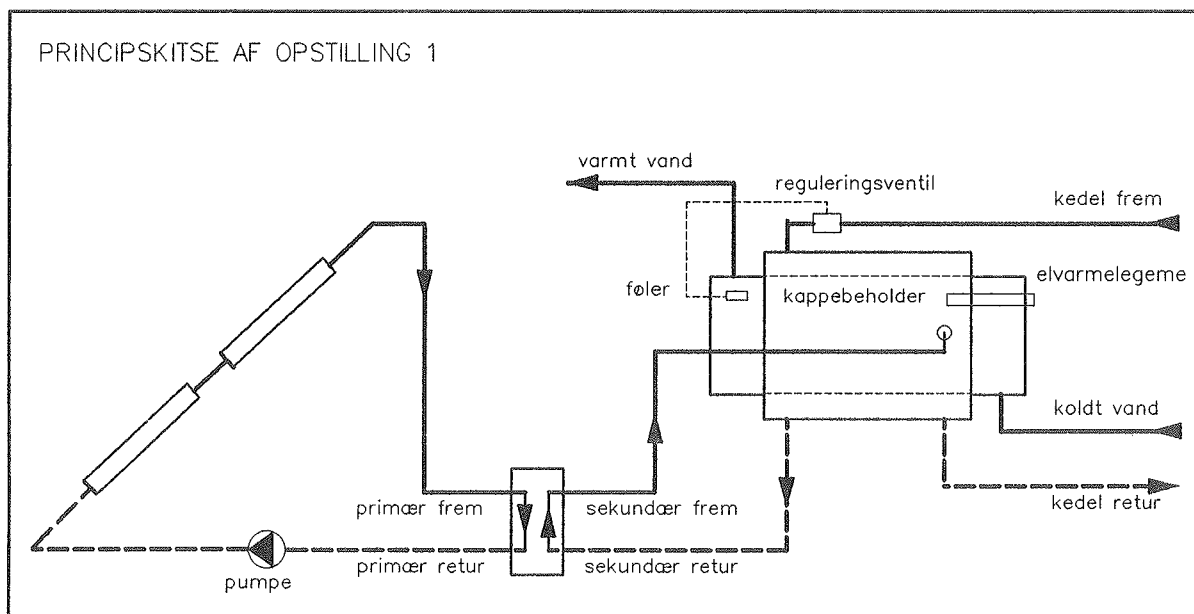
EMGP2, se [8], er et beregningsprogram, der kan anvendes til at beregne nettoydelsen for solvarmeanlæg. EMGP2 er forkortelsen for European Modelling Group Program 2.

Programmet er delt op i to dele. Et indtastningsprogram EMGP2P og selve beregningsprogrammet EMGP2. I indtastningsprogrammet angives tekniske data for bl.a. solfanger, rør, varmeveksler, varmtvandsbeholder, ventiler og følere. Endvidere indtastes det daglige varmtvandsforbrug samt oplysninger om, hvilken suppleringsvarme der anvendes.

Formålet med EMGP2 beregningerne er at beregne de energimængder, som årligt tilføres, tappes og afgives fra varmtvandsbeholderne i opstillingerne 1, 2 og 3 samt det traditionelle anlæg.

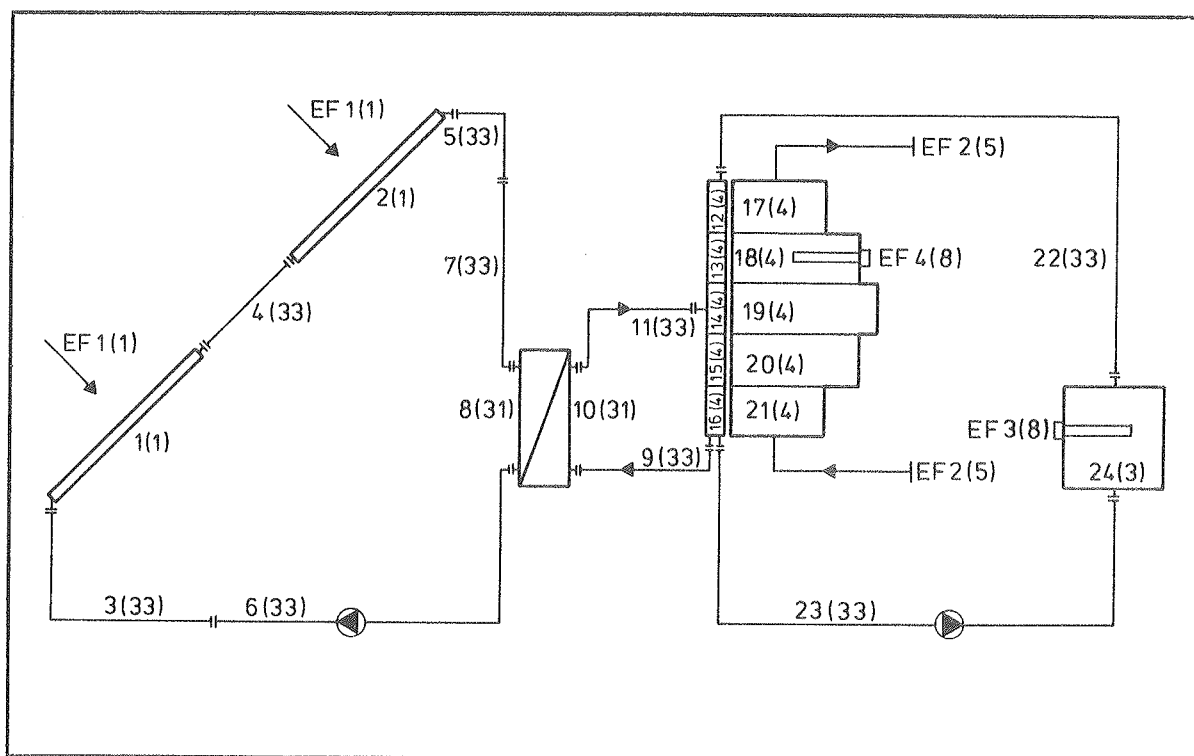
I det følgende gennemgås et eksempel på indtastningsproceduren i EMGP2. Opstilling 1 er valgt som eksempel.

En principskitse af opstilling 1 er vist på figur 6.1.



Figur 6.1 Principskitse af opstilling 1.

I indtastningsprogrammet opstilles en elementopbygget model af anlægget. Modellen opbygges af elementer, eksterne funktioner og controlere.



Figur 6.2 Model af opstilling 1 i EMGP2.

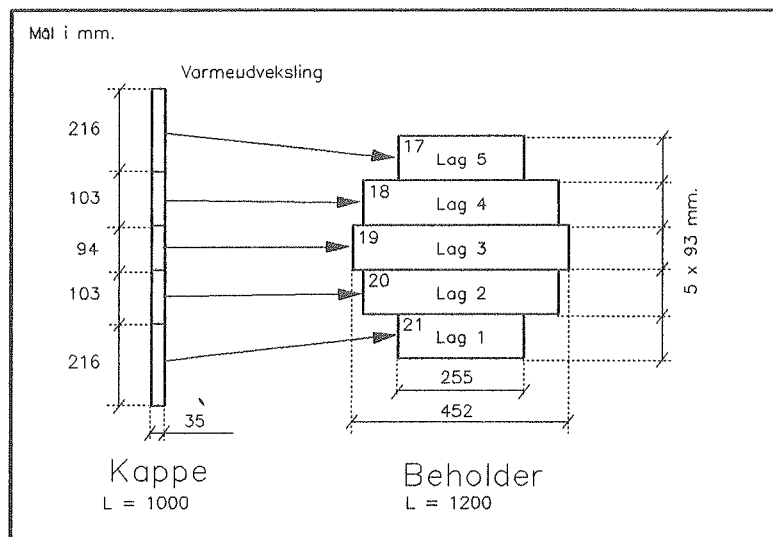
I figur 6.2 angiver tallet foran parentesen nummeret på elementet eller den externe funktion. Element- eller funktionstypen er angivet i parentesen. Eksempelvis er (4) et element i en stratificeret varmtvandsbeholder, (31) et varmevekslerelement og (33) et rørelement.

Primærkredsen (solfangerkredsen) er opbygget af solfangerelementerne 1(1) og 2(1) plus rørelementerne 3(33), 4(33), 5(33), 6(33) og 7(33), hvor der i element 6(33) indgår en pumpe. Desuden er der en varmeveksler, hvor primærsiden har elementnummer 8(31).

Rørstrækningen mellem solfanger 2(1) og varmeveksler 8(31) er delt op i to rør. Rør 5(33) er placeret udendørs, mens rør 7(33) er placeret indendørs ved en rumtemperatur på 20 °C. Grunden til denne opdeling skal findes i beregningen af rørenes varmetab.

Sekundærkredsen består af rør 9(33) og 11(33) samt sekundærsiden af varmeveksleren, element 10(31). På sekundærsiden er der ingen pumpe, men flow'et skal alligevel defineres, fordi programmet ikke kan regne på naturlig cirkulation.

Den vandretliggende varmtvandsbeholder er opbygget som to beholdere, der udveksler varme med hinanden. Dette er nødvendigt, fordi EMGP2-programmet ikke har en kappebeholder som standardelement, se [9]. Udvekslingen sker ved at indtaste en varmeoverføringsevne for hvert element i beholderne. Beholderen, der fungerer som kappe, er opdelt i fem lag med elementnumrene 12(4) - 16(4). Varmtvandsbeholderen er ligeledes opbygget af fem lag med elementnumrene 17(4) - 21(4). Ved denne opbygning er det hensigten at få temperaturlagdelingen i beholderen med i beregningerne.



Figur 6.3 Opbygning af kappebeholder i EMGP2.

Kedelkredsen består af to rørelementer 22(33) og 23(33) og en ustratificeret vandbeholder, element 24(3).

EF er forkortelsen for en extern funktion. EF 1(1) er en funktion, som påfører solstråling på solfangerne. I dette tilfælde anvendes vejrdato fra det danske referenceår.

EF 2(5) udfører en tapning på 200 liter pr. døgn fra varmtvandsbeholderen.

EF 3(8) er et elvarmelegeme, der opvarmer element 24(3). EF 3(8) og element 24(3) udgør tilsammen en kedel. Kedelen er kun i drift i fyringssæsonen fra den 23. september til og med den 9. maj.

Varmtvandsbeholderen opvarmes i sommerperioden af et elvarmelegeme EF 4(8)

Controlere forkortes CON. Controlerne styrer, hvornår de forskellige elementer og eksterne funktioner er i funktion. Eksempelvis er CON 1 en differenstermostat, der igangsætter primær- og sekundærkredsen, når solfanger 2(1) er 10 K varmere end nederste lag i varmtvandsbeholderen, element 21(4). CON 1 afbryder cirkulationen i kredsene, når temperaturdifferensen er mindre end 5 K. Controlerne er ikke angivet på figuren.

Modellen er opbygget, og EMGP2 kan nu udføre beregningerne.

7 MÅLING OG EMGP2 BEREGNING

I kapitel 5 er måleresultaterne fra forsøgene vist. Fem af disse måleserier er udvalgt og sammenlignet med EMGP2 beregninger. Dette gøres ved at udføre fem beregninger med de samme driftsbetingelser som for måling 2, 3, 5, 6 og 9.

Ved at sammenligne de målte og beregnede værdier, vil det fremgå, om EMGP2 programmet efterligner virkeligheden på en tilfredsstillende måde.

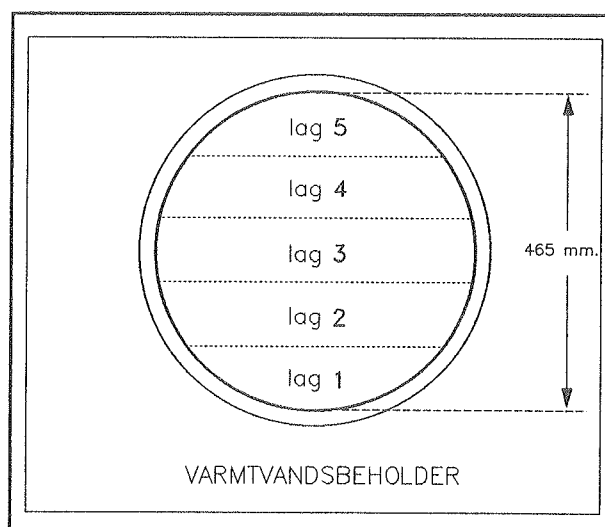
Der opbygges en EMGP2 model for hver af disse fem måleserier. De enkelte driftsbetingelser er på bedste vis medtaget i de enkelte modelopbygninger. Forenklinger er dog nødvendige.

Dette er bl.a. gjort ved at definere et konstant flow i primær- og sekundærkredsene samt en konstant varmeoverføringsevne for varmeveksleren. I målingerne er flow'et og varmeoverføringsevnen ikke konstant, men middelværdier er anvendt i programmet.

Målingerne 2, 3, 5, 6 og 9 er udvalgt, fordi disse giver et godt sammenligningsgrundlag for de enkelte opstillinger og driftssituationer.

Varmeoverføringsevnen mellem kappen og brugsvandet er vanskelig at bestemme. Varmeoverføringsevnen skal angives for hvert lag i kappen. Følgende værdier er skønnet og anvendt i programmet :

Lag 1 : 60 W/K
Lag 2 : 45 W/K
Lag 3 : 35 W/K
Lag 4 : 45 W/K
Lag 5 : 60 W/K



Figur 7.1 Tværsnit af beholder.

Dette giver i alt en varmeoverføringsevne på 245 W/K for hele kappen, hvis varmeoverførende areal er $1,0 \text{ m}^2$. Varmeoverføringsevnen er skønnet størst for lag 1 og lag 5, da disse lag har de største varmeoverførende arealer.

EDB-programmet gør det ikke muligt at taget højde for, at størrelsen af varmeoverførings- evnen varierer efter lagertemperaturen og driftsforholdene i øvrigt.

I figur 7.2 ses driftsbetingelserne for de udvalgte målinger. Driftsbetingelserne er nøjere beskrevet i kapitel 5.

Måling	Driftsbetingelser
2	Opstilling 1 - solfangerdrift
3	Opstilling 1 - kedelopvarmning
5	Opstilling 2 - kedelopvarmning
6	Opstilling 2 - kombineret drift
9	Opstilling 3 - solfangerdrift

Figur 7.2 Driftsbetingelser for målingerne.

På de efterfølgende figurer ses de målte og beregnede værdier for de udvalgte måleserier.

Det beregnede temperaturforløb er i figurerne vist med en stiptet linie.

Ikke samtlige temperaturmålinger er medtaget i de enkelte sammenligninger. Dette er gjort for at gøre figurerne mere overskuelige.

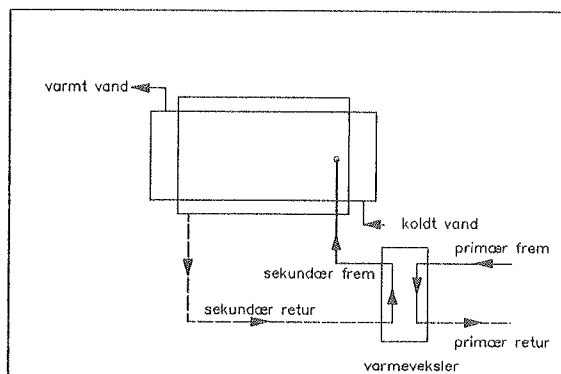
7.1 Sammenligning 1

Denne sammenligning gælder måling 2.

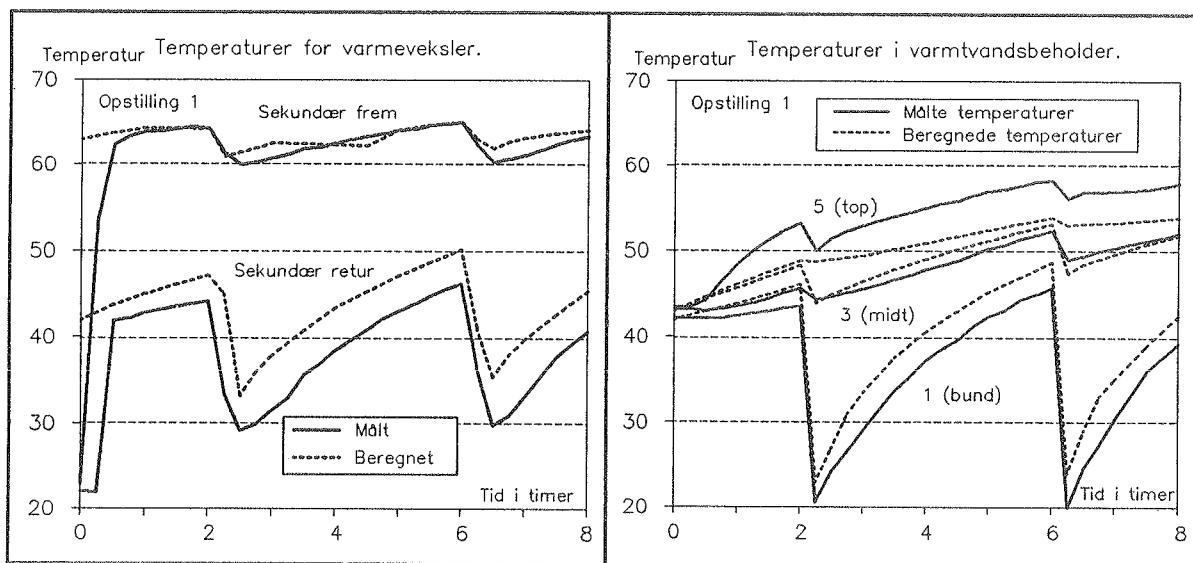
Driftsbetingelser :

Konstant fremløbstemperatur på primærsiden.

To tapninger à 50 liter.



Figur 7.3 Principskitse af måling 2.



Figur 7.4 Sekundær frem\retur.

Figur 7.5 Beholdertemperaturer.

Figur 7.5 viser, at de beregnede temperaturer for det nederste lag (1) er 2-4 K større end de målte. Derimod ligger den beregnede toptemperatur (5) ca. 4 K under den målte temperatur. Figur 7.4 viser, at de beregnede temperaturer for sekundær retur er ca. 4 - 6 K større end de målte. Dette hænger sammen med, at programmet beregner en større temperatur i beholderbunden end den målte (se figur 7.5).

Den tilførte energimængde til varmtvandsbeholderen er beregnet til 6,69 kWh og målt til 7,59 kWh. Den mindre beregnede energimængde er en følge af den højere beregnede temperatur for sekundær retur.

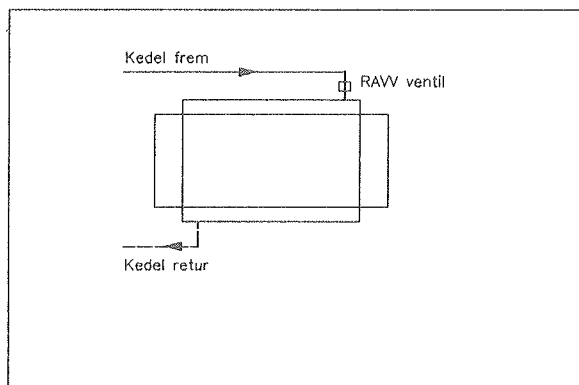
Grunden til, at de beregnede temperaturer i beholderen afviger 2-4 K fra de målte, er bl.a., at EMGP2 ikke tager højde for de komplicerede og for solvarmeanlæg fordelagtige strømninger, der foregår i kappen. Det må derfor forventes, at den beregnede anlægsydelse bliver noget mindre end anlæggets virkelige ydelse.

7.2 Sammenligning 2

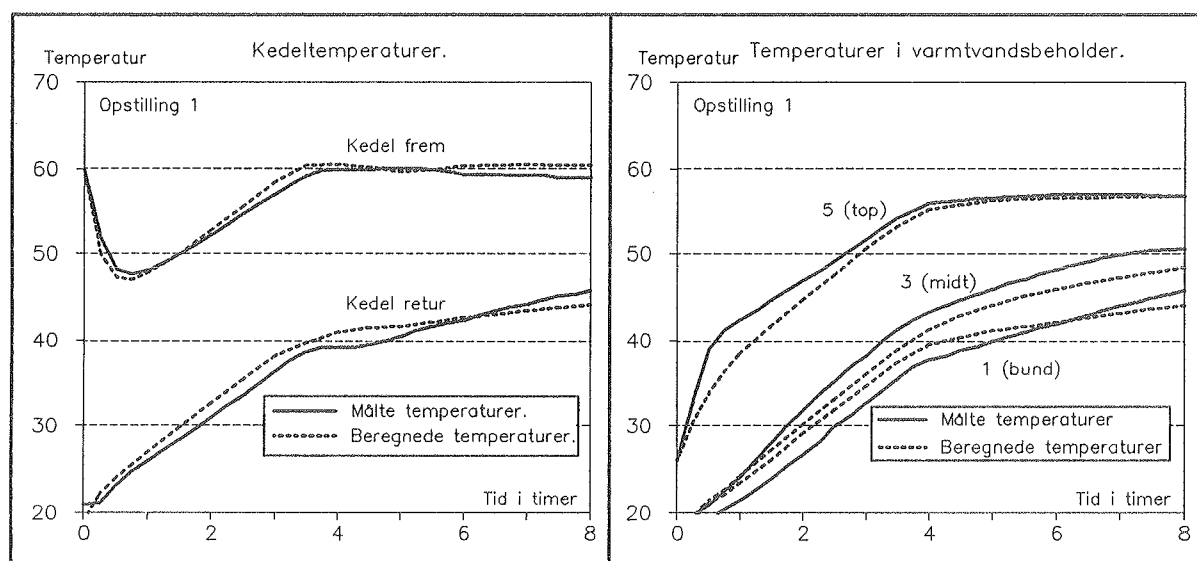
Sammenligningen gælder måling 3.

Driftsbetingelser:

Kun kedelopvarmning.



Figur 7.6 Principskitse af måling 3.



Figur 7.7 Kedel frem\retur.

Figur 7.8 Beholdertemperaturer.

De beregnede kedeltemperaturer er vist på figur 7.7. De målte og beregnede temperaturer viser god overensstemmelse med en maksimal afvigelse på 2 K.

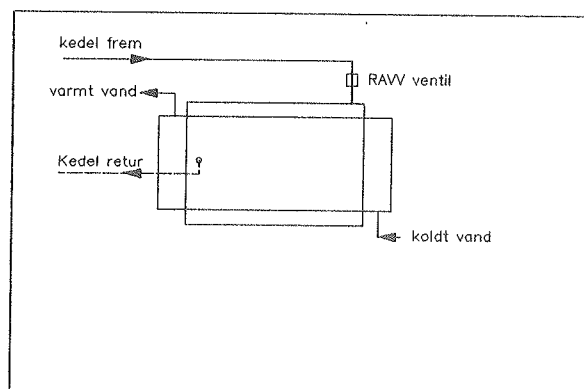
Figur 7.8 viser temperaturerne for lag 1, 3 og 5. De målte temperaturer i lag 5 ligger de første 4 timer ca. 3 K over de beregnede. Efter 4 timer stemmer temperaturerne overens.

Energitilførslen er ikke målt, fordi målingen har til hensigt at vise temperaturlagdelingen i beholderen.

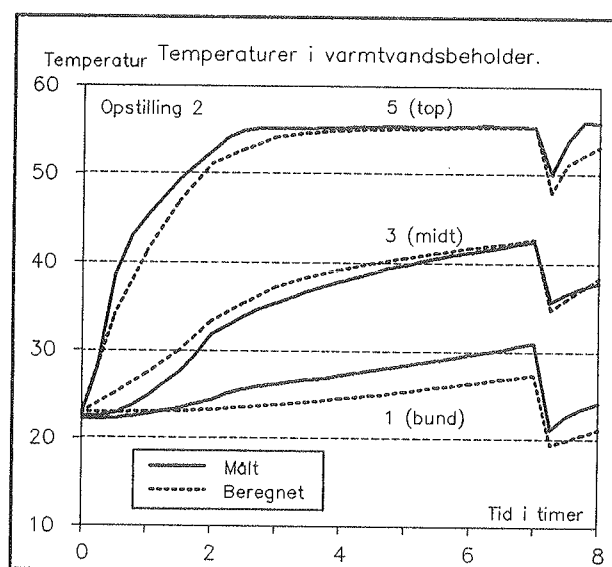
7.3 Sammenligning 3

Sammenligning for måling 5.

Driftsbetingelser:
Kun kedelopvarmning.
En tapning à 50 liter.



Figur 7.9 Principskitse af måling 5.



Figur 7.10 Beholdertemperaturer.

Energitilførslen til varmtvandsbeholderen er beregnet til 6,28 kWh og målt til 5,56 kWh. En afvigelse på 13 %. Efter 7 timer tappes 50 liter varmt vand.

Kedeltemperaturerne er ikke vist, men afvigelsen mellem de beregnede- og målte temperaturer er maksimalt 4 K.

Der er i alle beregningerne korrigeret for stålets varmeledning i beholderen. Alligevel er den beregnede temperaturstigning i 1 (bund) kun ca. halvt så stor som den målte.

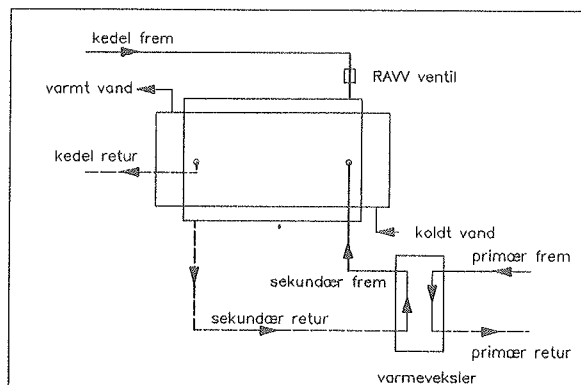
7.4 Sammenligning 4

Denne sammenligning gælder måling 6.

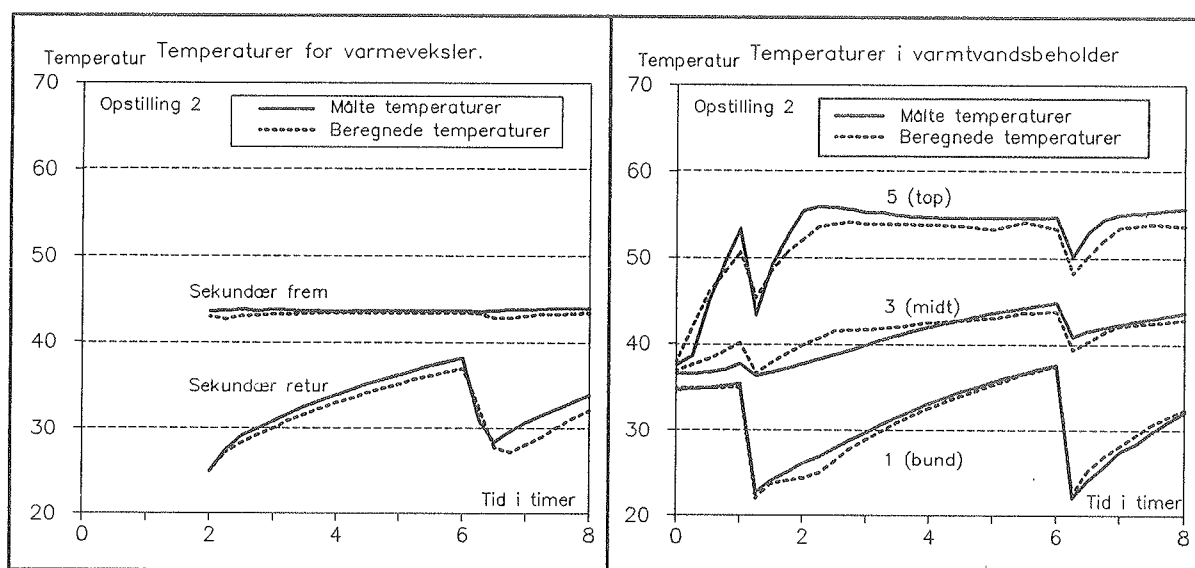
Driftsbetingelser:

Først to timers kedelopvarmning, derefter kombineret drift.

To tapninger à 50 liter.



Figur 7.11 Principskitse af måling 6.



Figur 7.12 Sekundær frem\retur.

Figur 7.13 Beholdertemperaturer.

Figur 7.12 viser, at i de første 6,5 timer er de beregnede temperaturer for sekundær retur ca. 1 K under de målte. Efter de 6,5 timer ligger de beregnede temperaturer for sekundær retur omkring 3 K under de målte.

I figur 7.12 er temperaturerne for primær frem og primær retur også udeladt af hensyn til overskueligheden. Det skal nævnes, at de beregnede temperaturer for primær frem og retur ligger tæt ved de målte værdier.

Figur 7.13 viser beholdertemperaturerne. De fire første timer er de beregnede temperaturer for lag 3(midt) større end de målte. Afvigelsen er maksimalt 3 K. Efter 4 timer er de beregnede temperaturer for laget ca. 1 K under de målte.

Tilført energi til varmtvandsbeholder fra	Beregnet kWh	Målt kWh
Solfanger	1,34	1,55
Kedel	4,17	3,67
Ialt	5,51	5,22

Figur 7.14 Energitilførsel til varmtvandsbeholder.

Figur 7.14 viser, at energimængden fra solfanger til varmtvandsbeholder er beregnet til 1,34 kWh og målt til 1,55 kWh.

Den samlede tilførte energi til beholderen er beregnet til 5,51 kWh og målt til 5,22 kWh, dvs. en afvigelse på ca. 6 %.

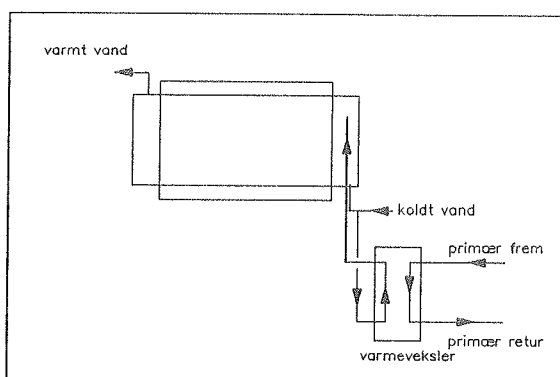
7.5 Sammenligning 5

Sammenligning for måling 9.

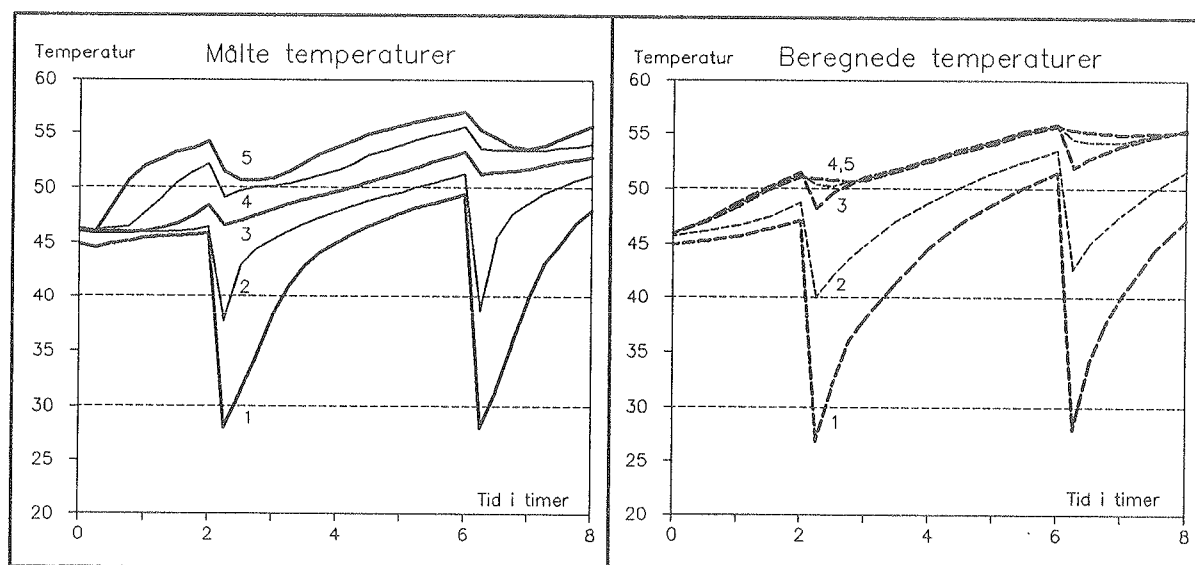
Driftsbetingelser :

Konstant fremløbstemperatur på primærsiden.

To tapninger à 50 liter.



Figur 7.15 Principskitse af måling 9.



Figur 7.16 Målte temperaturer i beholder Figur 7.17 Beregnede temperaturer i beholder

For at gøre sammenligningen mere overskuelig ses de målte temperaturer på figur 7.16 og de beregnede på figur 7.17.

Der er i beregninger gjort den tilnærmelse / forenkling, at sekundær retur kommer fra lag 1 og føres tilbage til lag 3 efter opvarmningen. Dette medfører i beregningerne, at lag 3, 4 og 5 tilnærmelsesvis vil have samme temperatur.

Målingerne viser en større temperaturlagdeling blandt de tre øverste lag, end beregningerne gør. Dette er tilfældet, fordi fremløbstemperaturen for sekundærkredsen er ca. 5 K større end temperaturen i toppen af beholderen. Dette medfører, at sekundærkredsen vil afgive størstedelen af varmen højere oppe end lag 3, som det er forudsat i beregningerne. Disse forhold bevirker, at den virkelige anlægsydelse vil være noget større end den beregnede anlægsydelse.

Energiafgivelsen over de 8 timer er beregnet til 6,34 kWh og målt til 6,75 kWh.

Temperaturforholdene i varmeveksleren viser god overensstemmelse med en maksimal afvigelse på 4 K. Figurer, der viser dette, er ikke medtaget i rapporten.

7.6 Sammenfatning

Temperaturlagdelingen i varmelageret er noget større i virkeligheden, end beregningerne viser. Derfor må det forventes, at den beregnede anlægsydelse er noget mindre, end anlæggets virkelige ydelse.

Det ligger udenfor dette projekts rammer at udarbejde en mere detaljeret model, som stemmer bedre overens med virkeligheden. Da de beregnede lagertemperaturer trods alt stemmer rimeligt overens med de målte temperaturer, og da forskellene mellem målte og beregnede energimængder også er forholdsmæssige små, regnes der i det fortsatte arbejde videre med den beskrevne model.

8 BEREGNINGSRESULTATER FRA EMGP2

Efter at EMGP2P modellen er fundet tilfredsstillende, foretages de egentlige årsberegninger. Formålet med beregningerne er bl.a. at bestemme, hvor meget opstillingerne 1, 2 og 3 yder i forhold til det traditionelle anlæg. Solvarmeanlæggenes nettoydelse vil blive sammenlignet ved forskellige parametervariationer.

Nettoydelsen beregnes som i [6]. Anlæggets årlige nettoydelse Q_{netto} defineres som den tapte energimængde fra varmtvandsbeholderen minus samlet energiforbrug.

$$Q_{\text{netto}} = Q_{\text{brutto}} - Q_{\text{pumpe}} - Q_{\text{sup,s}} - Q_{\text{sup,v}}$$

Q_{brutto}	Bruttoydelsen (tappet energimængde)
Q_{pumpe}	Energiforbrug til pumpe
$Q_{\text{sup,s}}$	Energiforbrug til evt. sommersupplering
$Q_{\text{sup,v}}$	Energiforbrug til evt. vintersupplering

I et solvarmeanlæg vil nettoydelsen være mindre end solfangernes energitilførslen til varmtvandsbeholderen. Dette skyldes, at noget af den tilførte energi går tabt i form af varmetab fra beholderen.

Hvis ikke andet er nævnt, er beregninger bl.a. foretaget ud fra følgende forudsætninger :

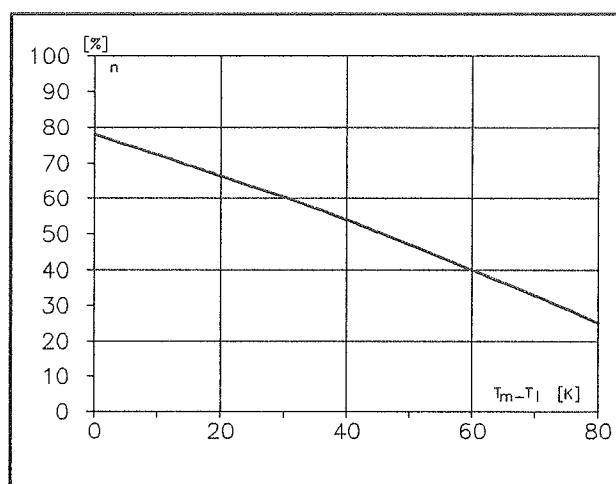
SOLFANGER	- Sydvendt med en hældning på 45 ° - Transparent areal : 4,32 m² - Varmekapacitet incl. væske : 10 kJ/(m² K) - Effektivitetskurve vist på figur 8.1
FLOW	- 0,15 l/(min m²) for anlæg med ekstern varmeveksler - 1,00 l/(min m²) for det traditionelle anlæg
LAGER	- 200 l varmtvandsbeholder - Varmetabskoefficient : 2,5 W/K
VARMEVEKSLER	- Varmeoverføringsevne : 180 W/K
SUPPLERINGSVARME	- Termostatindstilling i top af beholder : 45 °C - Kedelopvarmning i fyringssæsonen - Elopvarmning uden for fyringssæsonen - Opstilling 1, 2 og det traditionelle anlæg har et indbygget elvarmelegeme, der opvarmer de øverste ca. 75 l vand i beholderen. Opstilling 3 har derimod en serieforbundet elvandvarmer, der sørger for ekstra opvarmning uden for fyringssæsonen.
VARMTVANDSFORBRUG	- 200 l/døgn der opvarmes fra 10 °C til 45 °C

VEJRDATA

- Vejrdato fra det danske referenceår TRY
- Fyringssæson : 26/9 - 9/5

Batec solfangere er benyttet med følgende data.

Starteffektivitet η_0	:	0,78
Varmetabskoefficient k_0	:	4,40
Varmetabskoefficient k_1	:	0,011



Figur 8.1 Effektivitetskurve for Batec solfanger. Fra [7].

Effektivitetskurven på figur 8.1 viser solfangerens effektivitet som funktion af forskellen mellem solfangervæskens middeltemperatur T_m og udetemperaturen T_i . Jo større denne forskel bliver, jo lavere bliver effektiviteten. Ved en forskel på 30 K er solfangerens effektivitet ca. 60 %. Kurven på figur 8.1 gælder for en bestrålingsstyrke på 800 W/m^2 .

8.1 Sammenligning for fire anlægstyper

Der er bl.a. udført beregninger for opstilling 1, 2, 3 og det traditionelle anlæg. Beregningerne er foretaget med forskellige solfangerarealer, lagerstørrelser og lagervarmetab.

1. $4,32 \text{ m}^2$ solfangerareal
2. $6,48 \text{ m}^2$ solfangerareal
3. 300 liters varmtvandsbeholder
4. Kuldebro i toppen af varmtvandsbeholderen på ekstra 3 W/K

I beregningerne er der anvendt en pumpe på 35 W, hvor halvdelen af effekten overføres til varmemediet i solfangerkredsen.

Den årlige nettoydelse er vist på efterfølgende figurer.

Anlæg	Q _{brutto} kWh	Q _{sup,v} kWh	Q _{sup,s} kWh	Q _{pumpe} kWh	Q _{netto} kWh	Index -
1	2971	1599	347	73	952	0,70
2	2971	1488	347	76	1060	0,77
3	2971	1557	190	71	1153	0,84
Traditionelt	2971	1289	244	69	1369	1

Figur 8.2 Årlig beregning af nettoydelsen for et 4,32 m² solvarmeanlæg (reference).

Anlæg	Q _{brutto} kWh	Q _{sup,v} kWh	Q _{sup,s} kWh	Q _{pumpe} kWh	Q _{netto} kWh	Index -
1	2971	1464	224	69	1214	0,77
2	2971	1358	225	71	1317	0,83
3	2971	1419	105	65	1382	0,87
Traditionelt	2971	1162	156	67	1586	1

Figur 8.3 Årlig beregning af nettoydelsen for et 6,48 m² solvarmeanlæg.

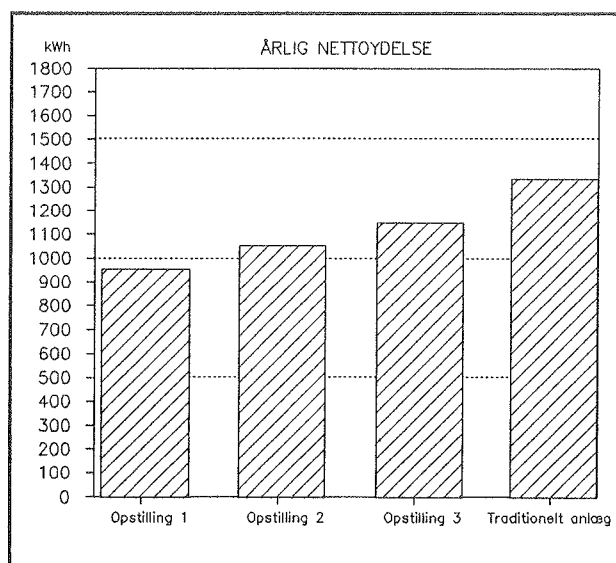
Anlæg	Q _{brutto} kWh	Q _{sup,v} kWh	Q _{sup,s} kWh	Q _{pumpe} kWh	Q _{netto} kWh	Index -
1	2971	1578	316	73	1004	0,70
2	2971	1467	316	76	1112	0,77
3	2971	1531	169	71	1200	0,83
Traditionelt	2971	1259	203	68	1441	1

Figur 8.4 Årlig beregning af nettoydelsen for solvarmeanlæg med 300 liters beholder.

Anlæg	Q _{brutto} kWh	Q _{sup,v} kWh	Q _{sup,s} kWh	Q _{pumpe} kWh	Q _{netto} kWh	Index -
1	2971	2077	572	72	250	0,31
2	2971	1937	572	76	386	0,48
3	2971	2055	274	71	571	0,70
Traditionelt	2971	1667	423	70	811	1

Figur 8.5 Årlig beregning for solvarmeanlæg med kuldebro i top af beholder.

Figur 8.6 viser grafisk resultaterne fra beregningerne med en $4,32 \text{ m}^2$ stor solfanger og 200 l beholder.



Figur 8.6 Årlig nettoydelse for $4,32 \text{ m}^2$ solvarmeanlæg.

Figur 8.6 viser, at det traditionelle anlæg har en nettoydelse på 1369 kWh pr. år. Opstilling 1, 2 og 3 har hhv. en årlig nettoydelse på 952, 1060 og 1153 kWh pr. år, hvilket svarer til en mellem 30 og 16 % lavere ydelse end det traditionelle anlæg. Opstilling 3 giver en større nettoydelse end opstilling 1 og 2, bl.a. fordi der ikke er indbygget et elvarmelegeme i beholderen. Dette bevirker et mindre varmetab i sommerperioden, hvilket medfører en større nettoydelse. Varmetabet fra elvandvarmeren medregnes i anlæggets energibesparelse, se kapitel 9.

I figur 8.3 er solfangerarealet forøget til $6,48 \text{ m}^2$. Nettoydelsen er nu 1586 kWh for det traditionelle anlæg. Her er forskellen fra det traditionelle anlæg til de alternative anlæg mellem 13 % og 23 %. Forbedringen for opstilling 1 og 2 fra $4,32 \text{ m}^2$ til $6,48 \text{ m}^2$ solfangere er omkring 260 kWh, dvs. en 25 % forøgelse af ydelsen. For opstilling 3 er forøgelsen af nettoydelsen lidt mindre.

Figur 8.4 viser, at en større beholder på 300 l kun forøger ydelsen i hvert af de fire anlæg med højst 75 kWh/år i forhold til en beholder på 200 l. Beholderstørrelsen er ikke så afgørende for nettoydelsen som solfangerarealet.

Anlæg med kuldebro i toppen af varmtvandsbeholderen og anlæg uden kuldebro sammenlignes. Kuldebroens varmetabskoefficient er skønnet til 3 W/K i beregningerne og hidrører fra rørtilslutninger i toppen af beholderen. Den samlede varmetabskoefficient for beholderen uden kuldebro er 2,5 W/K.

Figur 8.5 viser, at evt. kuldebroer i varmtvandsbeholderen har stor indflydelse på anlæggenes nettoydelse. Den i beregningerne benyttede kuldebro medfører en reduktion af nettoydelsen på mellem 550 kWh og 700 kWh pr. år. Det er derfor vigtigt, at specielt beholderens top har et lille varmetab. Dette kan opnås ved at lade alle rørgennemføringer gå ud gennem bunden af beholderen.

Den månedlige variation af nettoydelsen for de fire anlæg er vigtig at bestemme, når man skal vurdere, hvorfor det traditionelle anlæg giver en større årlig nettoydelse end opstilling 1, 2 og 3.

Måned	Qopstilling 1 kWh	Qopstilling 2 kWh	Qopstilling 3 kWh	Qtraditionelt anlæg kWh
januar	-15	-3	-13	17
februar	17	31	23	54
marts	29	44	35	73
april	103	117	112	147
maj	154	158	187	187
juni	182	182	208	201
juli	173	173	207	196
august	170	170	203	195
september	111	115	148	146
oktober	37	54	44	86
november	-1	13	3	37
december	-7	6	-4	30
ialt	952	1060	1153	1369

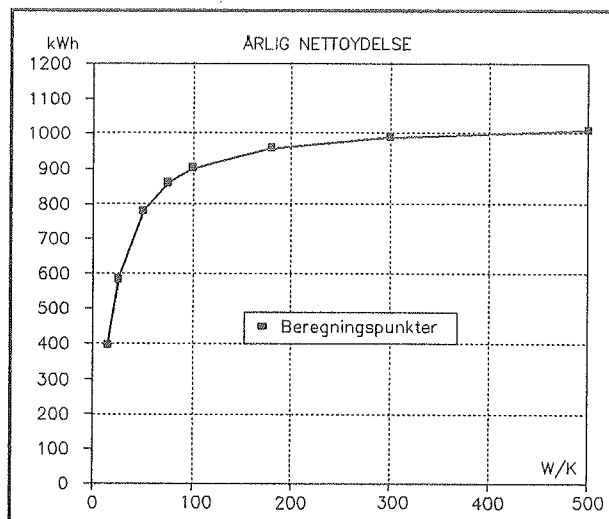
Figur 8.7 Månedlige nettoydelse for et 4,32 m² solvarmeanlæg.

Figur 8.7 viser, at det specielt er om vinteren, at det traditionelle anlæg er bedre end opstilling 1, 2 og 3. Dette skyldes, at kedlen opvarmer hele beholderen, og at solvarmen derfor kun har en ringe mulighed for at forvarme det koldeste vand. Målingerne i laboratoriets forsøgshal viste samme tendens. Reguleringsventilen har meget svært ved at begrænse kedelopvarmningen i fyringssæsonen. Dette skyldes for opstilling 1 og 3 vedkommende, at kedeltilslutningen til beholderen ikke kan forhindre opvarmning af brugsvandet i bunden af beholderen. I opstilling 2 er kedeltilslutningen derimod forbundet således, at kedelopvarmningen af den nederste del af beholderen bliver mindre. På figur 8.7 ses, at opstilling 2 af denne grund yder mere i fyringssæsonen end opstilling 1 og 3. Det skal her bemærkes, at en forbedret styring af kedelopvarmningen formodentlig kan forbedre ydelsen for opstilling 1, 2 og 3.

I sommerperioden yder opstilling 3 mere end det traditionelle anlæg. Dette skyldes den relativt gode temperaturlagdeling i beholderen, og at der ikke er elopvarmning af de øverste ca. 75 l vand.

8.2 Sammenligning for forskellige varmevekslerstørrelser

Varmevekslerstørrelsens betydning for anlægsydelsen er vurderet for opstilling 1. Beregningerne er foretaget med et solfangerareal på 4,32 m² og en 200 l varmtvandsbeholder uden ekstra kuldebroer.



Figur 8.8 Nettoydelserne som funktion af varmeoverføringsevnen for varmeveksleren.

Figur 8.8 viser, at nettoydelsen stiger jo større varmeoverføringsevnen for varmeveksleren er. Stigningen er størst ved de små varmeoverføringsevner. Ved forøgelse af varmeoverføringsevnen for varmeveksleren fra 15 til 25 W/K stiger nettoydelsen med 185 kWh, mens stigningen kun er 19 kWh ved en forøgelse fra 300 til 500 W/K. En varmevekslerstørrelse på mellem 100 W/K og 150 W/K må betragtes som et minimum for anlæg af denne størrelse.

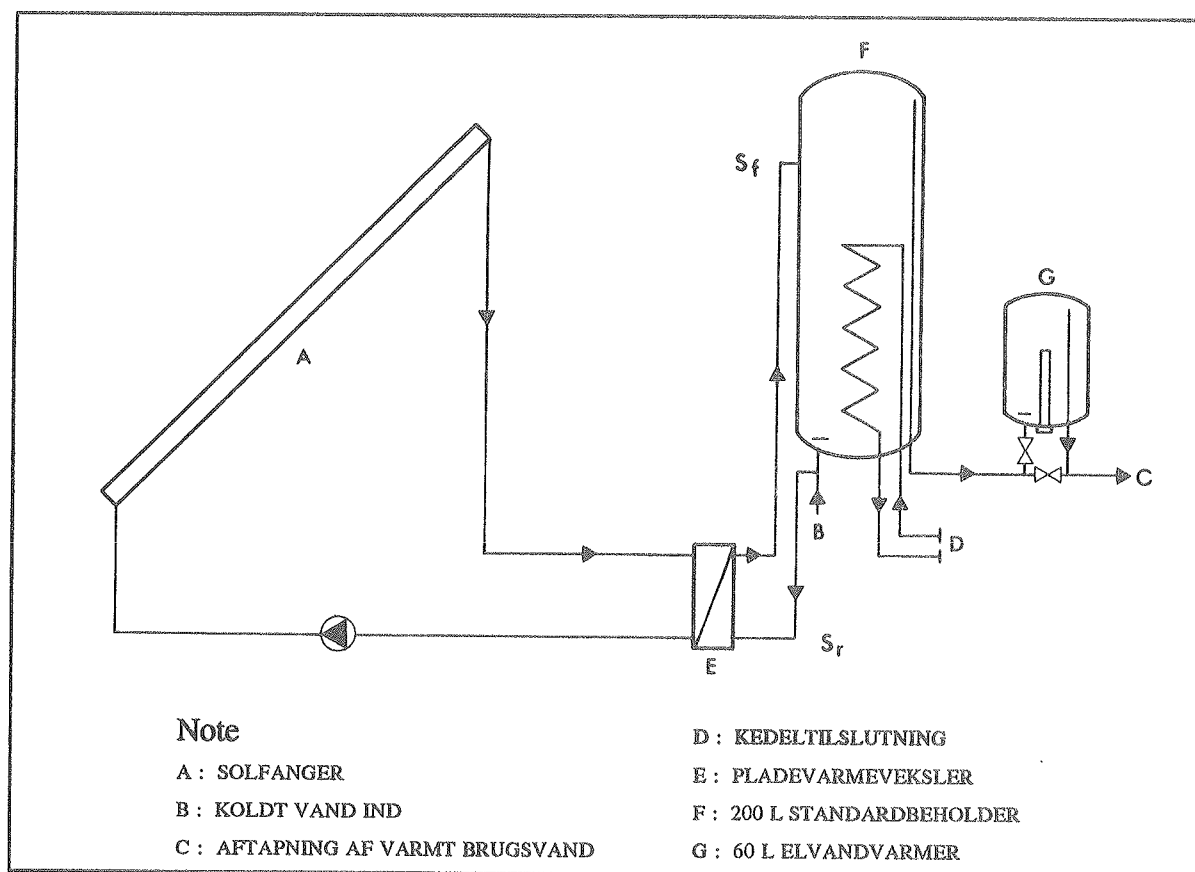
Varmeroverføringsevne W/K	Q _{brutto} kWh	Q _{sup,v} kWh	Q _{sup,s} kWh	Q _{pumpe} kWh	Q _{netto} kWh	Index -
15	2971	1825	677	79	390	0,39
25	2971	1756	561	79	575	0,57
50	2971	1677	445	76	773	0,77
75	2971	1643	400	75	853	0,85
100	2971	1625	375	74	897	0,90
180	2971	1599	347	73	952	0,95
300	2971	1585	331	72	983	0,98
500	2971	1576	321	72	1002	1

Figur 8.9 Årlig nettoydelse for opstilling 1 med forskellige varmevekslerstørrelser.

8.3 Lodretstående beholder med ekstern varmeveksler

Der er udført årsberegninger for en lodretstående standardbeholder med ekstern varmeveksler. Varmtvandsbeholderen er på 200 l med en indbygget varmevekslerspiral i den nederste del af beholderen. Denne udformning er den mest almindelige beholderudformning på det danske marked og kunne f.eks. være en HS-Tarm type VBF MKII-200. Som eftervandsvarmer uden for fyringssæsonen kan f.eks. anvendes en 60 l Metro elvandvarmer.

Figur 8.10 viser en principskitse af denne udformning.



Figur 8.10 Principskitse af lodretstående beholder med ekstern varmeveksler.

I disse beregninger er der anvendt en volumenstrøm på $0,15 \text{ l}/(\text{min m}^2)$ i solfangerkredsen og et solfangerareal på $4,32 \text{ m}^2$. Den årlige nettoydelse er vist på figur 8.11.

Anlæg	Q_{brutto} kWh	$Q_{\text{sup,v}}$ kWh	$Q_{\text{sup,s}}$ kWh	Q_{pumpe} kWh	Q_{netto} kWh
Lodret standardbeholder	2971	1682	166	70	1053

Figur 8.11 Årlig beregning af nettoydelsen for lodretstående beholder.

Figur 8.11 viser, at anlægget på figur 8.9 giver en nettoydelse på 1053 kWh. Dette er 23 % lavere end det traditionelle anlæg. Der er udført EDB-beregninger for at finde den bedste placering af sekundær frem (Sf). Beregningerne viste, at en placering i den øverste halvdel af beholderen er den mest fordelagtige. Placeringer tæt på bunden bør frarådes, fordi det giver en dårlig temperaturlagdeling i beholderen.

8.4 Afsluttende bemærkninger

I det traditionelle anlæg er der anvendt en lodretstående kombibeholder. Denne beholdertype giver en mere fordelagtig temperaturlagdeling i fyringssæsonen end den vandretliggende beholder, som er anvendt i opstilling 1, 2 og 3. I det traditionelle anlæg opvarmer kedlen kun den øverste del af beholderen, således at solvarmen kan forvarme brugsvandet i den nederste del af beholderen. I opstilling 1 og 2 opvarmer kedlen næsten hele beholderen, hvilket forminske solvarmens bidrag i fyringssæsonen. I sommerperioden yder opstilling 3 mere end det traditionelle anlæg. Dette skyldes den relativt gode temperaturlagdeling i beholderen, og at eftervarmningen af brugsvandet sker uden for beholderen.

EDB-programmet EMGP2 har vist sig at være et godt program til at beregne nettoydelsen for solvarmeanlæggene. Det har dog vist sig, se kapitel 7, at EDB-programmet har lidt vanskeligt ved at efterligne den meget gunstige temperaturlagdeling, som low flow drift forårsager i kappebeholderen. Hvis programmet havde regnet helt rigtigt, ville forskellen mellem den årlige nettoydelse for opstilling 1, 2 og 3 og det traditionelle anlæg have været mindre.

Beregningerne viser også, at det er meget vigtigt at kunne styre varmetilførslen fra kedlen. Det er tænkeligt, at der findes en bedre reguleringsventil, end den der er anvendt i forsøgsopstillingerne. Her kan bl.a. nævnes en urstyring, der stopper for kedelopvarmningen i dagtimerne.

9 ANLÆGSØKONOMI

Forholdet mellem solvarmeanlægs nettopris og årlige energibesparelse er vigtig i forbindelse med køberens valg af anlæg. Nettoprisen er køberens samlede udgift, når anlægstilskuddet fra energistyrelsen er fratrasket den samlede anlægsudgift.

De nye tilskudsregler giver tilskud efter nettoydelsen og evt. sparet varmetab fra den eksisterende varmtvandsbeholder. Dette tilskud kan dog maksimalt udgøre 30 % af anlægsprisen.

Den årlige energibesparelse afhænger af anlæggets udformning, og af hvilken opvarmningsform solvarmen supplerer. Energibesparelsen beregnes ud fra anlæggets nettoydelse, tilskud til varmtvandsbeholderens varmetab og evt. tomgangstab fra den eksisterende installation.

I det efterfølgende er anlægsøkonomien gennemgået for tre anlægstyper. De tre anlæg har et solfangerareal på 4,32 m². Beregningerne forudsætter, at kappebeholderen i opstilling 2 bliver standardbeholder fra Sønder Højrup Maskinfabrik A/S.

Opstilling 2 : 200 l kappebeholder (fremtidig standardbeholder) med ekstern varmeveksler og indbygget elvarmelegeme.

Opstilling 3 : Eksisterende 200 l kappebeholder med ekstern varmeveksler. Elvandvarmer eftervarmer brugsvandet i sommerperioden.

Traditionelt anlæg : 200 l kombibeholder med indbygget elvarmelegeme til sommerdrift.

9.1 Energibesparelse

Solvarmeanlæggenes energibesparelse og statstilskud beregnes som beskrevet i [6]. Der er i beregningerne forudsat, at solvarmen skal supplere en nyere oliefyrsinstallation. Dette har indflydelse på beregning af sparet tomgangstab fra den eksisterende installation.

Den tilskudsbestemmende anlægsydelse Q_{tilskud} bestemmes som

$$Q_{\text{tilskud}} = Q_{\text{netto}} + Q_{\text{VVB,tilskud}}$$

$Q_{\text{VVB,tilskud}}$ hidrører fra et evt. sparet varmetab fra den eksisterende varmtvandsbeholder. Dette tab er fastlagt til 300 kWh på årsbasis, fordelt med 190 kWh i fyringssæsonen og 110 kWh uden for fyringssæsonen.

For opstilling 2 og det traditionelle anlæg er $Q_{\text{VVB,tilskud}} = 300$ kWh, fordi den eksisterende beholder kan undværes. For opstilling 3 er $Q_{\text{VVB,tilskud}} = 190$ kWh, fordi der ikke er indbygget et elvarmelegeme i beholderen.

Q_{tilskud} beregnes til følgende :

Opstilling 2 : $Q_{\text{tilskud}} = 1060 \text{ kWh} + 300 \text{ kWh} = 1360 \text{ kWh}$

Opstilling 3 : $Q_{\text{tilskud}} = 1153 \text{ kWh} + 190 \text{ kWh} = 1343 \text{ kWh}$

Traditionelt anlæg : $Q_{\text{tilskud}} = 1369 \text{ kWh} + 300 \text{ kWh} = 1669 \text{ kWh}$

Statstilskuddet til anlæggene findes ved at gange tilskudsydelsen, Q_{tilskud} , med den af energistyrelsens fastsatte tilskudsfaktor, der p.t. er 5 kr/kWh.

Opstilling 2 : $1360 \text{ kWh} \cdot 5 \text{ kr/kWh} = 6800 \text{ kr}$
 Opstilling 3 : $1343 \text{ kWh} \cdot 5 \text{ kr/kWh} = 6715 \text{ kr}$
 Traditionelt anlæg : $1669 \text{ kWh} \cdot 5 \text{ kr/kWh} = 8345 \text{ kr}$

Energibesparelsen i kr, B_{kr} , bestemmes som oliebesparelsen, $B_{\text{olie,kr}}$, fratrullet eludgiften til elvarmelegeme og pumpe, $B_{\text{el,kr}}$. Oliebesparelsen i kWh, $B_{\text{olie,kWh}}$, beregnes som anlæggets bruttoydelse minus vintersupplering plus sparet tomgangstab om sommeren plus sparet varmetab fra den eksisterende varmtvandsbeholder.

$$B_{\text{olie,kWh}} = Q_{\text{brutto}} - Q_{\text{sup,v}} + Q_{\text{tomgang}} + Q_{\text{VVB,sparet}}$$

Tomgangseffekten, Q_{tomgang} , for den eksisterende installation er ens for begge anlæg. For et nyere oliefyr angiver [6] tomgangseffekten til 350 W, hvilket giver et samlet sparet tomgangstab uden for fyringssæsonen (132 dage) på 1109 kWh.

Oliebesparelsen i kWh, $B_{\text{olie,kWh}}$, bestemmes for begge anlæg.

Opstilling 2 : $B_{\text{olie,kWh}} = 2971 - 1488 + 1109 + 300 = 2892 \text{ kWh}$
 Opstilling 3 : $B_{\text{olie,kWh}} = 2971 - 1557 + 1109 + 190 = 2713 \text{ kWh}$
 Traditionelt anlæg : $B_{\text{olie,kWh}} = 2971 - 1289 + 1109 + 300 = 3091 \text{ kWh}$

Oliebesparelsen i l olie, B_{olie} , findes, ved at oliebesparelsen i kWh, $B_{\text{olie,kWh}}$ ganges med en omregningsfaktor, f , der beregnes ud fra oliens brændværdi og magnalfyringsnyttevirkningen på 85 %. For et nyere oliefyr angiver [6], f til 0,119 l olie pr. kWh.

Opstilling 2 : $B_{\text{olie}} = 2892 \text{ kWh} \cdot 0,119 = 344 \text{ l olie}$
 Opstilling 3 : $B_{\text{olie}} = 2713 \text{ kWh} \cdot 0,119 = 323 \text{ l olie}$
 Traditionelt anlæg : $B_{\text{olie}} = 3091 \text{ kWh} \cdot 0,119 = 368 \text{ l olie}$

Eludgiften til elvarmelegeme og pumpe/styring bestemmes ud fra resultater i kapitel 8.

Opstilling 2 : $B_{\text{el}} = Q_{\text{sup,s}} + Q_{\text{pumpe}} = 347 \text{ kWh} + 76 \text{ kWh} = 423 \text{ kWh}$
 Opstilling 3 : $B_{\text{el}} = Q_{\text{sup,s}} + Q_{\text{pumpe}} = 190 \text{ kWh} + 71 \text{ kWh} = 261 \text{ kWh}$
 Traditionelt anlæg : $B_{\text{el}} = Q_{\text{sup,s}} + Q_{\text{pumpe}} = 244 \text{ kWh} + 69 \text{ kWh} = 313 \text{ kWh}$

Pengebesparelsen, B_{kr} , fås ved at gange antal sparede enheder med prisen pr. enhed. Energipriser (september 1990) er fra [5]. Olie koster 3,88 kr/l, og el koster 0,91 kr/kWh.

$$B_{\text{kr}} = B_{\text{olie}} \cdot \text{oliepris} + B_{\text{el}} \cdot \text{elpris}$$

Pengebesparelsen for de to anlæg.

Opstilling 2 : $344 \text{ l olie} \cdot 3,88 \text{ kr/l} - 423 \text{ kWh} \cdot 0,91 \text{ kr/kWh} = 950 \text{ kr}$
 Opstilling 3 : $323 \text{ l olie} \cdot 3,88 \text{ kr/l} - 261 \text{ kWh} \cdot 0,91 \text{ kr/kWh} = 1015 \text{ kr}$
 Traditionelt anlæg : $368 \text{ l olie} \cdot 3,88 \text{ kr/l} - 313 \text{ kWh} \cdot 0,91 \text{ kr/kWh} = 1143 \text{ kr}$

9.2 Anlæggets pris

Anlæggets pris er sammensat af materiale- og håndværkerudgifter. Materialeudgifterne til et solvarmeanlæg kendes rimeligt nøjagtigt. Derimod er håndværkerudgifterne vanskeligere at bestemme. Dette hænger bl.a. sammen med ombygningen af det eksisterende varmesystem. Ved oliefyrsinstallationer, kan installationen løbe over 2 - 3 dage. Normalt vil håndværkerudgifterne til VVS arbejdet beløbe sig til mellem 5000 og 7000 kr excl. moms. Elarbejdet vil normalt koste 1200 kr. excl. moms.

Oversigt over anlægspriser og energibesparelser ses på figur 9.1. Priser og håndværkerudgifter er beregnet som et gennemsnit ud fra prisvejledninger fra flere fabrikanten af solvarmeranlæg.

Anlægspriser excl. moms og tilskud	Opstilling 2	Opstilling 3	Traditionelt anlæg
4 - 5 m ² solfanger incl. tagbeslag	7250 kr	7250 kr	7250 kr
Styring og følere	1500 kr	1500 kr	1500 kr
Ekspansionsbeholder	500 kr	500 kr	500 kr
Cirkulationspumpe	750 kr	750 kr	750 kr
Skoldningssikring + sikkerhedsventil	650 kr	650 kr	650 kr
Diverse rør og fittings	1750 kr	1750 kr	1750 kr
Glykol	400 kr	400 kr	400 kr
Elvarmelegeme	800 kr		
Varmeveksler incl. isolering	2300 kr	2300 kr	
Elvandvarmer, 60 l		2350 kr	
Kombibeholder			8000 kr
VVS arbejde	6000 kr	6000 kr	6000 kr
El arbejde	1200 kr	1200 kr	1200 kr
Anlægspris excl. moms og tilskud	23100 kr	24650 kr	28000 kr
Priser incl. 22 % moms			
Anlægspris	28180 kr	30070 kr	34160 kr
Energibesparelse	950 kr	1015 kr	1143 kr
Tilskud	6800 kr	6715 kr	8345 kr
Nettopris	21380 kr	23360 kr	25815 kr
$\frac{\text{Energibesparelse}}{\text{nettopris}}$	0,0444	0,0435	0,0443
$\frac{\text{Energibesparelse}}{\text{anlægspris}}$	0,0337	0,0338	0,0335

Figur 9.1 Priser og energibesparelser for de tre anlæg.

Beregningerne for opstilling 2 forudsætter, at den anvendte kappebeholder bliver en fremtidig standardbeholder. Denne beholder installeres, hvis den eksisterende beholder pludselig skal udskiftes pga. en utæthed. Opstilling 2 har den fordel, at det er muligt at opbygge et solvarmeanlæg ved først at installere en standardbeholder og forberede installationen, således at varmeveksler, elvarmelegeme og det resterende solvarmeanlæg nemt kan installeres på et senere tidspunkt. Valg af anlæg og finansiering kan derfor udskydes til et senere tidspunkt, hvis varmtvandsbeholderen pludselig skal udskiftes pga. en utæthed. Under disse forudsætninger skal beholderens pris ikke medtages i beregningerne, fordi den alligevel skulle have været udskiftet. Nettoprisen for opstilling 2 bliver derfor så lav som ca. 21400 kr.

Hvis den eksisterende varmtvandsbeholder er forholdsmæssig ny og dermed kan genanvendes, er det opstilling 3, som har interesse. Solvarmeanlæggets nettopris er ca. 23400 kr incl. moms, hvilket er ca. 2000 kr dyrere end opstilling 2. Forholdet mellem energibesparelsen og nettoprisen er omtrent ens for begge anlæg.

Normalt er det ikke muligt at installere et traditionelt solvarmeanlæg, når den eksisterende varmtvandsbeholder skal udskiftes pga. en utæthed. Dette skyldes, at der ofte er leveringstid på kombibeholderen og finansieringen af solvarmeanlægget, og valg af fabrikat kræver betænkningstid. Under disse forudsætninger bliver anlægsprisen for det traditionelle anlæg ca. 25800 kr.

Beregningerne viser, at forholdet mellem energibesparelsen og nettoprisen er omtrent ens for de tre solvarmeanlæg.

Anlæggene med ekstern varmeveksler kan gøres bedre ved at forberede styringen af kedelopvarmningen. Desuden undervurderer EDB-programmet ydelserne for anlæggene med ekstern varmeveksler. Nettoydelsen og rentabiliteten for disse anlæg vil derfor kunne forbedres i forhold til det ovenfor anførte.

10 KONKLUSION

Resultaterne fra dette projekt viser, at det er muligt at opbygge lagerdelen af et solvarmeanlæg ved at anvende en standard varmtvandsbeholder og en ekstern varmeveksler. Solvarmen kan uden problemer overføres fra solfangerkredsen til beholderen ved hjælp af selv-cirkulation i varmevekslingskredsen mellem varmeveksleren og beholderen.

Den valgte vandretliggende kappebeholder viste sig at være meget velegnet som varmelager i sommerhalvåret. Desværre viste målingerne også, at det er meget vanskeligt at begrænse varmetilførslen fra kedlen i fyringssæsonen. Der er derfor behov for at belyse, hvordan kedel- og solvarmetilslutningerne bedst udformes, og hvilken regulering der i størst mulig grad begrænser kedelopvarmningen til kun den øverste del af beholderen.

Anvendelse af små volumenstrømme i solfangerkredsen viste sig at give en stor temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen med store anlægsydelse til følge. Ved at sammenligne målte og beregnede temperaturforhold i varmelageret viste det sig, at EDB-programmet EMGP2 undervurderede den gunstige temperaturlagdeling i den vandretliggende kappebeholder. Det må derfor forventes, at den virkelige ydelse for anlæg med kappebeholder og ekstern varmeveksler er større end den beregnede ydelse.

Ydelsesberegninger og beregning af anlægspriser viser, at et solvarmeanlæg med vandretliggende standard kappebeholder og ekstern varmeveksler har samme gode driftsøkonomi som et traditionelt solvarmeanlæg, der anvender en kombibeholder som varmelager.

Anlæg med en lodretstående beholder og en bedre styring af kedelopvarmningen har uden tvivl en bedre anlægsydelse og rentabilitet end de i dette projekt undersøgte anlæg. Det er derfor behov for yderligere undersøgelser for at bestemme den bedst mulige udformning af solvarmeanlæg med en standard varmtvandsbeholder og en ekstern varmeveksler.

REFERENCER

- [1] "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg. Måling på 3 brugsvandsanlæg". Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Meddelelse nr. 188, december 1987.
- [2] "Varmelagring til solvarmeanlæg". Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Meddelelse nr. 162, september 1984.
- [3] "Warmetechnische arbeitsmappe". VDI-verlag GmbH, Düsseldorf.
- [4] "Danvak. Varme og klimateknik". H.E Hansen, P. Kjerulf-Jensen og Ole B. Stampe. Teknisk Forlag A/S, København.
- [5] "Solvarme oversigt". Informationssekretariatet for Vedvarende Energi. Dansk Teknologisk Institut, Tåstrup. September 1990.
- [6] "Beregning af ydelse og besparelse - solvarmeanlæg til varmt brugsvand". Prøvestationen for Solenergi, DTI. Maj 1990.
- [7] "Effektivitetsprøvning af solfanger : Fabrikat Batec". C. Bisgaard, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Rapport nr. 82-20, marts 1982.
- [8] "A European Transient Simulation Model for Thermal Solar Systems. EMGP2". W.L. Dutré, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium. Published by D. Reidel Publishing Company.
- [9] "Summary Report on the Danish Validation Work Within Opsys". Søren Østergaard Jensen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Report No. 87-19, november 1987.
- [10] "Natural Convection Heat Exchangers in Solar Water Heating Systems : Theory and Experiment". M.G. Parent, Th.H. van der Meer and K.G.T. Hollands. University of Waterloo, Canada. Artikel fra Solar Energy Vol. 45, No. 1, pp. 43 - 52, 1990.
- [11] "Prøvning af lagertank for Dansk Solvarme A/S". Simon Furbo og Peter Carlsson, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Rapport nr. 90-6, august 1990.

