

Solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning

Udvikling af konkurrencedygtige
anlæg
Beregninger samt målinger på forsøgsanlæg

Klaus Ellehauge

Meddelelse nr. 223 August 1991
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Højskole

Udvikling af konkurrencedygtige
anlæg
Beregninger samt målinger på forsøgsanlæg

Klaus Ellehauge

Forord	3
Resumé	4
Summary	5
1. Indledning	1
1.1 Konklusion	2
2. Hidtidige arbejder i Danmark vedrørende aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning ..	5
2.1 Beskrivelse af enkeltprojekter	5
2.2 Generel vurdering af de opnåede erfaringer fra de gennemførte projekter.	7
3. Systemløsninger	16
3.1 Modelberegninger med EMGP3	16
3.1.1 Stratificering og low flow	17
3.1.2 Simulering af radiatorer	17
3.1.3 Solfangere	18
3.1.4 Øvrige komponenter	19
3.2 Anlæg kun til brugsvandsopvarmning (referenceanlæg)	19
3.3 "Udvidet brugsvandsanlæg"	19
3.3.1 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet eksisterende radiatorer ..	19
3.3.2 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet separat radiator system	20
3.4 Drain back system	21
3.5 System med termisk adskilt rumvarmebeholder og varmtvandsbeholder .	22
4. Kombinerede solvarmeanlæg til rumopvarmning og brugsvandsopvarmning-anvendelsesmuligheder	30
4.1 De forskellige anvendelsesmuligheder som diskuteres nærmere er:	30
4.2 Anlægsøkonomi - Sammenligning med brugsvandsanlæg	30
4.2.1 Rumopvarmningsbehov	32
4.2.2 Anlægsøkonomi og ydelser - Tabeller	33
4.3 Eksisterende olie- eller naturgasfyrede enfamiliehuse med et	34
4.3.1 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet husets radiatorsystem	35
4.3.2 "Udvidet brugsvandsanlæg" med separat radiator	36
4.3.3 Drain back rumvarmesystem	37
4.3.4 System med eksisterende varmtvandsbeholder	37
4.4 Enfamiliehuse med el-opvarmning	37
4.4.1 Lagring af nat-el	38
4.5 Nybyggeri, enfamiliehuse, lavenergi	40
4.6 Nybyggeri med fælles varmecentral	40
4.7 Store anlæg (institutioner og boligejendomme)	42
4.8 Benyttelse af højeffektiv solfanger med ekstra teflondæklag.	43
4.9 Sammenfatning af beregninger og økonomi	44
5. Forsøgsanlæg	63
5.1 Solvarmeanlæggets komponenter	65
5.1.1 Solfanger	66
5.1.2 Lagerbeholdere	66
5.1.3 Styring	66

5.2	Måleudstyr	67
5.3	Driftserfaringer	67
5.3.1	Funktion af solfangerkreds	67
5.3.1.2	Støj i solfangerkredsen	68
5.3.2	Stratificering i tanken	68
5.4	Sammenligning af målte og beregnede ydelser	68
5.5	Samlet vurdering	69
Referencer		75

Bilag 1

Oversigt over danske projekter indenfor området aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning. 77

Bilag 2.

Beregning af radiatorydelsen med EMGP3 79

Forord

Denne rapport beskriver og afslutter arbejdet, som er gennemført under projektet: "Udvikling af konkurrencedygtige solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning til enfamiliehuse".

Projektet, som er finansieret af Energiministeriet, er en del af forskningsområde 5: "Energianvendelse i bygninger" under ministeriets forskningsprogram EFP-88. Projektets journal nr. er 1213/88-10.

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

Klaus Ellehauge, civilingeniør
Peter Trans, elektroniktekniker
Christina Zimmermann, assistent
Birthe Friis, korrespondent

Forsøgsanlægget er opstillet med hjælp fra Arne Skouslund VVS. Endvidere har Henrik Knudsen fra Svantevit bidraget med prisoplysninger, og Torkil Forman fra Aidt Miljø har bidraget med kommentarer til rapporten.

Resumé

Rapporten beskriver det ved Laboratoriet for Varmeisolering udførte arbejde med videreudvikling af solvarmeanlæg til kombineret rumopvarmning og opvarmning af brugsvand.

Dette arbejde bygger dels på erfaringerne fra tidligere udførte projekter med kombineret rumopvarmning og opvarmning af brugsvand, samt søger endvidere at udnytte de nye erfaringer fra de rene brugsvandsanlæg vedrørende udnyttelse af maksimal temperaturstratificering i lagertanken (de såkaldte low flow anlæg).

I rapporten er de hidtidigt udførte projekter i Danmark beskrevet.

Der er beregningsmæssigt ved hjælp af solvarmesimuleringsprogrammet EMGP3 analyseret forskellige anlægsudformninger, hvoraf én markedsføres af en fabrikant, og hvoraf andre er konstruktionsmæssige nyskabelser. Der analyseres dog ikke på anlæg der er integreret i bygningsudformningen (f.eks. ved lagring af solvarme i et gulvvarmesystem).

Systemerne er analyseret ved en række forskellige anvendelser, som anses for at være mest interessante.

Økonomien for de forskellige systemer ved de forskellige anvendelser er analyseret ved at beregne anlæggenes ydelser og værdien af den dermed forbundne energibesparelse.

Endvidere er det vurderet hvad merprisen for anlægget i forhold til et brugsvandsanlæg med samme solfangerareal vil være. Hermed kan det vurderes om anlægget vil have bedre eller dårligere økonomi end de anlæg kun til brugsvandsopvarmning som efterspørges hos producenterne i dag.

Det fremgår af beregningerne at der for et "normalhus" (énfamiliehus) kan forventes god økonomi for moderate anlægsstørrelser (op til ca. 10 m² solfanger) ved de fleste systemer og anvendelser, når der er tale om at substituere el med solvarme.

For olie eller naturgasfyrede "normalhuse" kan især et af systemerne (drain back systemet) opnå en økonomi der er bedre eller lige så god som et rent brugsvandsanlæg.

For lavenergihuse vil der kun kunne opnås god økonomi hvis der er el-backup i huset.

Et af systemerne (drain back systemet) er blevet afprøvet på Laboratoriets forsøgsareal.

Ud fra målinger kan det ses at anlægget har fungeret uden problemer og med god temperaturstratificering. Ligeledes har solfangerkredsens drain back funktion fungeret efter hensigten og uden problemer.

Anlægstypen vil således være et godt bud på, hvorledes kombinerede anlæg til brugsvand og rumopvarmning kan udføres med udnyttelse af de nye erfaringer med hensyn til temperaturstratificering og low flow.

Summary

The work carried out at The Thermal Insulation Laboratory with the development of solar systems for combined space heating and heating of domestic hot water is reported.

The work is making use of experience from earlier projects with combined systems carried out in Denmark, and of new experience with optimal temperature stratification in the storage tank in domestic hot water systems (the so called low flow systems).

Different system configurations of combined systems are analyzed with the solar system simulation program EMGP3. One of the systems is manufactured by a Danish manufacturer, while other systems are new.

The systems are analyzed at different uses. (One family houses with oil- or gasburner, low energy houses etc.)

The economy is evaluated by calculation of the systems energy performance and the value of the economic saving due to the energy saving.

Furthermore, it is estimated how the additional costs of the systems will be, compared to systems with the same area of solar collectors, but only for heating of domestic hot water. In this way it is evaluated if the systems would or would not be preferable compared to the systems for heating only of domestic hot water, which are manufactured today.

For "normal" one family houses, most of the systems with moderate solar collector areas (up to 10 m² of solar collector) will have a good economy if the houses are electrically heated.

For oil or natural gas heated "normal" houses, especially one of the systems ("the drain back system") will have an economy as good as a domestic hot water system.

One of the systems ("the drain back system") has been tested at the Laboratory. From measurements it is found that the system has functioned without problems and with good temperature stratification in the storage.

This system will be a good proposal for a solar system for combined space heating and heating of domestic hot water.

1 Indledning

Udviklingen af solvarmeanlæg i Danmark har især koncentreret sig om anlæg til opvarmning af brugsvand, samt anlæg til opvarmning af fjernvarmevand eller svømmebassiner.

Ovennævnte typer af anlæg er efterhånden udviklet til at være pålidelige og velydende.

Solvarmeanlæggene til brugsvand dimensioneres som regel til at dække mellem 20 og 70 % af det totale brugsvandsforbrug, mens anlæggene til fjernvarme kun dimensioneres til at dække en del af sommerforbruget. Den samlede dækningsgrad af boligernes samlede opvarmningsforbrug bliver i begge tilfælde meget lille.

Undtaget for ovennævnte er anlæg med sæsonlagring. Disse er hidtil kun udført i forbindelse med fjernvarmenet, idet de sæsonlagre der hidtil er eksperimenteret med skal op i en stor størrelse for at være termisk effektive.

Denne teknik er imidlertid kostbar, og endnu på et eksperimentelt stade.

Siden arbejdet med solvarmeanlæg startede herhjemme midt i 70'erne har der da også været arbejdet på at udføre anlæg der ud over at levere varme til opvarmning af brugsvandet, også leverer varme til selve husets opvarmning.

De første anlæg herhjemme byggede således på denne strategi: (nulenergihuset (reference [1]), demonstrationsprojekter i Greve, Gentofte (reference [2]) med flere).

Imidlertid viste de første anlæg udført med ovennævnte formål sig at være vanskelige at få til at fungere, samt uøkonomiske, hvorfor man herhjemme især koncentrerede sig om rene brugsvandsanlæg.

Der har dog med mellemrum været udført anlæg til både brugsvands- og rumopvarmning, dels som demonstrationsprojekter og dels som almindelige anlæg opført af private. (Ejby (reference [3]), m.fl.). Der foreligger således også systemgodkendte rumopvarmningsanlæg fra en del af fabrikkerne, som ligeledes har en løbende efterspørgsel efter denne type anlæg, blandt andet fra folk, som nødtigt undværer rumopvarmning om sommeren (f.eks. varme i et badeværelsesgulv).

I de seneste år har der været en udvikling inden for brugsvandsanlæg gående ud på at opbygge og udnytte en maksimal stratificering i lagertanken.

Dette gøres blandt andet ved at køre med lille flow i solfangerkredsen (low flow anlæg). Ydelserne af brugsvandsanlæggene kan i visse tilfælde forbedres op til 20 % med denne strategi ligesom anlægsprisen kan gøres mindre (reference [4],[5],[6]).

Det har været naturligt at prøve at indpasse den nye viden om stratificering i design af anlæg til både rumopvarmning og brugsvandsopvarmning, med henblik på at forbedre disses ydelse.

Da de hidtidige erfaringer og projekter med kombinerede brugsvands- og rumopvarmningsanlæg har været temmelig sporadiske, har det endvidere været ønskeligt at prøve at udarbejde en oversigt over i hvilke tilfælde kombinerede rumopvarmning/brugsvandsanlæg har størst mulighed for at finde anvendelse. Dette set dels ud fra et rentabilitets synspunkt, men også set ud fra et synspunkt om at udføre anlæg med høj dækningsgrad. (D.v.s. anlæg, hvor en stor del - "dækningsgraden" - af energiforbruget dækkes med solvarme, medens den resterende del leveres af en supplerende varmekilde).

Sidstnævnte synspunkt kan formentlig blive mere og mere aktuelt set i lyset af de seneste års debat om nødvendigheden af at nedbringe det globale energiforbrug (inspireret af Brundtlandrapporten m.fl.).

Selvom kombinerede anlæg med stor dækningsgrad i øjeblikket vil være mindre rentable end rene brugsvandsanlæg eller kombinerede anlæg med lille dækningsgrad, kan udviklingen således godt gøre disse anlæg interessante fremover.

Oversigten over anvendelsen af kombinerede anlæg er udført ved at analysere en række forskellige anvendelser af kombinerede anlæg (f.eks. nybyggeri, lavenergi, el-opvarmede huse med mere), samt en række forskellige systemløsninger.

Analyserne er udført ved hjælp af solvarme simuleringsprogrammet EMPG3. Ved hjælp af analyserne er der udpeget de anvendelser og systemudformninger som i første omgang er mest interessante.

Ved en udbygning med kombinerede solvarmeanlæg vil det således være fornuftigt at koncentrere indsatsen indenfor anvendelsen af disse systemer.

Da ét af de analyserede systemer er en nyskabelse i forhold til hidtil opførte anlæg er der på Laboratoriet for Varmeisoleringens forsøgsareal opstillet og afprøvet et forsøgsanlæg.

Der analyseres ikke i projektet på anlæg der er integreret i bygningsudformningen (f.eks. i form af at benytte et betongulv med gulvvarmeslanger som varmelager). Disse systemer (jvf. f.eks. reference [9]) kan udformes på utallige måder, og vil ved rigtig udformning formentlig i nybyggeri være interessante. Et nærmere studie af disse ligger dog udenfor dette projekt.

1.1 Konklusion

En oversigt over de hidtil udførte projekter med solvarmeanlæg til kombineret opvarmning af varmt vand og rumopvarmning er angivet i bilag 1 og beskrevet i kapitel 2.

De anlægstyper der i dette projekt er analyseret nærmere er:

- "Udvidet" brugsvandsanlæg, - low flow brugsvandsanlæg med varmeveksler i toppen af varmtvandsbeholderen, der leverer varme til rumvarme om sommeren, og som med varmetilførsel fra fyret benyttes til eftervarmning af det varme vand om vinteren.

- System med low flow og med radiator kredsløb tilsluttet varmtvandsbeholderens kappe. Systemet kan udvides med en ekstra lagerbeholder. Systemet forsøger at udnytte temperaturstratificeringen optimalt og kan med fordel udføres med drain back i solfangerkredsen (ved drain back tømmes solfangerne for væske når solfangerne ikke er i drift, systemet kan således udføres uden glucol i solfangerkredsen). I rapporten kaldes systemet for "drain back" systemet.
- System med separat varmtvandsbeholder. Systemet kan f.eks. benytte den eksisterende varmtvandsbeholder og kan være ønskeligt at udføre ved bebyggelser med et centralt varmeanlæg.

Det "udvidede" brugsvandsanlæg og drain back systemet er analyseret dels hvor varmen til rumopvarmningen tilføres hele husets radiatorsystem og dels hvor der etableres en separat radiator der kun afgiver varme fra solvarmeanlægget.

Ovennævnte anlægstyper er analyseret i forhold til et low flow anlæg kun til brugsvandsopvarmning. Systemerne er udvalgt ved at gennemgå erfaringerne med tidligere anlæg. Der vil være mange andre udformninger af kombinerede anlæg til rumopvarmning og opvarmning af brugsvand der vil være mulige, men mange af disse vil kunne beskrives som varianter af ovennævnte typer.

Det "udvidede" brugsvandsanlæg markedsføres i dag af en fabrikant, medens drain back systemet er udformet i dette projekt, som et forslag til et anlæg med forbedrede ydelser.

Ovennævnte anlægstyper er analyseret i forhold til en række anvendelser. Disse er:

- Eksisterende olie- eller naturgasfyrede enfamiliehuse.
- Enfamiliehuse med el-opvarmning
- Enfamiliehuse med lagring af nat-el (udnyttelse af tripartitariffen)
- Nybyggeri, enfamilie-lavenergihuse
- Nybyggeri med fælles varmecentral
- Store anlæg (institutioner og boligejendomme)

Økonomien for de forskellige systemer ved de forskellige anvendelser er analyseret ved at beregne anlæggenes ydelser og værdien af den dermed forbundne energibesparelse.

Derefter er anlæggets "tilladelige" anlægspris, d.v.s. den pris anlægget må koste, hvis det skal have samme økonomi som et rent brugsvandsanlæg, beregnet. Denne er sammenlignet med prisen for et anlæg kun til brugsvandsopvarmning samt med overslag over hvad merprisen for det analyserede system vil være i forhold til et rent brugsvandssystem. Hermed kan det vurderes om anlægget vil have bedre eller dårligere økonomi end de anlæg kun til brugsvandsopvarmning som efterspørges hos producenterne i dag. En oversigt over en del af ovennævnte sammenligninger er angivet i Tabel II.

Det fremgår af beregningerne at der for et "normalhus" (årligt varmeforbrug 14.000 kWh) kan forventes god økonomi både for et 6.45 m² og for et 8.3 m² anlæg ved de fleste systemer og anvendelser, når der er tale om at substituere el med solvarme.

For olie eller naturgasfyrede "normalhuse" kan drain back systemet opnå en økonomi der er bedre eller lige så god som et rent brugsvandsanlæg.

Af de to anlægsstørrelser (på 6.45 m² og på 8.3 m² solfanger) er det lille anlæg der har bedst mulighed for god økonomi. Ønskes anlæg med større dækningsgrad end hvad 6.45 m² anlægget kan levere er det et større drain back system, der er bedst. Et sådant anlæg har ikke væsentligt dårligere økonomi end 6.45 m² anlægget.

For lavenergihuse vil der kun kunne opnås god økonomi hvis der er el-backup i huset.

Systemet med den separate varmtvandsbeholder har ikke muligheder for så god økonomi. Dette system ville ellers måske være relevant ved systemer for flere beboelser jvf. afsnit 4.6. En udtømmende analyse heraf er imidlertid ikke foretaget så andre forhold end de medtagne kan måske ændre vurderingen.

Det er også blevet analyseret om det kan betale sig at benytte en højeffektiv solfanger med ekstra teflon dæklag. Dette forbedrer anlæggets ydelse, men gør samtidig anlægget dyrere. I de analyserede tilfælde er det konkluderet, at det ikke kan betale sig.

Det anlæg der er blevet afprøvet på Laboratoriets forsøgsareal er en forsøgsudgave af drain back systemet.

Der er blevet målt på anlægget således at funktionen og ydelsen har kunnet vurderes. Ud fra målingerne kan det ses at anlægget har fungeret uden problemer og med god temperaturstratificering. Ligeledes har solfangerkredsens drain back funktion fungeret efter hensigten og uden problemer.

Anlægstypen, som er den type der ifølge beregningsanalyserne har den bedste ydelse og økonomi, vil således være et godt bud på, hvorledes kombinerede anlæg til brugsvand og rumopvarmning kan udføres med udnyttelse af de nye erfaringer med hensyn til temperaturstratificering og low flow. Ved at benytte drain back i solfangerkredsen er problemet med kogning i solfangerkredsen, som især kan forekomme ved systemer med en lidt større dækningsgrad, samtidig løst.

Da anlægget er en nykonstruktion vil der imidlertid være behov for at afprøve et prototypeanlæg i et eksisterende hus før anlægget eventuelt forsøges markedsført.

2 Hidtidige arbejder i Danmark vedrørende aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning

En oversigt over hidtidigt udførte projekter indenfor området aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning er angivet i bilag 1. I bilaget er angivet bevillingsstørrelser og projektudførende. Nedenfor gives en beskrivelse af indholdet af de pågældende projekter.

2.1 Beskrivelse af enkeltprojekter

Demonstrationsanlæg i Greve og Gentofte (reference [2])

Anlæggene i Greve og Gentofte er 2 ud af 8 af de første demonstrationsanlæg som blev opført i 1978 som led i Energiministeriets solvarmeprogram. Anlæggene er på henholdsvis 50 m² solfanger (Greve) og på 28 m² solfanger (Gentofte). Opbygningen af anlæggene fremgår af Figur 1 og Figur 2 (side 9 og side 10).

Der blev målt på anlæggene i 2 år og målingerne blev sammenlignet med beregninger med simuleringsmodellen SVS der var blevet udviklet på Laboratoriet for Varmeisolering. Der blev endvidere med edb-modellen foretaget et grundigt analysearbejde med henblik på at afklare betydningen af en lang række anlægsparametre.

Begge anlæg bar ligesom demonstrationsprogrammets øvrige første generationsanlæg præg af at være overdimensionerede. Den sparede energimængde ved anlægget i Greve var således i det andet måleår på 107 kWh/m² solfangerareal medens den i Gentofte var på 174 kWh/m² solfangerareal med dækningsgrader på henholdsvis 28 % og 14 %.

Endvidere påviste beregninger og målinger at forbrugsmønstret samt varmesystemets udformning i det pågældende hus er meget afgørende for anlæggets ydelse. Som konsekvens af dette blev der foreslået en ny systemløsning med en separat radiator som udelukkende får varme fra solvarmesystemet, idet dette i væsentlig grad kunne forhindre driftsproblemer samt forøge anlæggets ydelse ved at sænke returtemperaturen fra radiatoren.

Ovenstående er grundigt rapporteret i en rapport hvis konklusioner i væsentlig grad må anses for grundlæggende for emnet og også gældende i dag.

Anlæg til rumopvarmning (Ejby) (reference [3])

Energiforskningsprogrammets næste demonstrationsprojekt indenfor rumvarme blev opført på et parcelhus i Ejby i 1984.

Anlægsopbygningen fremgår af Figur 3 og Figur 4, (se side 11 og 12). Der er 17,3 m² solfanger og en lagertank på 735 liter. Der blev anvendt en systemløsning med separat radiator og i solfangerkredsen blev der benyttet drain back for at undgå kogningsproblemer.

Der blev målt på anlægget i et år. Den målte ydelse var lille, idet der kun blev målt en ydelse på 152 kWh/m² pr. år med en dækningsgrad på 25 %. Den lille ydelse tilskrives hovedsagelig

at også dette anlæg var overdimensioneret i forhold til forbruget. Der var dog også en del problemer med at få anlæggets solvarmekreds (drain back system) til at fungere.

Udvikling af konkurrencedygtige solvarmeanlæg til kombineret brugsvand- og rumopvarmning (dette projekt)

Projektet bygger på erfaringerne fra de øvrige projekter.

Solvarmeanlæg med dual varmelager & sol til el-opvarmede boliger (reference [7] og [8])

Projekterne omhandler et solvarmeanlæg til brug i el-opvarmede huse.

I førstnævnte projekt er der blevet opbygget en lagertank som både kan benyttes til lagring af solvarme og til lagring af varme fra en elpatron således at der kan gemmes varme fra om natten, hvor elpatronen kan benytte den billige nat-el, til om dagen.

Lagertanken er blevet funktionsafprøvet ved Laboratoriet for Varmeisolering. Opbygningen fremgår af Figur 5, (se side 13).

I sidstnævnte projekt er der blevet målt på et solvarmeanlæg med den afprøvede lagertank opsat i et hus i Favreholmvænget i Hillerød. Ydelsen af solvarmeanlægget har været 226 kWh/m² pr. år, og ved en forenkling af anlægget ville tilbagebetalingstiden have været 10 år.

Ydelsesmålinger på sol-rumvarmeanlæg (reference [9])

I projektet er der blevet målt på et solvarmeanlæg kombineret med en storbrændekedel til opvarmning af et 257 m² hus i Øster Hornum ved Støvring.

Både solvarmeanlæg (16.6 m²) og brændekedel lagrer varme i husets tunge konstruktion via et gulvvarmesystem. Den eneste lagringsbeholder der er til solvarmeanlægget er således varmtvandsbeholderen på 200 l.

Opbygning af systemet fremgår af Figur 6, (se side 13).

Der er målt på systemet i 3 år og ydelsen af solvarmeanlægget har for de 3 år været henholdsvis 393, 355 og 247 kWh/m² med dækningsgrader på 29, 28, og 23 %.

Anlægget har fungeret efter hensigten og økonomien har været tilfredsstillende, idet solvarmeanlægget (excl. merudgifter til husets tunge konstruktion) har været meget billigt.

Nyt lagrings og styringsprincip for mindre, kombinerede anlæg (reference [10])

Anlægget er på 13 m² solfanger i kombination med en lagertank til brugsvand. Anlægsoptionen fremgår af Figur 7 (se side 14), og er i princippet et udvidet brugsvandsanlæg.

Der har været målt på anlægget i 45 uger i 1988. Ud fra målingerne er der beregnet en årlig anlægsydelse i referenceåret på 345 kWh/m², hvilket er tilfredsstillende.

Den foreliggende rapport er en foreløbig målerapport uden anlægsbeskrivelse.

Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og rumopvarmning på Bornholms Folkehøjskole (reference [11])

Anlægsopbygningen fremgår af Figur 8, (se side 14).

Anlægget kan i princippet betegnes som et solvarmeanlæg med korttidslager til fjernvarme, idet opvarmningen af brugsvandet og rumopvarmningen ikke er adskilt, men sker via de samme (fjern)varmeledninger.

Det forsøges således ikke via anlægsopbygningen at opnå lave driftstemperaturer for solvarmen. I stedet benyttes højeffektive solfangere.

Der bliver målt på anlægget, men rapport foreligger endnu ikke.

Måleprojekt for solvarme-naturgasanlæg i lavenergihus (reference [12])

Anlægget er et af de prisbelønnede anlæg i idékonkurrencen om varmeanlæg til lavenergi huse udskrevet af Teknologirådet i 1988. Anlægsopbygningen fremgår af Figur 9 (se side 15), solfangeren er på 4,4 m². Anlægget er blevet opført og der foretages målinger på det.

Målinger på solvarmeanlæg til rumvarme og brugsvand (for Ringsted Energicenter) (reference [13])

Anlægsopbygningen er vist på Figur 10, (se side 15). Der er 8.6 m² solfanger og en lagerbeholder på 380 liter. Anlægget må betegnes som et udvidet brugsvandsanlæg.

Der er målt på anlægget i juni-juli 1989. Det er på basis af målingerne ikke muligt at give et eksakt bud på anlægsydelsen, men der er konstateret unødige varmetab formentlig som følge af selvcirkulation.

2.2 Generel vurdering af de opnåede erfaringer fra de gennemførte projekter.

De første demonstrationsprojekter (Greve, Gentofte og Ejby) var præget af ønsket om store dækningsgrader (50, 28 og 17 m² solfanger).

Konceptet har været anlæg med specialbyggede lagertanke svarende til de store solfangerarealer.

Generelt kan siges om disse anlæg.

- at solfangerarealerne har været så store at udbyttet pr. m² solfanger er for lille fordi anlæggene er overdimensionerede om sommeren.
- at de specialbyggede lagertanke med indbygget varmtvandsbeholder vil være for dyre at producere i de mængder der vil være realistiske i Danmark.
- at anlægsopbygningerne har været for komplicerede med deraf følgende fejl funktioner.

Demonstrationsprojekterne har da således heller ikke dannet prototype for markedsførte anlæg. Derimod har det teoretiske arbejde omkring Greve og Gentofte-anlæggene skabt grundlag for det videre arbejde med rumopvarmningsanlæg.

Efter de ovennævnte projekter har der været målt på forskellige anlæg der i princippet har haft forskellige anvendelser og sigte.

Et anlæg har været beregnet til anvendelse i el-opvarmede huse og sigter på også at kunne lagre billig nat-el i solvarmeanlæggets lagertank ("Solvarmeanlæg med dual varmelager" og sol til el-opvarmede boliger").

Et andet anlæg er opført på et hus med tung gulvkonstruktion og gulvvarme således at gulvet virker som varmelager ("ydelsesmålinger på sol - rumvarmeanlæg). Endvidere er der blevet målt på anlæg som i princippet er udvidede brugsvandsanlæg (Ans Solvarme og Ringsted Energicenter).

Der er imidlertid ikke målt på de typer anlæg til rumopvarmning, som rent faktisk produceres og forhandles i dag. (I princippet brugsvandsanlæg med nogle få ekstra m² solfanger, som også levere varme til rumopvarmning hovedsageligt om sommeren.)

Det er endvidere karakteristisk for rumvarmeanlæg, at ydelsen er afhængig dels af rumopvarmningsbehovet (som kan være meget forskelligt afhængigt af hus og brugervaner), samt af rumopvarmningssystemet i huset især med henblik på hvilke returtemperaturer dette leverer.

Fælles for ovennævnte projekter er, at det er vanskeligt at drage generelle konklusioner vedrørende rumopvarmningsanlæg.

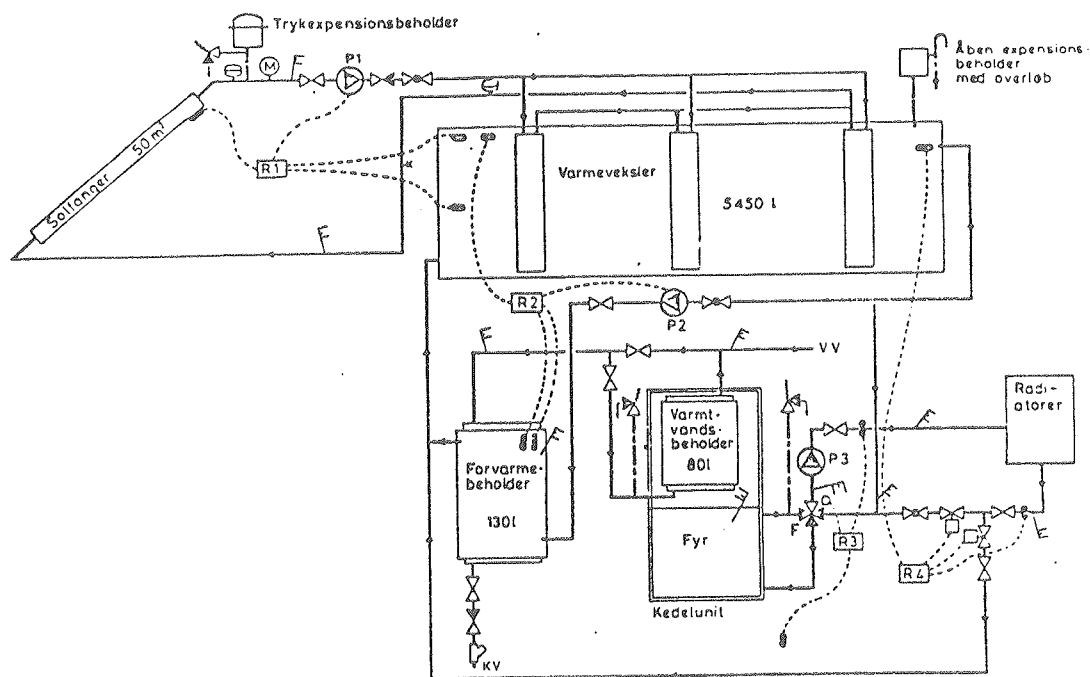
I store træk kan udviklingen indenfor aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning således på baggrund af foranstående opsummeres således:

1. Solvarmeanlæg til rumopvarmning har måttet gennemgå samme "lære" som solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

- De skal udføres så enkle som muligt
- de skal dimensioneres så præcist som muligt til varmebehovet
- de skal udnytte muligheden for temperaturstratificering optimalt

I modsætning til brugsvandsanlæggene har der dog ikke udviklet sig en velafprøvet og veldokumenteret praksis for anlægsudformning.

2. Forskellige rumopvarmningsprojekter har været udført. Nogle af disse har haft udmærkede resultater men det er vanskeligt at sætte disse resultater ind i en generel sammenhæng.
3. En del af fabrikkerne har udviklet systemløsninger som forhandles i et forholdsvis stort omfang på grund af efterspørgsel fra kunderne. Disse systemløsninger ser ud til at være fornuftige, men der foreligger ikke målinger på anlæggene.

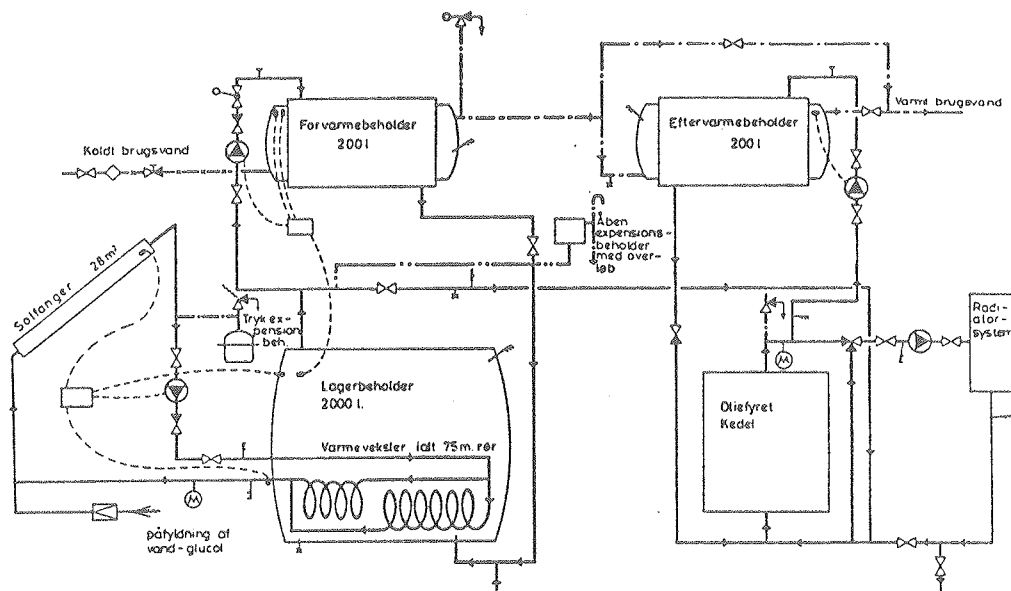


Principdiagram over
varmeanlægget i Greve.

	Afspæringsventil
	Kontraventil
	Drøvleventil
	Magnetventil
	Firvejsventil, motorstyret
	Sikkerhedsventil
	Pumpe
	Manometer
	Luftpotte
	Aftapningshane
	Termometer
	Temperaturføler til styring
	Styreenhed
	Snavssamler

Figur 1

Principdiagram. Demonstrationsanlægget i Greve.

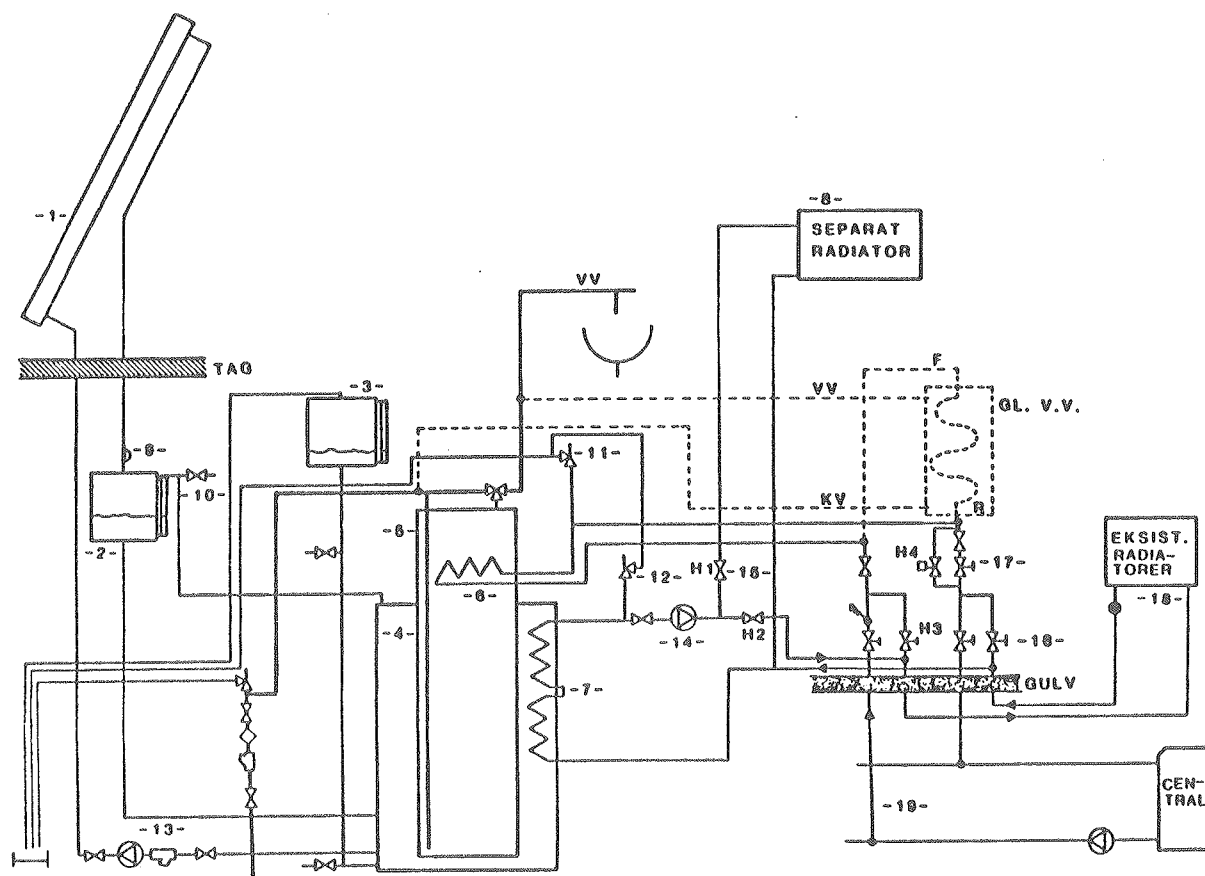


Principdiagram over
anlægget i Gentofte.

	Afspærringsventil
	Drøvelventil
	Kontraventil
	Termometer
	Aftapningsshane
	Magnometer
	Pumpe
	Strømningsretning
	Luftskrue
	Shuntventil

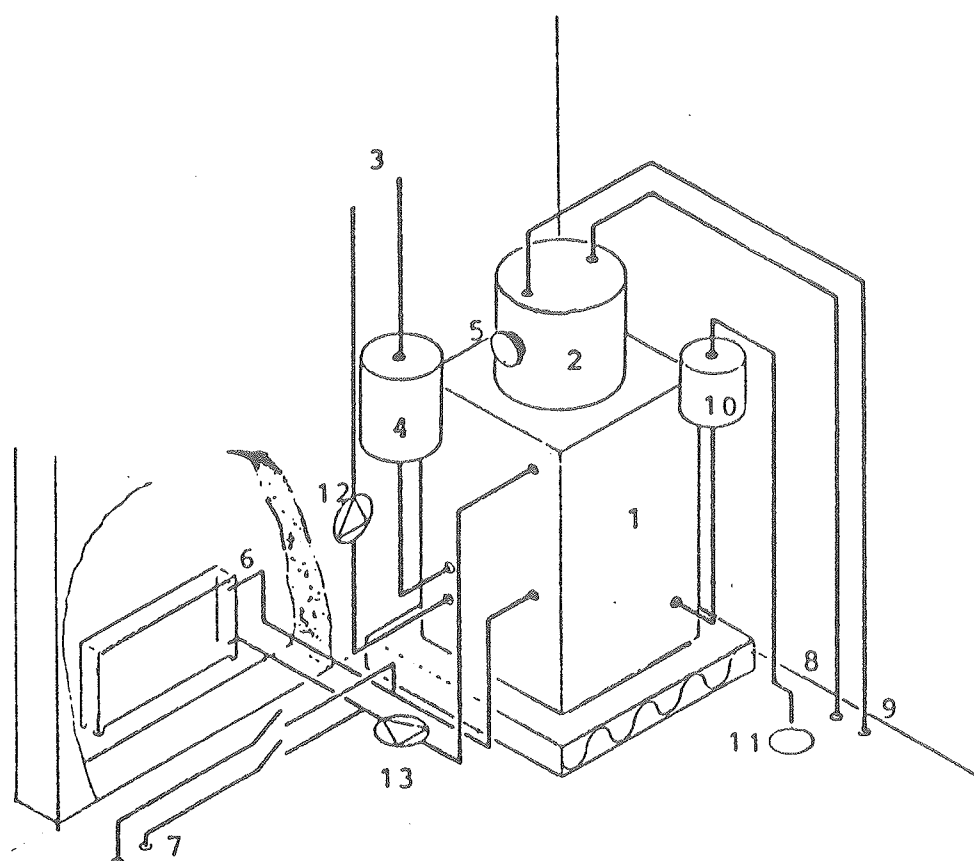
Figur 2

Principdiagram. Demonstrationsanlægget i Gentofte.



Figur 3

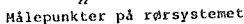
Principdiagram. Demonstrationsanlægget i Ejby.



1. Varmeakkumuleringsstank
2. Neddykket varmtvandsbeholder
3. Rørforbindelser til solfangerne
4. Plaskebeholder
5. Eftervarmning af brugsvand (fjernvarme/alternativt el)
6. Separat varmeafgiver med blæser
7. Afbrydelig forbindelse til de eksisterende radiatorer
8. Koldtvandstilgang
9. Varmt vand
10. Åben ekspansionsbeholder
11. Gulvafløb
12. Pumpe i solfangerkreds
13. Pumpe i varmekreds

Figur 4

Demonstrationsanlægget i Ejby. Opbygning i bryggers.

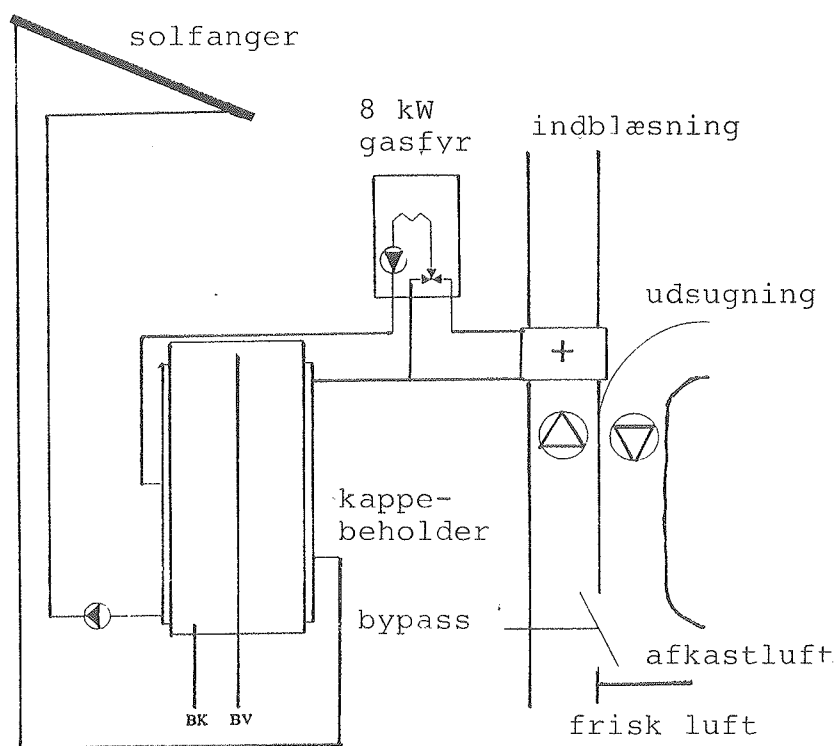


Figur 5



Figur 6

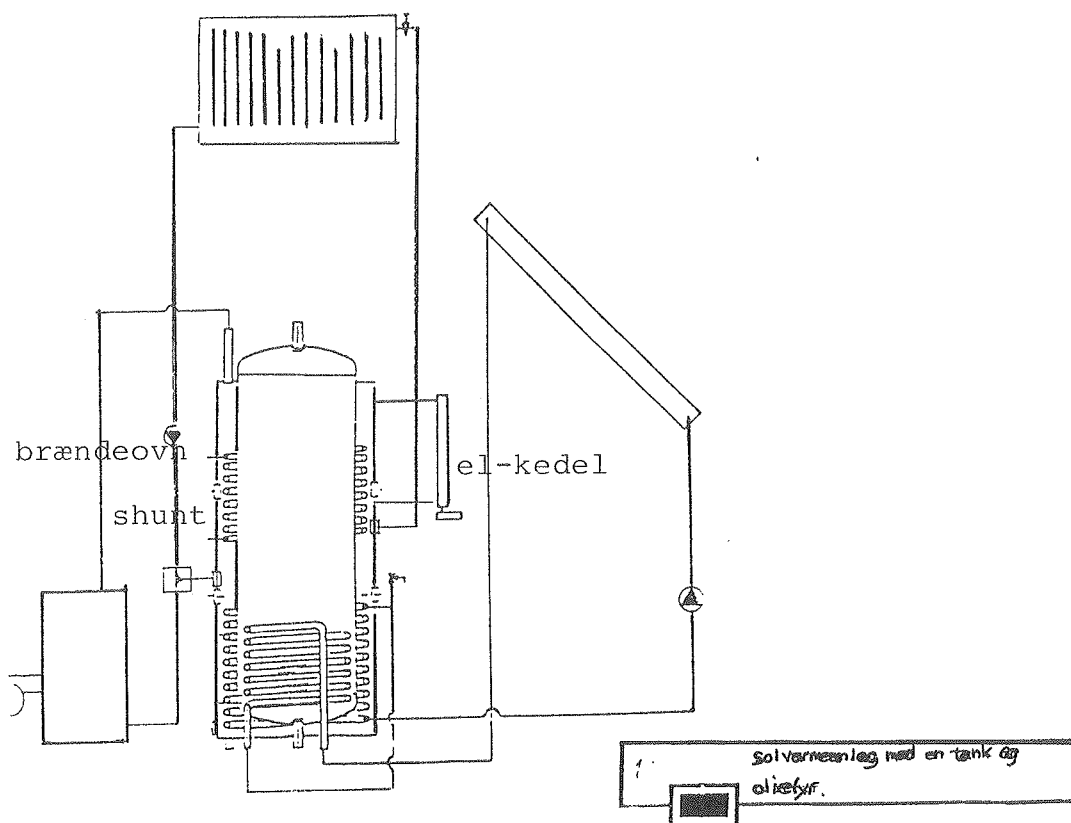
Principdiagram. Sol til gulvvarme-system.



Naturgas/solvarme anlæg med luftbåren varmeafdeling

Figur 9

Solvarme til rumopvarmning i lavenergihus.



Figur 10

Solvarme til rumopvarmning. Ringsted Energicenter.

3 Systemløsninger

Ved forskellige anvendelser af kombinerede anlæg, vil der måske være forskellige systemløsninger, som vil være mest hensigtsmæssige.

Der er udvalgt en række systemer som skønnes mest interessante at vurdere nærmere, og disse er så analyseret i forhold til en række anvendelser som er beskrevet i kapitel 4. Systemerne der er udvalgt er kun enkelte variationer af utallige mulige. De beregnede ydelser vil dog også ved mange variationer være repræsentative såfremt variationerne udføres fornuftigt og med respekt for anlæggets grundlæggende funktionsmåde samt naturligvis at anlæggene opføres i overensstemmelse med beregningsforudsætningerne.

Ved udvælgelsen af systemløsninger er der også skelet til hvilke systemløsninger der foreligger systemgodkendelse til fra Prøvestationen for Solvarmeanlæg. Der er dog kun et enkelt fabrikat der benytter low flow princippet i forbindelse med anlæg til rumopvarmning.

De analyserede systemløsninger er vist på Figur 11-Figur 18, (se side 24 og 27). På figurerne er kun angivet de principielle systemmæssige forhold. Disse er således absolut ikke udtømmende med hensyn til komponentbestykning m.m.

Ved de senere analyser af ydelserne for de forskellige systemløsninger ved forskellige anvendelser regnes der økonomi på den måde at rumopvarmningsanlæggenes økonomi sammenlignes med økonomien for solvarmeanlæg kun til brugsvandsopvarmning (se afsnit 4.2). For de forskellige systemløsninger er der derfor i dette kapitel angivet hvad de skønnede merudgifter til rumopvarmningsanlægget vil være i forhold til referencebrugsvandsanlægget (afsnit 3.2). Disse skøn er naturligvis kun vejledende, idet de forskellige forhold på installationstedet kan medføre store variationer. Priserne er skønnede ud fra reference [14] og reference [15].

Som nævnt i indledningen analyseres der i nærværende projekt ikke på anlæg der er integreret i bygningsudformningen (f.eks. i form af at benytte et betongulv med gulvvarmeslanger som varmelager).

3.1 Modelberegninger med EMGP3

Ved beregningerne af ydelserne for de forskellige systemløsninger er benyttet solvarmesimuleringsprogrammet EMGP3 (European Modelling Group Programme 3) (reference [16]).

Dette beregningsprogram er udviklet som en del af EF's solvarmeprojekter i et samarbejde mellem EF-landene. Selve programudviklingen er foretaget af professor W.L. Dutré ved universitetet i Leuven i Belgien.

Programmet er modulopbygget således at de solvarmeanlæg der simuleres kan sammensættes ud fra en lang række komponenter som findes i programmet (solfangerelement, rørelement, lagerelement o.s.v.). Programmet har gennemgået en omhyggelig validering således at hver komponent så vidt muligt er valideret for sig.

Hvordan den modelmæssige opbygning af systemerne er foretaget er antydnet på Figur 19-Figur 21 (se side 28 og 29), hvor systemernes beregningsmæssige opbygning er angivet. Udover selve systemkomponenterne påføres systemet en række eksterne funktioner (klimaparametre, opvarmningsforbrug, supplerende energi m.m.) samt en række "controllers" som styrer systemet og som svarer til termostater m.m. På Figur 19-Figur 21 er af hensyn til overskueligheden kun optegnet en del af systemelementerne (angivet med E()) og en del af de eksterne funktioner (angivet med Ex.). Figurerne kommenteres i øvrigt ikke videre, idet en detaljeret gennemgang af modelopbygningen og EMGP3 programmet lades ude af denne rapport (interesserede kan rette henvendelse til Laboratoriet for Varmeisolering).

3.1.1 Stratificering og low flow

Temperaturstratificering (d.v.s. det forhold at vand med forskellig temperatur og dermed forskellig massefylde lægger sig i forskellige lag i beholderen - det varmeste øverst) i varmtvandsbeholder og lagertank håndteres i programmet således, at tankene beregningsmæssigt deles op i flere dele. Når der tappes varme eller vand overføres der beregningsmæssigt varme fra den ene del til den anden. Dette er ikke en helt korrekt simulering af de virkelige forhold, hvor der ved tapninger snarere er tale om at temperaturskiftelag (grænsefladen mellem to lag med vand af forskellig temperatur) vandrer op og ned i beholderen.

Det er dog således at jo flere lag man opdeler lagerbeholderen i desto bedre kan man simulere forholdene korrekt. Mange lag i beholderen betyder imidlertid en forøgelse af regnetiden som i forvejen for de anlæg der er beregnet i dette projekt er på mellem ½ til flere timer. Hvor nøjagtigt man kan beregne anlæggene er således også et praktisk spørgsmål.

Man kan derfor ikke forvente helt korrekte beregningsresultater med modellen ved beregning af low flow anlæg, hvor det netop er meget væsentligt at kunne beregne de korrekte temperaturer og den korrekte lagdeling i tanken. Imidlertid findes der i dag ingen modulopbyggede simuleringsmodeller, som kan beregne low flow anlæg korrekt, hvorfor anvendelsen af EMGP3 har været den bedst fremkommelige vej.

Der er ved eksempler foretaget sammenligninger med den model til beregning af low flow anlæg som er udviklet på LfV. Hvor man ved low flow modellen i forhold til almindelige brugsvandsanlæg beregner merydelser på 10-15 % beregner man med EMGP3 modellen for brugsvandsanlæg merydelser på ca. 5 % når der regnes med et rimeligt (ca. 12) antal lag i lagerbeholderen. I de udførte beregninger er der af hensyn til regnetiden kun regnet med 5 lag i beholderne og ved at sammenligne disse beregninger med tilsvarende anlæg uden anvendelse af low flow princippet (d.v.s. normalt flow på 0.5 l/m² pr. minut og solfangerretur til bunden af lagerbeholderen) fås kun merydelser på f.eks 1 - 2 %. Det vurderes imidlertid at tendenserne ved beregningerne er korrekte, og at modellen godt kan benyttes til at sammenligne forskellige systemudformninger, men at beregningsresultaterne er i underkanten af det korrekte. (Dette opvejes måske så af at installationspraksis aldrig svarer til det optimale og derfor ofte vil forringe ydelserne).

3.1.2 Simulering af radiatorer

De beregnede systemer kan have varmeafgivere i form af radiatorer eller f.eks. i form af vand til luft varmevekslere indbygget i et ventilationssystem. Til en vis grad vil resultaterne også kunne anvendes når der indgår mindre gulvvarmesystemer (f.eks. i et badeværelsesgulv). Der er dog ikke taget hensyn til varmeakkumulering i bygningskonstruktioner eller til at fremløbstemperaturen skal sænkes ved gulvvarmesystemer.

I systemdiagrammerne er der som varmeafgivere tegnet radiatorer. Dette kan således også være andre former for varmeafgivere. For eksisterende huse vil radiatorer måske i mange tilfælde være mest relevante.

I den måde EMGP3 modellen er benyttet ved beregningerne er varmeafgiverne simuleret med en konstant varmeoverføringskoefficient.

For radiatorer er dette ikke helt korrekt og da afkøling over radiatorer samt flow i radiator kredse vil have stor betydning for solvarmeanlæggenes ydelse, er betydningen heraf undersøgt nærmere i bilag 2. Det konkluderes her at afvigelserne mellem de korrekte værdier for returtemperaturer efter radiatorer og de beregnede værdier vil være små.

Det må imidlertid pointeres kraftigt at de temperaturer og flow der fremkommer i simuleringerne er ideelle på den måde at de svarer til temperaturer og flow gennem én radiator reguleret med en radiatorventil. I praksis vil der ved flere radiatorer ofte være én eller flere, som er "kortsluttet", (f.eks. en åben radiator under et åbentstående vindue). Derved kan der ikke opnås den ideelle afkøling i radiatorsystemet, hvilket kan have meget stor betydning for solvarmeanlæggets ydelse. Såfremt der installeres et solvarmeanlæg til rumopvarmning må det således sikres at returtemperaturen fra radiatorerne holdes nede, f.eks. ved temperaturstyring af returtemperaturen.

3.1.3 Solfangere

Ved beregningerne anført i kapitel 4 er der benyttet solfangere med et lag glas og med selektiv belægning.

Den benyttede effektivitet er: (svarende til en ved Laboratoriet for Varmeisolering målt effektivitet på en typisk solfanger)

$$\eta = 0,78 - 4,4 \frac{T_m - T_a}{I} - 0,011 \frac{(T_m - T_a)^2}{I}$$

hvor:

η :	Solfangerens effektivitet	
T_m :	Middeltemperatur af væske i solfanger	°C
T_a :	Udelufttemperaturen	°C
I :	Bestrålingsstyrke	W/m ²

I afsnit 4.8 er det vurderet at det ved de systemer der er analyseret i denne rapport ikke kan betale sig at benytte solfangere med et ekstra lag teflon, således som det kan betale sig ved solvarmeanlæg til fjernvarmeformål.

Ved vurderingen i afsnit 4.8 er for den højeffektive solfanger benyttet en effektivitet på:

$$\eta = 0,82 - 4.6 \frac{T_m - T_a}{I}$$

Den højeffektive solfanger har ifølge priseksemples en merpris i forhold til solfangeren uden teflon lag på 417 kr/m² solfanger.

Der er ved alle beregningerne regnet med en solfangerhældning på 45° mod vandret og med solfangeren orienteret mod syd.

3.1.4 Øvrige komponenter

Der er i beregningerne regnet med lagerstørrelser på ca 50 liter pr. m² solfanger. Heraf udgør den del af beholdervolumet, som indeholder brugsvandet minimum 200 liter. Beholderne regnes isoleret til rimelig standard med min. 100 mm. mineraluld.

Endvidere er rørlængder og varmetab fra rør samt øvrige komponenter vurderet for de forskellige anlægsudformninger og anlægsstørrelser.

I det følgende beskrives de analyserede systemer.

3.2 Anlæg kun til brugsvandsopvarmning (referenceanlæg)

Som reference for de beregnede anlæg (se senere i afsnit 4.2) benyttes et anlæg kun til brugsvandsopvarmning. Anlægget er vist på Figur 11, Figur 22, Figur 26, (se side 24, 32, 39).

3.3 "Udvidet brugsvandsanlæg"

3.3.1 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet eksisterende radiatorer

Systemet er optegnet på Figur 12, (se side 24). Systemet har været foreslået af en fabrikant. Princippet går ud på ved billig udvidelse af brugsvandsanlægget, at kunne supplere energi til rumopvarmningsbehov.

Systemet består af et low flow anlæg med kappebeholder, hvori der i toppen er indsat en spiralvarmeveksler i forbindelse med fyret og husets radiatorsystem.

Når fyret er i drift (forår, vinter, efterår), opvarmes toppen af beholderen ved hjælp af oliefyret til temperaturen for det varme brugsvand er 55°C. Såfremt solfangeren kan bringe temperaturen i beholderen højere op leveres der også varme til radiatorerne.

Om sommeren slukker fyret og solvarmeanlægget leverer varme til det varme brugsvand og til opvarmningen. Det varme brugsvand eftervarmes til brugsvandstemperaturen af et el-varmelegeme i toppen af beholderen.

Fordele: Billigt anlæg til rumopvarmning da der kun kræves ganske få ekstra komponenter i forhold til et brugsvandsanlæg.

Ulemper: Om sommeren er radiatorvarmevekslerens placering i toppen af beholderen med til at formindske temperatur stratificeringen.

Da der varmelagres i brugsvandet kan anlægget kun levere til mindre dækningsgrader af rumvarmebehovet for ikke at få lagervolumenet for stort i forhold til forbruget af brugsvand.

Udenfor sommerperioden kan der kun leveres varme til radiatorerne når temperaturen i beholderen er over brugsvandstemperaturen.

Systemet kan formentlig forbedres ved at indføre en varmeveksler mellem solfangerkredsen og radiatorkredsen således at der kan leveres varme til radiatorerne uden om varmtvandsbeholderen.

Når der ses bort fra low flow princippet svarer systemet i øvrigt til systemgodkendte anlæg fra flere fabrikanten.

Ekstrakomponenter og ekstraarbejder i forhold til brugsvandsanlæg (referenceanlægget Figur 11, Figur 22, Figur 26), (se side 24, 32, 39):

Komponenter	Anslået værdi for 6.45 m ² anlæg	
	Komponent	Samlet arbejde
3 afspærringsventiler	60 kr	175 kr
shuntventil	220 kr	500 kr
rørtræk	5 m	1250 kr
ekstra installationsarbejde		500 kr
	i alt	2425 kr

3.3.2 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet separat radiator system

Fordelen ved dette system (vist på Figur 13, se side 25) er, at systemet kan levere varme hele året så snart beholdertemperaturen er varmere end returtemperaturen fra den separate radiator. Ydelsen bliver på denne måde højere, men til gengæld skal der investeres i en ny radiator eller varmeplade (f.eks. til indsættelse i ventilationssystemet) til brug for solvarmesystemet. Ideen med at benytte den separate radiator er beskrevet nærmere i reference [2] og [3].

I det viste system skal det varme brugsvand eftervarmes udenfor solvarmetanken for eksempel i en eksisterende varmtvandsbeholder eller i en gennemstrømningsvandvarmer.

Ekstrakomponenter og ekstraarbejder i forhold til brugsvandsanlæg (referenceanlægget Figur 11, Figur 22, Figur 26, se side 24, 32, 39) :

Forudsat at eksisterende varmtvandsbeholder benyttes

Komponenter	Anslået værdi for 6.45 m ² anlæg	
	Komponent	Samlet arbejde
radiator/varmefflade	220 kr	570 kr
radiatorventil	150 kr	210 kr
pumpe	600 kr	1500 kr
rørtræk	10 m	1500 kr
ekstra installationsarbejde		500 kr
	i alt	4280 kr

3.4 Drain back system

Systemdesignet, som er vist på Figur 14 (se side 25), er fremkommet som et resultat af overvejelserne under dette projekt.

Der lagres primært i brugsvandsbeholderen, men hvis anlægget bygges til større dækningsgrader vil brugsvandsvolumenet være for lille. Systemet kan da udbygges som vist på figuren med en ekstra lagerbeholder.

Systemet er udformet så det så vidt muligt udnytter temperaturstratificeringen optimalt.

Ved at udføre solvarmeanlægget som drain back system kan dette formentlig i nogle tilfælde udføres så der undgås varmeveksling mellem solfangerkredsen og radiatorkredsen.

Systemet er afprøvet under nærværende projekt, hvilket beskrives i kapitel 5.

I modelarbejdet er der gennemgået to tilfælde. I begge tilfælde forudsættes returledningen fra radiatorerne at komme ind i bunden af beholderen, men i det ene tilfælde forudsættes beholderens temperatur ud for indløbet af returledningen at antage dennes temperatur. I det andet tilfælde antages returledningens vand at fordele sig til det højdeniveau i tanken der har samme temperatur som returledningen. Beregningsmæssigt var der størst ydelse ved det sidste system, men da forskellen var lille er der kun angivet resultater for det ene system (det første).

Endvidere er der regnet på systemet tilsluttet et radiatorsystem hvor der udføres supplerende opvarmning i kredsen (tilsluttet husets radiatorsystem), samt et system hvor der ikke udføres supplerende opvarmning (med separat radiator eller varmefflade).

Ekstrakomponenter og ekstraarbejder i forhold til brugsvandsanlæg (referenceanlægget Figur 11, Figur 22, Figur 26 se side 24, 32, 39) :

Komponenter	Anslået værdi for 6.45 m ² anlæg	
	Komponent	Samlet arbejde
eventuel ekstra lagerbeholder	1000 kr	2000 kr
3 afspærringsventiler	60 kr	175 kr
rørtræk	5 m	1250 kr
ekstra installationsarbejde		500 kr
eventuelt ekstra varmeveksler		1000 kr
	i alt	1925 kr - 4925 kr
Ved drain back		
Spares:		
ekspansionsbeholder	250 kr	750 kr
glucol	100 kr	100 kr
	i alt	850 kr
Ekstra:		
Tømmebeholder	200 kr	700 kr
Eventuel frostbeskyttelse af solfangerrør (styring el. varmetråd).		1000 kr
	i alt	700 kr - 1700 kr

3.5 System med termisk adskilt rumvarmebeholder og varmtvandsbeholder

Systemet er vist på Figur 15 (se side 26). Systemet kunne være velegnet hvor solvarmelagerbeholderen ikke kan anbringes umiddelbart op ad varmtvandsbeholderen som for eksempel i bebyggelser med et centralt solvarmelager der forsyner flere boliger. (se Figur 16, Figur 17 og Figur 18, side 26 og 27).

For mindre dækningsgrader vil ydelsen være meget afhængig af at der sikres lav returtemperatur fra varmtvandsbeholderen til lagerbeholderen. Dette kan i praksis formentlig være vanskeligt at udføre effektivt.

Ekstrakomponenter og ekstraarbejder i forhold til brugsvandsanlæg (referenceanlægget Figur 11, Figur 22, Figur 26 (se side 24, 32, 39):

Komponenter	Anslået værdi for 6.45 m ² anlæg	
	Komponent	Samlet arbejde
ekstra lagerbeholder	300 kr	2000 kr
termostatisk reguleringsventil	390 kr	460 kr
rørtræk	5 m	1250 kr
ekstra installationsarbejde		500 kr
	i alt	4210 kr

Spares:

I mange tilfælde vil
den eksisterende VVB
kunne benyttes

Ved drain back

Spares:

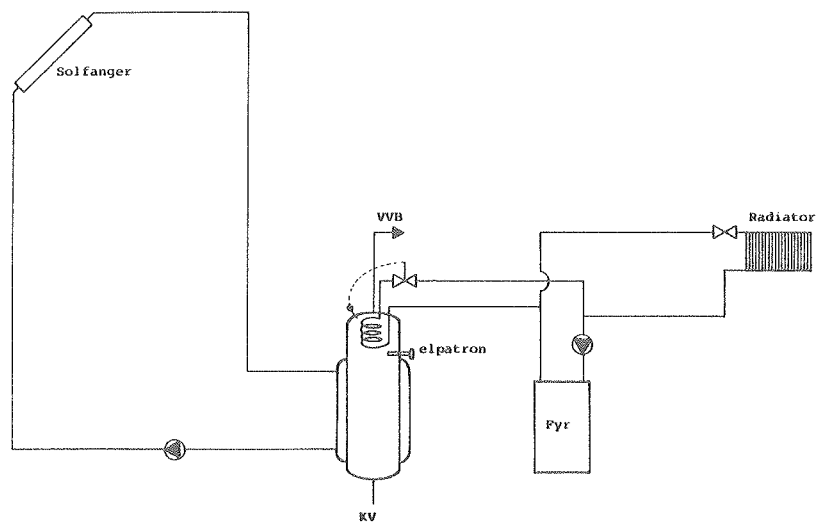
ekspansionsbeholder	250 kr	750 kr
glucol	100 kr	100 kr
i alt		850 kr

Ekstra:

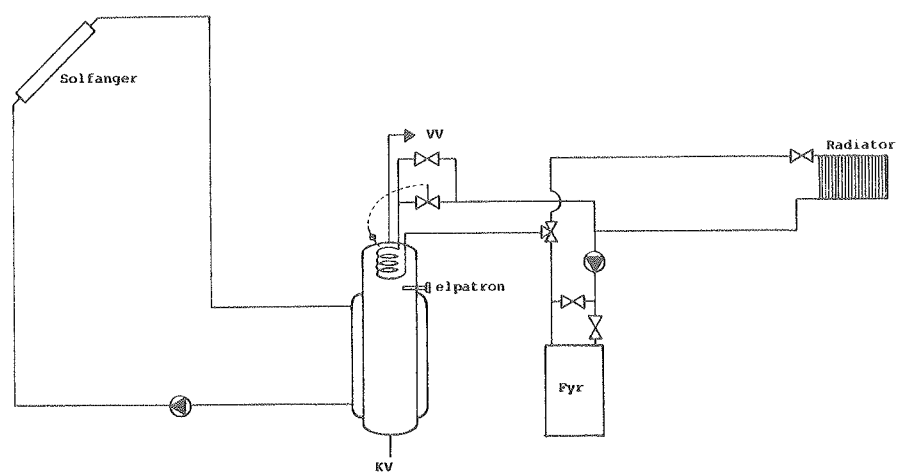
Tømmebeholder	200 kr	700 kr
---------------	--------	--------

Eventuel frostbeskyttelse
af solfangerrør (styring el.
varmetråd).

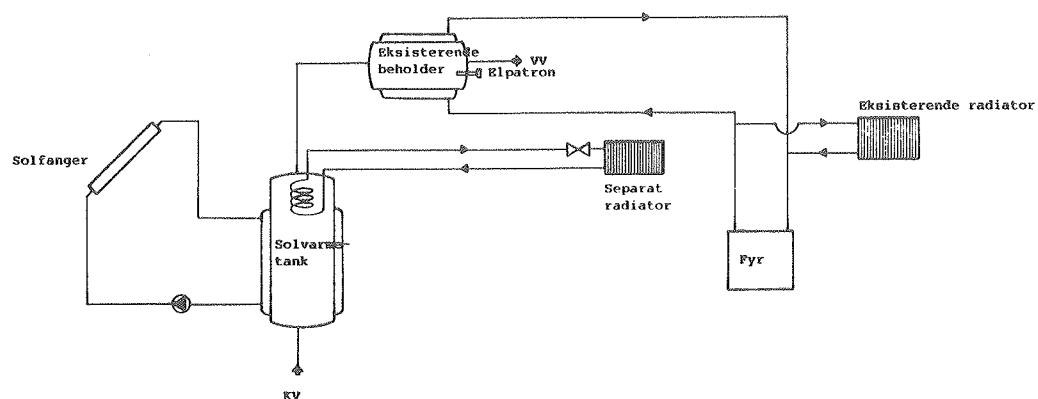
	1000 kr
i alt	700 kr - 1700 kr



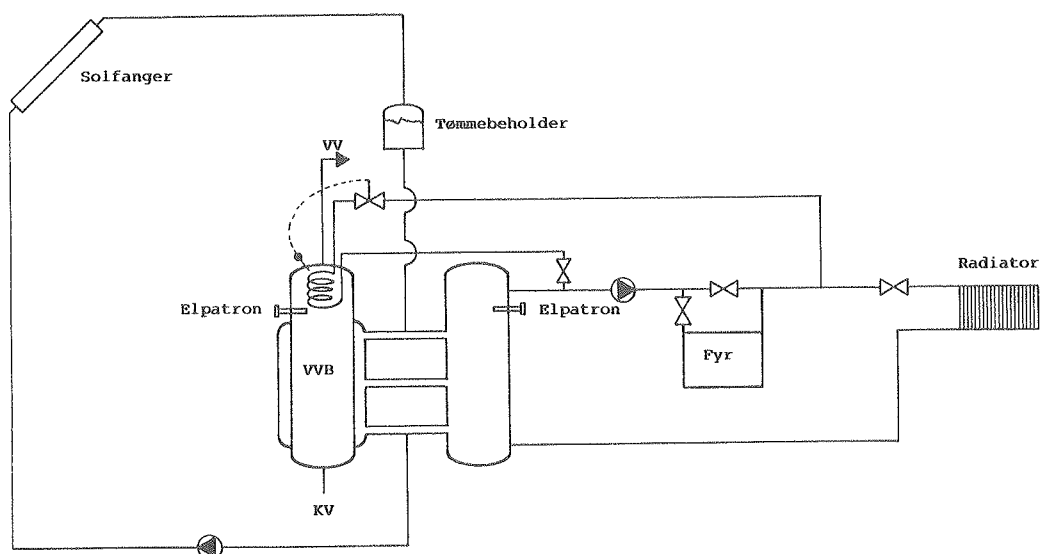
Figur 11 Solvarmeanlæg kun til brugsvandsopvarmning.



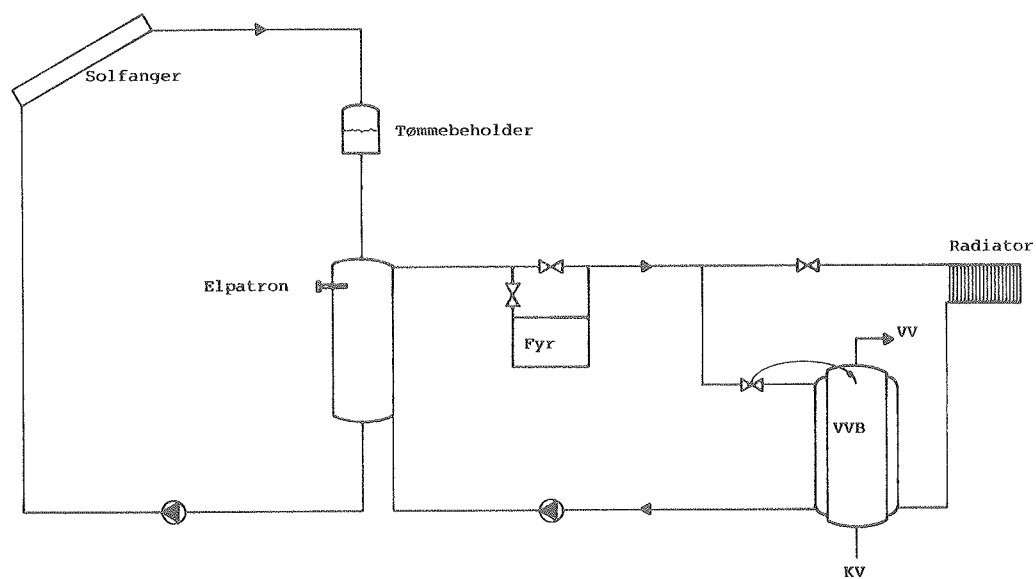
Figur 12 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet husets radiatorsystem



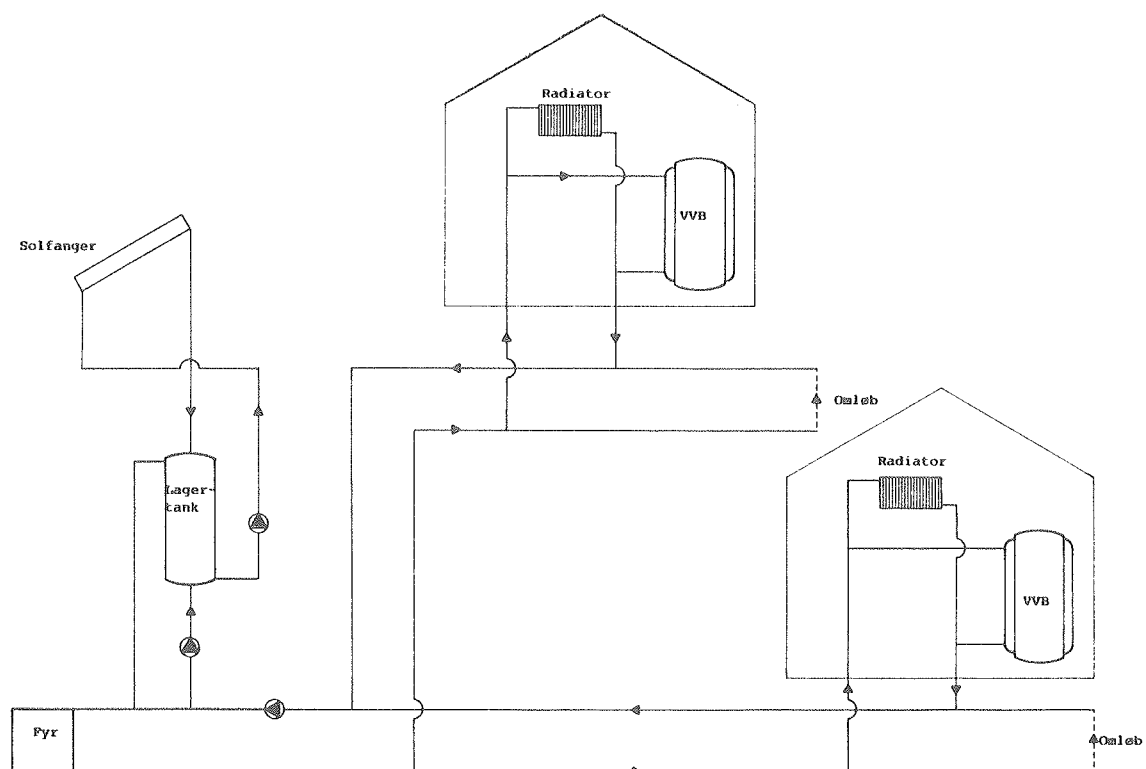
Figur 13 "Udvidet brugsvandsanlæg" med separat radiator



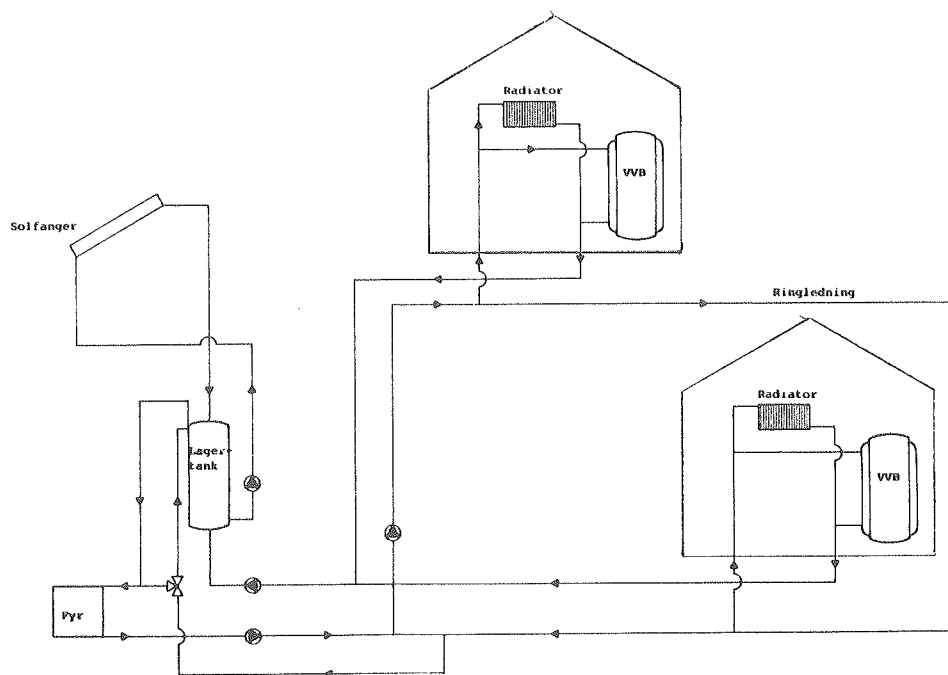
Figur 14 "System med drain back" tilsluttet husets radiatorsystem



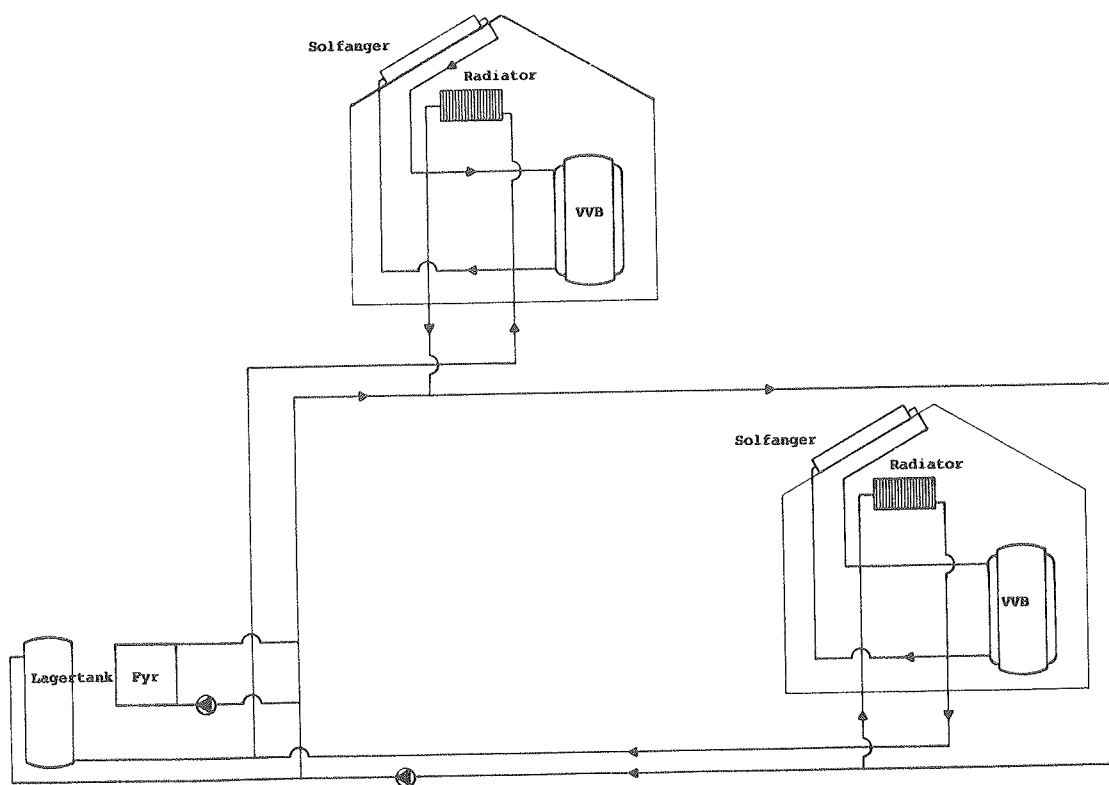
Figur 15 "System med separat VVB"



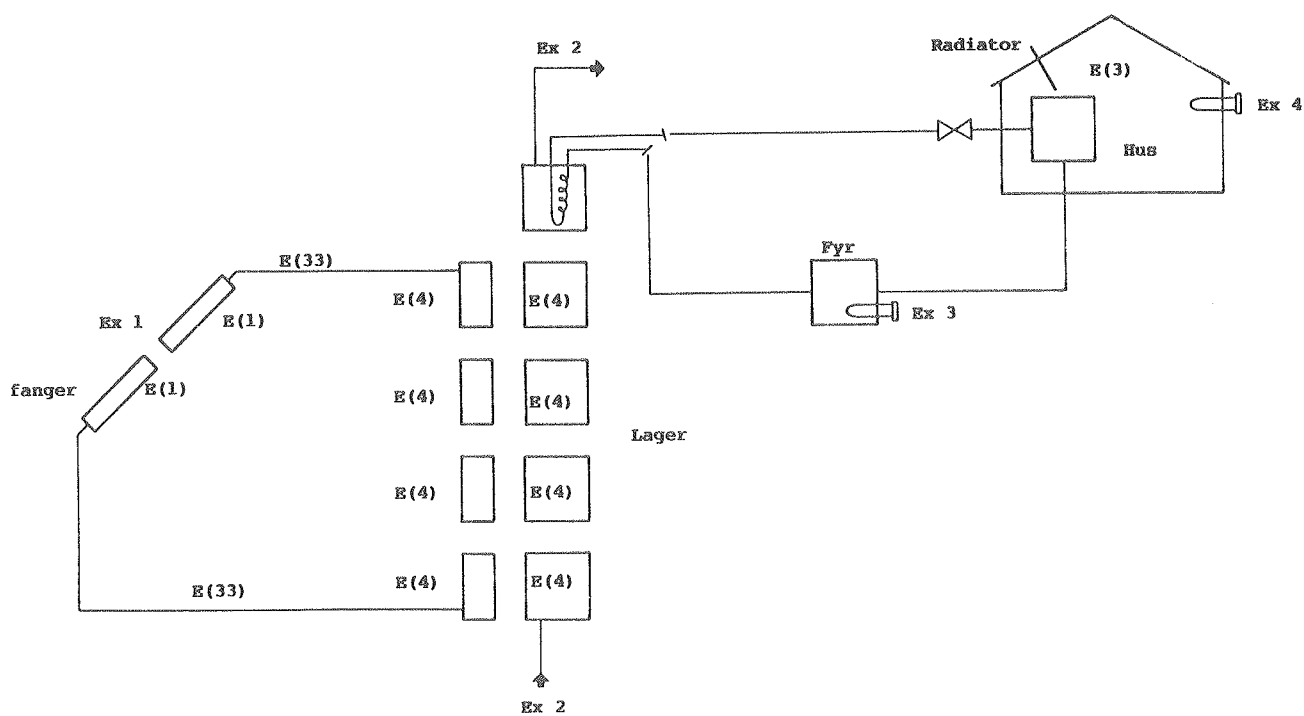
Figur 16 Fjernvarmesystem med centralt solvarmeanlæg.



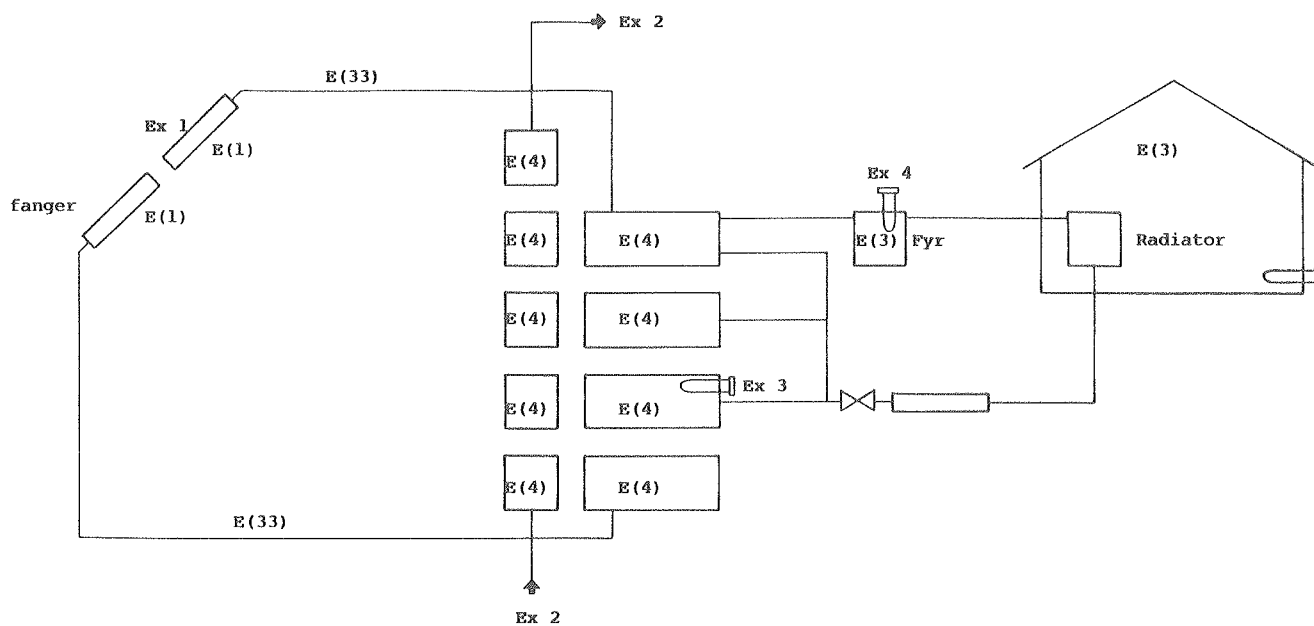
Figur 17 Fjernvarmesystem med centralt solvarmeanlæg der udnytter lav returtemperatur.



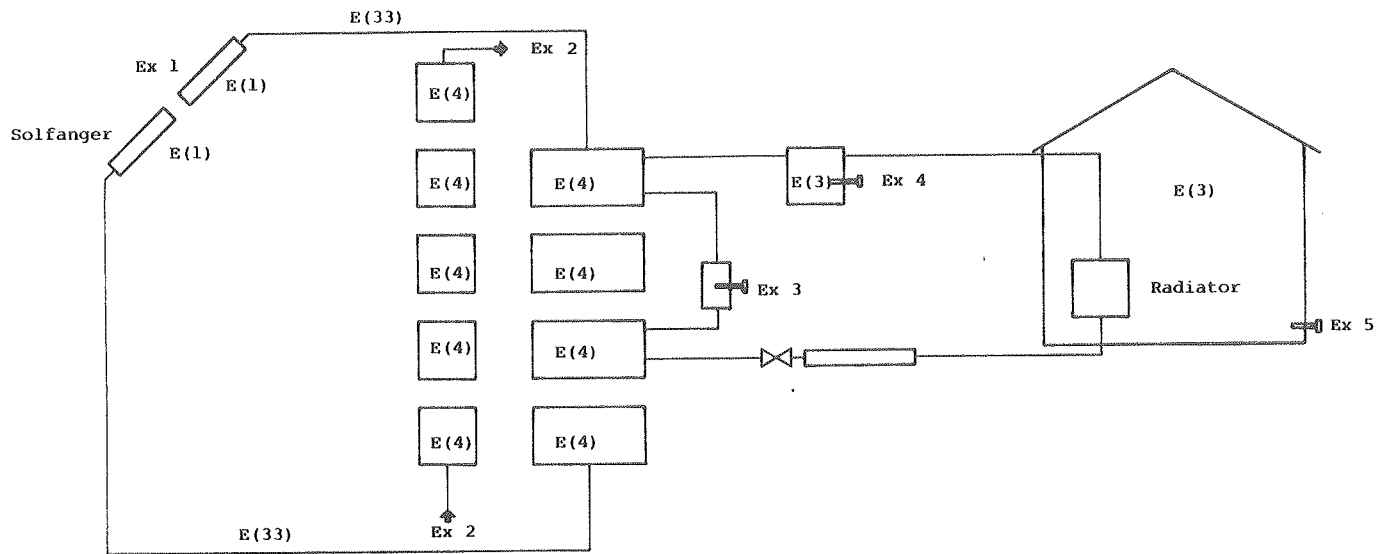
Figur 18 Fjernvarmesystem med decentrale solvarmeanlæg.



Figur 19 EMGP3 modelopbygning "udvidet brugsvandsanlæg"



Figur 20 EMGP3 modelopbygning. "Drain back system".



Figur 21 EMGP3 modelopbygning. "Drain back system med lagring af nat-el".

4 Kombinerede solvarmeanlæg til rumopvarmning og brugsvandsopvarmning-anvendelsesmuligheder

Ved de først udførte projekter med kombinerede solvarmeanlæg har der ikke været udført nogen systematisk vurdering af ved hvilke anvendelser kombinerede solvarmeanlæg vil være mest fordelagtige. Ved de tidligere demonstrationsprojekter har man især interesseret sig for én anvendelse, nemlig et slags "standard" parcelhus opvarmet med olie - eller gasfyr.

Imidlertid kan rentabiliteten og systemdesignet være noget afhængige af hvor anlægget anvendes, hvorfor der nedenfor er forsøgt udpeget nogle anvendelser som ud fra forskellige kriterier kan være interessante at undersøge nærmere.

4.1 De forskellige anvendelsesmuligheder som diskuteres nærmere er:

1. Eksisterende olie- og naturgasfyrede enfamiliehuse. (afsnit 4.3)
2. Eksisterende enfamiliehuse med el-opvarmning. (afsnit 3.5, 4.4)
3. Nybyggeri, enfamiliehuse, lavenergi. (afsnit 4.5)
4. Nybyggeri med fælles varmecentral. (afsnit 4.6)
5. Institutioner, for eksempel plejehjem, hvor der er opvarmningsbehov hele sommeren. (afsnit 4.7)

4.2 Anlægsøkonomi - Sammenligning med brugsvandsanlæg

Der er i rapporten regnet økonomi på den måde at priser og ydelser for et solvarmeanlæg til kombineret rumopvarmning og brugsvand er relateret til et solvarmeanlæg kun til brugsvand.

(Ydelserne for et solvarmeanlæg kun til brugsvandsformål er til sammenligningsformål angivet i Tabel III.)

Dette er gjort for at opnå en økonomisk vurdering, som er forholdsvis uafhængig af markeds-svingninger på anlægskomponenter, støtteordninger samt priser for supplerende energi.

Rapportens konklusion vil således kunne benyttes til at angive om det i nogle tilfælde vil være mere rentabelt at opføre et anlæg til både brugsvand og rumopvarmning end et anlæg kun til brugsvandsopvarmning.

Som referenceanlæg for parcelhuse er benyttet et brugsvandsanlæg på 6,45 m² (svarende til 3 solfangerpaneler). Et anlæg på 4,3 m² (2 solfangerpaneler) vil dog have næsten samme økonomi. Økonomiberegningerne er angivet i Tabel I.

Tabel I Økonomi af brugsvandsanlæg.

<u>Reference brugsvandsanlæg</u>		
Brugsvandsforbrug	150 l/døgn ~	2500 kWh/år
	4,3 m ²	6,45 m ²
Leveret solvarme	1450 kWh/år	1700 kWh/år
Sparet tomgangstab (400 W i 18 uger)	<u>1210 kWh/år</u>	<u>1210 kWh/år</u>
Sparet energi	2660 kWh/år	2910 kWh/år
Supplerende el sommer	96 kWh/år	26 kWh/år
Olie ekvivalent af supplerende el (x 1,7)	164 kWh/år	44 kWh/år
Sparet energi (olie ekvivalent)	- $\frac{2660}{2500 \text{ kWh/år}}$	- $\frac{2910}{2870 \text{ kWh/år}}$
Anlægspris (ex. moms ex. tilskud)	26.200 kr.	30.300 kr.
Anlægspris pr. sparet energi (ex. moms ex. tilskud)	10,5 kr./kWh/år	10,6 kr./kWh/år

Ud fra oplyste priseksempler er skønnet en anlægspris på 30.300 kr. ex. moms og ex. tilskud (se Figur 22, se side 32).

Med et brugsvandsforbrug på 2550 kWh/år svarende til 150 liter/døgn vil dette anlæg yde 1700 kWh/år med en årlig dækningsgrad på 67 % og med en dækningsgrad i sommermånederne på op til 100 %.

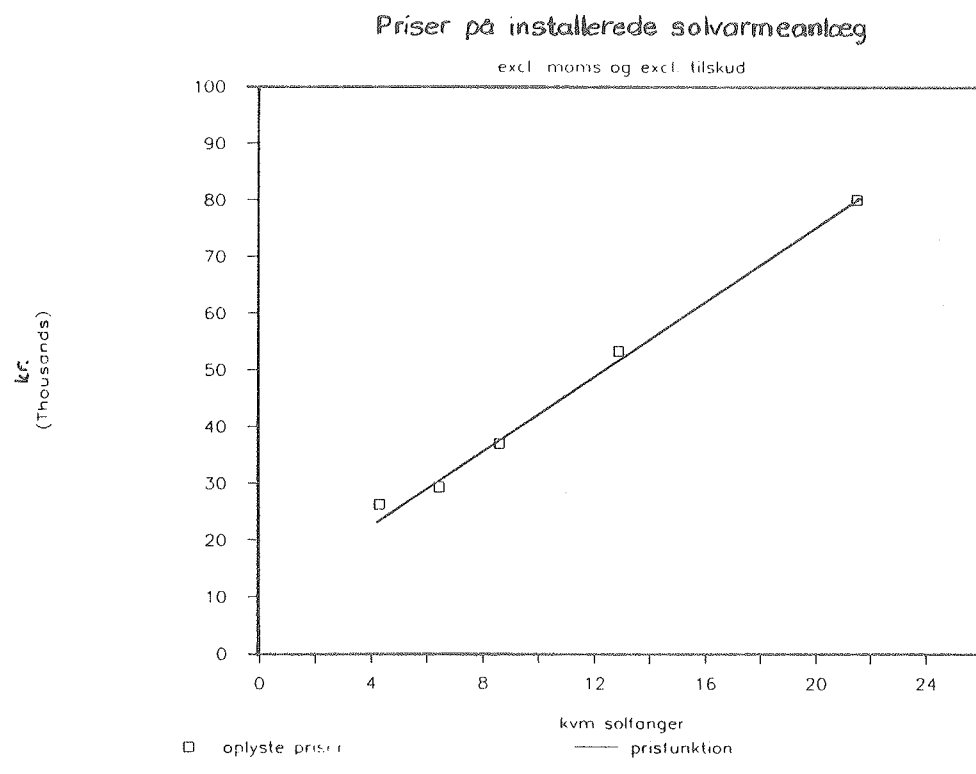
Sådanne anlæg sælges der mange af og for et oliefyret hus hvor oliefyret slukkes i 18 uger om sommeren (der leveres således ikke varme til rumopvarmning om sommeren), vil økonomien se ud som angivet i Tabel I. (Der er ved alle vurderingerne set bort fra el til solfangerpumpen, dels

Oplyste priseksempler.

Total pris for installerede anlæg excl. moms og excl. tilskud

Solfanger	Beholder	Veksler	Pris
4.3 m ² (2 paneler)	300 l. beh	2 spiraler	26.200 kr
6.45 m ² (3 paneler)	300 l. beh	2 spiraler	29.200 kr
8.6 m ² (4 paneler)	500 l. beh	kappe-spiral	36.900 kr
12.9 m ² (6 paneler)	700 l. beh		53.200 kr
21.5 m ² (10 paneler)	930 l. beh		80.000 kr

32



Figur 22 Priser på solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Priseksempler.

fordi elforbruget er forholdsvis beskedent, og dels fordi det antages at være nogenlunde ens for de forskellige systemer.)

Den sparede energi på 2870 kWh/år kan omregnes til besparelser i kroner ved at multiplicere med den aktuelle oliepris korregeret for brændværdi samt fyrets virkningsgrad. Prisen for supplerende el er således modregnet ud fra den antagelse at el er ca. 1,7 gange så dyr som olieproduceret energi.

Ved at dividere anlægsprisen med energibesparelsen, fås i det benyttede brugsvandseksempel en anlægspris på 10.6 kr pr. sparet kWh.

4.2.1 Rumopvarmningsbehov

Ved bestemmelse af rumopvarmningsbehov om sommeren, f.eks. med beregningsprogrammer der simulerer husets varmekonsum ud fra referenceårets klimadata vil der som regel være et vist forbrug til opvarmning i sommerperioden. Dette forbrug vil formentlig i nogle huse være reelt nok, såfremt der er tændt for radiatorerne i hele sommerperioden.

I praksis vil mange imidlertid lukke for radiatorerne om sommeren, og således i korte perioder acceptere lavere temperatur end de 21°C antaget i beregningerne.

Det er klart at forbrugsmønstret med hensyn til rumopvarmning om sommeren vil have stor betydning for solvarmeanlæg der leverer varme til rumopvarmning.

I det følgende er der derfor foretaget beregninger (i de efterfølgende tabeller (se nedenfor) angivet med A), hvor der er regnet med fuldt opvarmningsforbrug om sommeren, det vil sige at solvarmeanlægget (incl. el-back up) også hele sommeren sørger for at holde huset opvarmet til den ønskede temperatur.

Desuden er der foretaget beregninger hvor radiatoranlægget forudsættes slukket i hele sommerperioden (fra 4. juni til 1. september, i alt 13 uger) (i tabellerne angivet med B). De to beregningstilfælde må således forudsættes at være to ydertilfælde for de beregnede ydelser.

Da det har vist sig at forholdet mellem de beregnede ydelser i tilfælde A og B er nogenlunde konstant er der dog i mange af beregningstilfældene kun foretaget beregninger med fuldt opvarmningsbehov om sommeren (A), idet ydelserne uden opvarmningsbehov om sommeren vil kunne skønnes.

4.2.2 Anlægsøkonomi og ydelser - Tabeller

I tabellerne (Tabel IV - Tabel XIX) er angivet de beregnede brutto- og nettoydelser for de forskellige solvarmesystemer. Bruttoydelsen er den ydelse som solfangeren leverer til lagertanken medens nettoydelsen er den nyttiggjorte solvarme i systemet; det vil sige behovet for rumvarme og brugsvand, fratrukket det beregnede forbrug af supplerende energi. Forskellen mellem netto- og bruttoydelsen vil være lagerbeholderens (el-lagerbeholderens) varmetab.

I tabellerne er endvidere angivet de beregnede dækningsgrader for rumvarmen og brugsvandet (dækningsgraden er den procentdel af henholdsvis rumvarmebehovet og brugsvandsbehovet som dækkes af solvarme). Dækningsgraderne er angivet dels for hele året og dels for sommerperioder på henholdsvis 20, 16, 14 og 12 uger (eller 5, 4 og 3 måneder).

Formålet hermed er at kunne vurdere om det vil være hensigtsmæssigt at slukke et eventuelt oliefyr i sommerperioder for derved at kunne spare fyrets tomgangstab.

Ved hvilken dækningsgrad det vil kunne betale sig at slukke oliefyret og eventuelt gå over til at supplere med el-varmelegemer i solvarmesystemet afhænger af energipriserne samt størrelsen af fyrets tomgangstab.

Det er normal praksis at dimensionere rene brugsvandsanlæg til en sommerdækningsgrad på ca. 90 %.

I tabellerne er endvidere nederst angivet, hvad anlægsprisen for det kombinerede anlæg må være, når der som i eksemplet med brugsvandsanlægget regnes med en anlægspris på 10,6 kr pr. sparet kWh/år. De angivne anlægspriser fremkommer simpelthen ved at multiplicere de angivne energibesparelser (incl. sparet tomgangstab) med 10.6. (Eller for huse med el-back up med 18.02 ; se afsnit 3.5, 4.4).

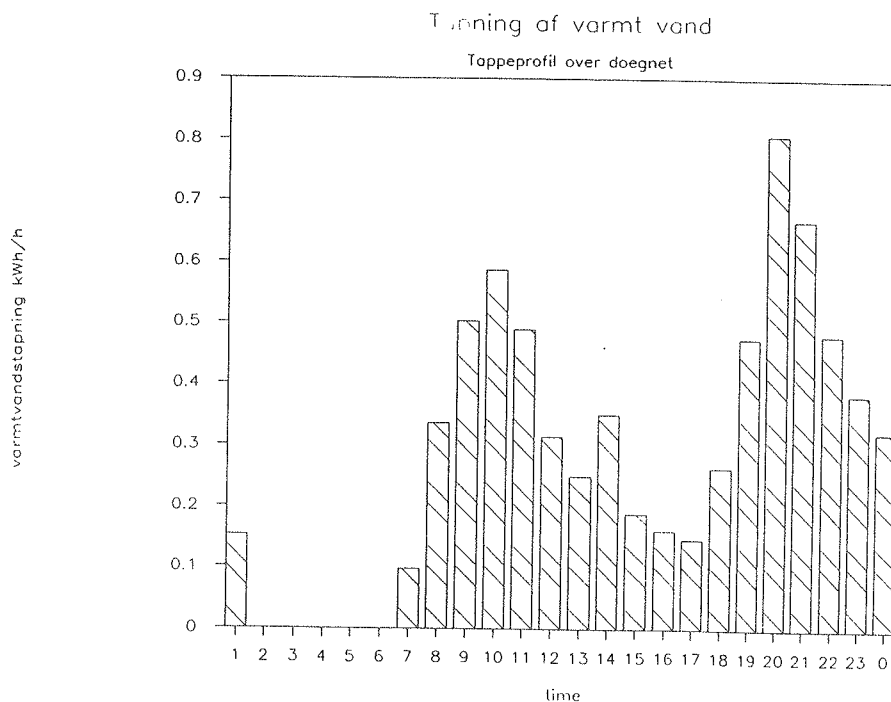
Endvidere er til sammenligning angivet hvad et solvarmeanlæg på samme solfangerareal kun til brugsvand koster - idet dette anses for den minimalt opnåelige anlægspris for et solvarmeanlæg i denne størrelse.

Såfremt der er en positiv forskel skulle denne så angive den merpris der er til rådighed for at modificere anlægget til et anlæg både til rumopvarmning og brugsvand såfremt der ønskes samme rentabilitet som for et normalt anlæg kun til brugsvand.

Tallene i tabellerne er ikke afrundet til nærmeste 10'ere eller 100'ere som de måske burde for ikke at give indtryk af større nøjagtighed i beregningerne og i de økonomiske forudsætninger end der er basis for. Det er imidlertid valgt at bevare samtlige cifre for bedre at give indtryk af tendensen i tallene.

4.3 Eksisterende olie- eller naturgasfyrede enfamiliehuse med et rumopvarmningsbehov der ikke er lille

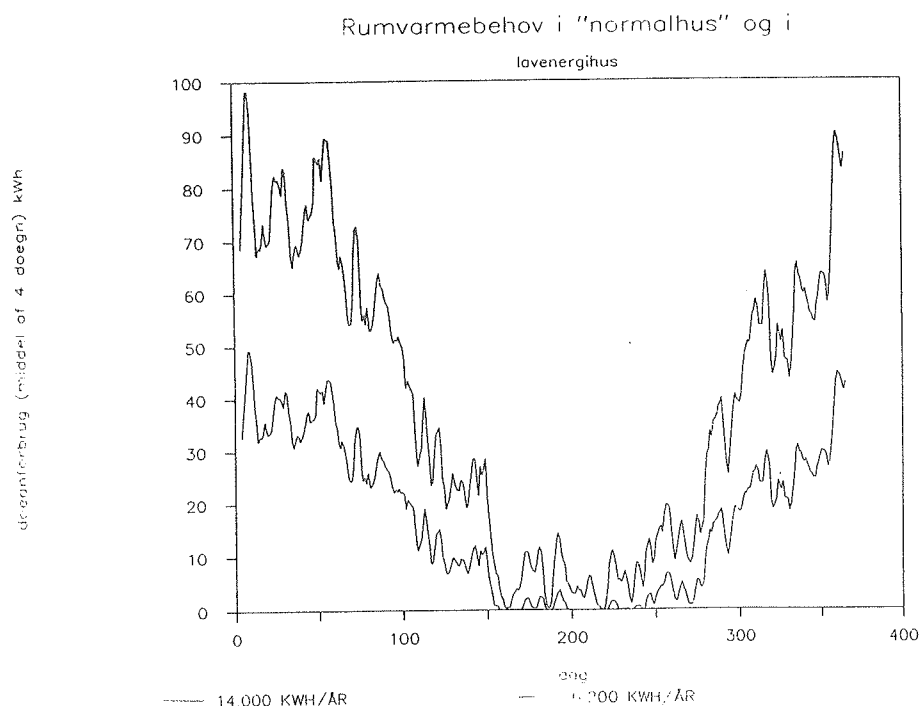
Der forudsættes et hus med et årligt rumopvarmningsbehov på 14.000 kWh (d.v.s et hus på ca 120 m² boligareal isoleret til standard BR 77, jvf. reference [17]). Brugsvandsforbruget forudsættes at være 2550 kWh/år (~ 150 l pr. døgn opvarmet fra 10°C til 50°C). I beregningerne benyttes et tappeprofil over døgnet som vist på Figur 23.



Figur 23 Tappeprofil, varmt brugsvand

Der forudsættes endvidere at være et eksisterende opvarmningssystem (for eksempel radiatorer). Solvarmesystemet forudsættes installeret og tilsluttet det eksisterende opvarmningssystem. I princippet vil alle de ovenfor gennemregnede anlægskonfigurationer kunne anvendes.

Opvarmningsbehovet over året er vist på Figur 24.



Figur 24 Opvarmningsbehov i "standardhus" og i lavenergihus.

I det følgende angives beregninger af ydelsen ved de forskellige anvendte systemløsninger.

4.3.1 "Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet husets radiatorsystem

Ydelserne fremgår af Tabel IV.

Det fremgår af tabellen hvilken merydelse anlægget vil have i forhold til et rent brugsvandsanlæg (Tabel III).

Såfremt der benyttes et anlæg på 4,3 m² vil mulighederne for at få høje dækningsgrader på både brugsvandet, og på rumvarmebehovet om sommeren ikke være tilstede. Anlægget bør således dimensioneres større end et rent brugsvandsanlæg. Da anlægget imidlertid kun leverer varme til rumopvarmning om sommeren vil anlægget imidlertid heller ikke kunne gøres særligt stort, uden at det går væsentligt ud over ydelsen pr. m² solfanger.

Som det fremgår af tabellen er der kun en positiv forskel i nogle få tilfælde hvilket umiddelbart kan overraske da anlæggene til rumopvarmning jo yder mere end de rene brugsvandsanlæg.

Dette skyldes imidlertid at anlæggene til rumopvarmning skal levere en vis mængde varme til rumopvarmning i løbet af sommeren. Dette betyder at enten kan fyret ikke slukkes i så lang en periode, eller også skal den supplerende energi leveres som el hvorved den energibesparelse (tomgangstab - supplerende energi i form af el), som ligger ud over den rene solfangerydelse bliver mindre i rumvarme tilfældet.

Ved at kigge på værdierne for "tilladelig" anlægspris nederst i Tabel IV ses det, at den "tilladelige" anlægspris kun er større end prisen for det tilsvarende rene brugsvandsanlæg i det tilfælde hvor der rent faktisk ikke er rumvarmeforbrug om sommeren.

Dette skyldes jo den merydelse der er fra anlægget i perioden med rumopvarmning samt at perioden med sparet tomgangstab kan gøres tilstrækkelig stor i forhold til det rene brugsvandsanlæg hvor der er regnet med sparet tomgangstab i 18 uger.

Det ses dog også at for anlæggene på både 4,3 og 6,45 m² er der ikke særlig stor forskel mellem prisen på det rene brugsvandsanlæg og anlægget udvidet til rumopvarmning.

I forhold til et rent brugsvandsanlæg vil de ekstra komponenter der er tale om for at udvide anlægget til rumopvarmning være et par ekstra ventiler og lidt ekstra rørtræk som alt i alt i mange tilfælde vil kunne holdes under ekstraomkostningen på 1000 - 3000 kr.

Det må derfor konkluderende vurderes at økonomien i denne type anlæg i nogle tilfælde vil kunne sidestilles med økonomien i et rent brugsvandsanlæg medens det i det fleste vil være en lidt ringere økonomi.

Sidstnævnte forhold skyldes imidlertid ikke at det er en dårlig anlægstype, men det forhold at folk der har rumvarmebehov om sommeren generelt vil have vanskeligere ved at kunne slukke for fyret med henblik på at opnå besparelsen på tomgangstabet.

4.3.2 "Udvidet brugsvandsanlæg" med separat radiator

Anlægget er beregnet således at eftervarmning af brugsvandet foregår i en efterfølgende varmtvandsbeholder (af fyret om vinteren og ved en el-patron om sommeren).

Endvidere leverer anlægget rumvarme når det er i stand til det ved hjælp af en separat radiator. I de udførte beregninger er den separate radiatorstørrelse sat til 30 W/K eller 20 % af radiator-effekten i hele huset.

Den separate radiator kunne også være en vand til luft varmeveksler indsat i husets ventilationssystem.

Det ses af Tabel V at dette anlæg som forventet vil have en hel del højere ydelse end anlægget beregnet i foregående eksempel. Især vil anlæggydelserne være rimelige også for større anlæg på 8,6 og 12,9 m².

Ekstra omkostninger i forhold til anlægget i første eksempel vil være til en separat radiator eller en varmeveksler i ventilationssystemet, og eventuelt til en ekstra lagerbeholder til eftervarmning af brugsvandet af fyret. Det er klart at anlægstypen vil være mest fordelagtig hvor denne beholder findes i forvejen som en eksisterende varmtvandsbeholder.

Hvis man går ud fra dette vil den "tilladelige" merpris i forhold til anlægget i forudgående eksempel være:

4,3 m ² anlæg:	2700 kr
6,45 m ² anlæg:	4800 kr
8,6 m ² anlæg:	5600 kr

For anlæggene på 6,45 og 8,6 m² vil de "tilladelige" merpriser i nogle tilfælde nok kunne dække en ekstra radiator hvorfor denne anlægstype også vil kunne konkluderes at være interessant.

4.3.3 Drain back rumvarmesystem

Beregningerne fra dette anlæg er vist i Tabel VI (tilsluttet husets radiatorsystem), og i Tabel VII (med separat radiator).

Ved sammenligning med det foregående anlæg ses at anlægget især yder bedre ved de større dækningsgrader. Endvidere ses for eksempel ved at kikke på 8,6 m² anlægget at det især yder bedre om sommeren.

Ekstra komponenter i forhold til et rent brugsvandsanlæg vil være ekstra rørtræk, samt eventuelt for de større beholdere en speciel beholderudformning.

Det må vurderes at denne anlægstype vil være et godt bud på udformningen af et anlæg til kombineret rumopvarmning og opvarmning af brugsvand.

Ligesom for det udvidede brugsvandsanlæg ses også for low flow anlægget at gælde at et arrangement med separat radiator (Tabel VII) forøger anlæggets ydelse. Forøgelsen er dog ikke så markant som for det udvidede brugsvandsanlæg.

4.3.4 System med eksisterende varmtvandsbeholder

Det ses at ydelserne for dette system beregningsmæssigt er væsentligt lavere end for de øvrige systemer (Tabel VIII).

4.4 Enfamiliehuse med el-opvarmning

Eksisterende én-familiehuse med el-opvarmning er karakteriseret ved, at der ikke forefindes noget vandbaseret varmeafgivelsessystem, samt at den energi som solvarmeanlægget erstatter er relativ dyr.

Systemløsningerne omtalt under foregående afsnit er vurderet i forhold til el-opvarmede huse.

I dette tilfælde vil der ikke være noget tomgangstab fra fyret at spare om sommeren.

Til gengæld vil den energi der spares i el være mere værd end energien der spares som olie eller naturgas.

Der er regnet med at el er cirka 1,7 gange så dyr som oliefyret energi. Hvis man således ønsker samme økonomi som det rene brugsvandsanlæg gennemgået i afsnit 4.2 vil den "tilladelige" anlægspris for solvarmeanlægget kunne sættes til $1,7 \times 10,6 \text{ kr/besparet kWh år} = 18,02 \text{ kr/besparet kWh/år}$.

De "tilladelige" anlægspriser for systemerne gennemregnet i afsnit 4.3.1 - 4.3.4, men med el back up fremgår af skemaerne Tabel IX - Tabel XIII.

Hvis man kigger på anlægget i Tabel XII kan man se at den "tilladelige" anlægspris er væsentlig højere end den tilsvarende pris for det rene brugsvandsanlæg, og høj nok til at indeholde investering i at der et centralt sted i huset opsættes en radiator eller anden form for varmeafgiver.

Systemet kan udføres med radiatorer som varmeafgivere eller ofte måske med en vand til luft varmeveksler anbragt i ventilationssystemet. Det sidste vil være en billig måde at etablere et varmeafgivningsapparat på.

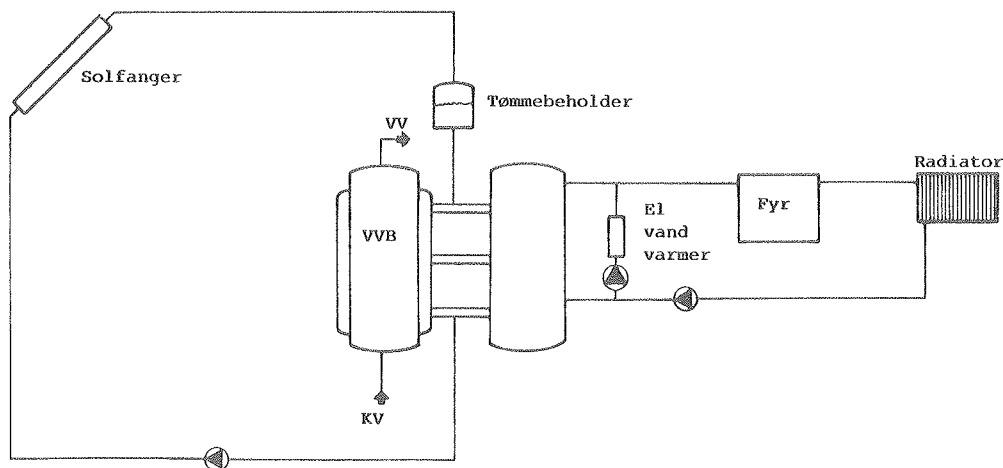
Ved etablering af systemet må det overvejes, om der skal etableres supplerende varmekilde i form af et fyr (naturgas), eller om el-radiatorerne skal bibeholdes som supplerende varmekilde.

Der vil endvidere i det følgende blive undersøgt forhold omkring udnyttelse af systemet til tapning af nat-el til en billig nattakst.

4.4.1 Lagring af nat-el

For et el-opvarmet hus er det endvidere vurderet om der kan opnås væsentlige besparelser ved at benytte el-værkernes triple-tariffer, således at husets opvarmning foretages med el til den billige nattakst som gemmes i et varmelager til om dagen.

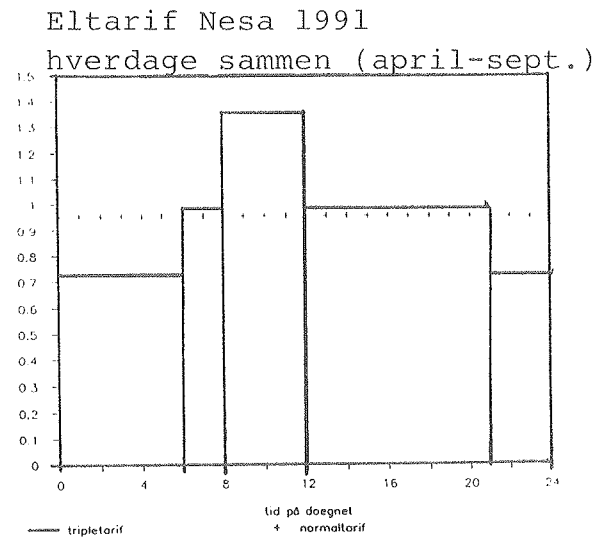
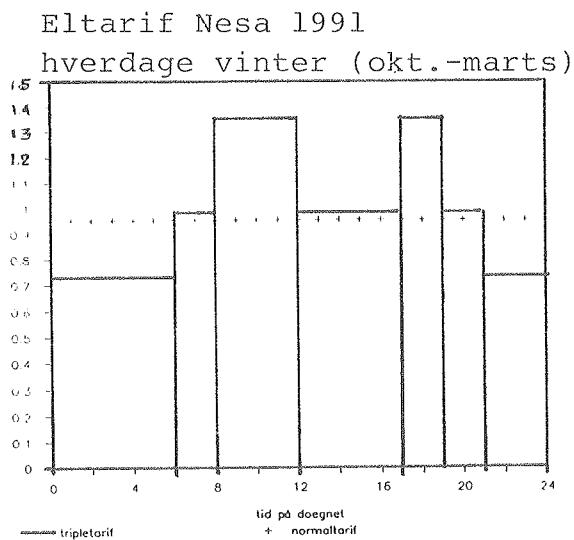
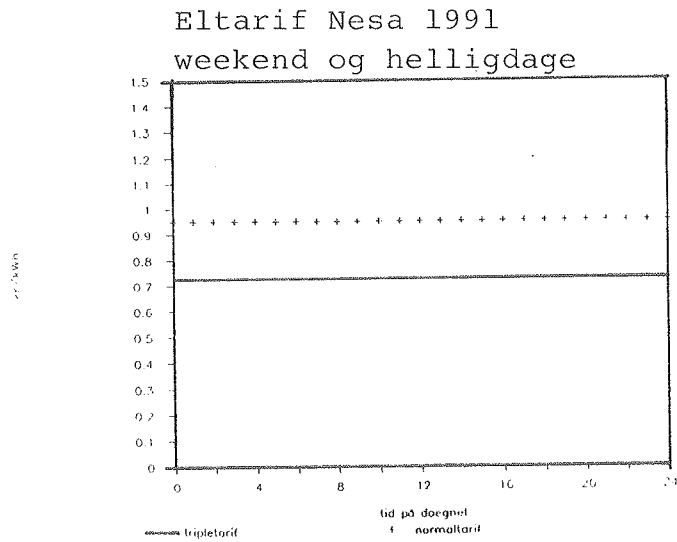
Systemudformningen er vist på Figur 25 og beregningerne fremgår af Tabel XIV.



Figur 25 "System med lagring af nat-el".

El tariffen som er benyttet stammer fra NESAs, og er vist på Figur 26, (se side 39).

Som det ses af Tabel XIV er der foretaget beregninger med et solfangerareal på 6,45 m² og med



Figur 26 El-tariffer, normaltarif og tripletarif.

3 lagerbeholderstørrelser på henholdsvis 450 liter, 700 liter og 1200 liter.

For hver beholder er der endvidere foretaget beregninger med forskellig udnyttelse af lagerkapaciteten i forhold til den lagrede el til nattarif.

Ved den næst nederste af de økonomiske vurderinger i tabellen er der overhovedet ikke forsøgt at lagre nat-el'en, og i den nederste er der hverken solvarmeanlæg eller lagring.

Som det ses af de samlede el-udgifter er der ikke megen besparelse at hente ved at lagre den billige nat-el (hvilket blandt andet skyldes at en meget væsentlig del af elforbruget til opvarmning i forvejen er på tidspunkter med den billige takst).

Under de gjorte forudsætninger vil besparelserne næppe kunne retfærdiggøre merinvestering i lagringskapacitet til nat- el.

4.5 Nybyggeri, enfamiliehuse, lavenergi

For lavenergihuse er regnet med et typisk årligt rumvarmeforbrug på ca 6250 kWh, som vist på Figur 24, (se side 35). Dette svarer til et hus på ca 120 m² boligareal med 20 og 30 cm. mineraluld i henholdsvis ydervægge og loft samt med varmegenvinding på ventillationsluften, jvf. reference [17].

Da rumvarmeforbruget er mindre end ved det normale enfamiliehus som der er regnet på i de tidligere afsnit, vil solvarmeanlægget generelt yde mindre.

Imidlertid vil det ved nybyggeri være muligt at udføre systemudformningen af husets varmesystem således at det svarer til de tidligere systemer med separat radiator, men med radiatorstørrelsen svarende til en størrelse der har kapacitet til at opvarme hele huset. Dette kan f.eks. opnås hvor varmeafgivelsen udføres som en vand til luft varmeveksling i husets luftvarmesystem. Man kan også forestille sig at den supplerende varmekilde i lavenergihuset er separate el-radiatorer. Dette giver systemmæssigt muligheder for bedre ydelser end i eksisterende huse.

Beregningerne er udført for olie eller naturgas som supplerende energikilde, og med el som supplerende energikilde.

Beregningerne fremgår af Tabel XV - Tabel XVIII.

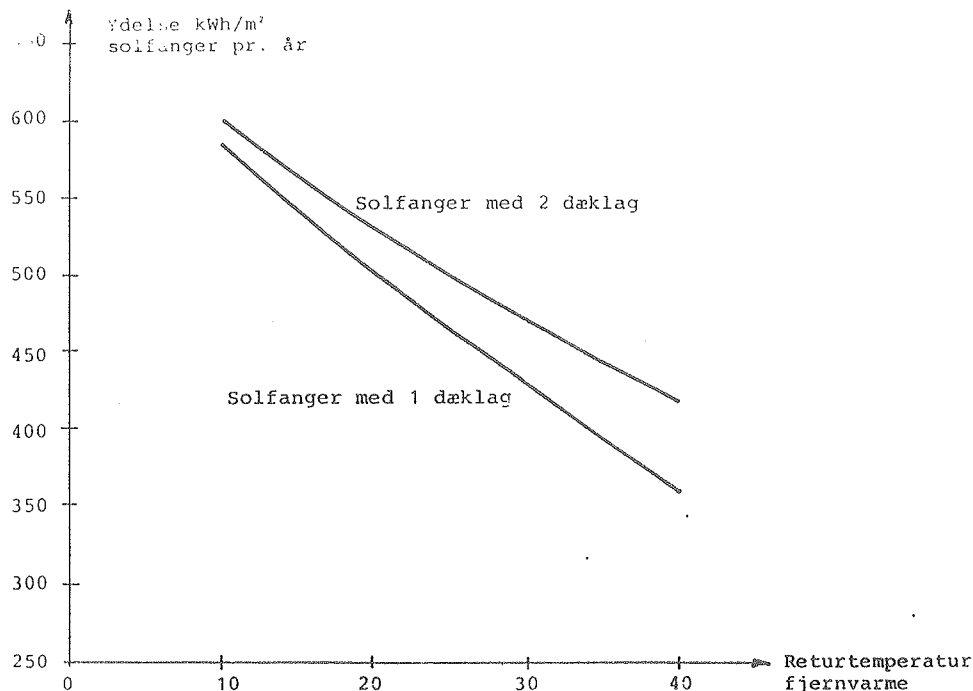
Som det fremgår af tabellerne vil det ikke med olie- eller naturgas være muligt at få en økonomi der er bedre end brugsvandsanlæggene, medens dette vil være muligt for anlæggene med el som supplerende varmekilde.

4.6 Nybyggeri med fælles varmecentral

Nybyggede områder udlægges ofte med fjernvarme fra en fælles varmecentral. Såfremt fjernvarmenet og varmecentral etableres samtidigt med byggeriet er der mulighed for at anlægge fjernvarmenet og varmesystem til optimal kombination med et solvarmeanlæg. Mulighederne for en sådan kombination skal kort diskuteres i det følgende.

Ved normale udformninger af fjernvarmenettet udformes dette f.eks. som vist på Figur 16. Fremløbs- og returtemperatur i et sådant fjernvarmenet kan f.eks. være henholdsvis 80 °C og 50 °C. Såfremt der etableres et solvarmeanlæg som vist på Figur 16 (se side 26), vil dette ikke kunne køre på lavere temperaturer end returtemperaturen i fjernvarmenettet (f.eks. de 50 °C).

I reference [18] som omhandler undersøgelser vedrørende udformning af varmesystemet i "Økologisk Landsbysamfund" i Torup ved Hundested er ved beregninger undersøgt returtemperaturen i fjernvarmesystemet's betydning for solfangerydelsen. Det blev konkluderet i rapporten at solvarmeanlæggets ydelse især afhænger af fjernvarmenettets returtemperatur medens fremløbstemperaturen er af mindre eller ingen betydning. Dette er vist på Figur 27 (fra reference [18]).



Figur 27 Ydelse af solvarmeanlæg til fjernvarme som funktion af fjernvarmenettets returtemperatur

Der har været udført forskelligt arbejde med henblik på udformning af fjernvarmenettet til lave temperaturer. Også af hensyn til varmetabet fra fjernvarmenettet går der bestræbelser på at udlægge fjernvarmenettet til så lave temperaturer som muligt. Dette kan ske ved at udforme opvarmningssystemet i husene med store varmefflater f.eks. i form af store radiatorer eller i form af gulvvarme. Ved udformningen som vist på Figur 16 (se side 26), nås dog en nedre grænse for fremløbs- og returtemperatur af hensyn til at det varme brugsvand skal opvarmes til 50-55 °C og af hensyn til at flowet i fjernvarmenettet overalt skal være stort nok til sikre at de nødvendige temperaturer er tilstede overalt i fjernvarmenettet.

Der fremstilles derfor til brug for fjernvarmeformål specielle højeffektive solfangere. Også disse solfangere har dog som det fremgår af figuren bedre ydelser såfremt temperaturen i fjernvarmenettets returledning kan sænkes.

Forskellige andre udformninger med henblik på lavtemperatur i fjernvarmesystemet har været forsøgt og diskuteret. (se f. eks. reference [18]).

En anden mulig systemudformning kunne endvidere være som vist på Figur 17 (se side 27). Her søges systemet indrettet således at fjernvarmenettet om sommeren i princippet afkøles ned i nærheden af det kolde brugsvands temperatur. Dette opnås ved at etablere en ringledning for

fremløbet af fjernvarmevandet. I nogle bebyggelser vil dette naturligvis betyde en ekstra omkostning, men i mange moderne bebyggelsesplaner, som udlægges til fjernvarme kan dette ske uden væsentlige merudgifter.

Ovennævnte systemer er med en central solfanger som formentlig prismæssigt er at foretrække hvis dette er muligt. Ofte kan det imidlertid være ønskeligt at kunne placere solfangerne decentralt på de enkelte huse. Et sådant system kunne se ud som vist på Figur 18 (se side 27).

Begge ovennævnte systemer med central og decentral solfanger er omtalt her da de i virkemåde svarer til det beregnede system med termisk adskilt rumvarmebeholder og varmtvandsbeholder som beskrevet i afsnit 3.5, og som vist på Figur 15 (se side 26). Den aktuelle økonomi for et sådant system vil naturligvis afhænge af forholdene på stedet og skal ikke behandles nærmere her.

4.7 Store anlæg (institutioner og boligejendomme)

Mange institutioner (f.eks. plejehjem, hospitaler m.m) er kendetegnet ved at der er et rumvarmebehov hele sommeren.

Om det kan betale sig at udvide et brugsvandsanlæg til også at levere solvarme til rumopvarmningen diskuteres i det følgende.

Store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning dimensioneres ofte til mindre dækningsgrader af det varme brugsvand end de små énfamilieanlæg som tilsigter en 90 - 100 % dækning af forbruget om sommeren for derved at spare fyrets tomgangstab.

Dette skyldes flere årsager. F.eks.

- ofte udgør tomgangstabet ved større varmecentraler en mindre andel af det totale energiforbrug end ved fyret i et enfamiliehus.
(nogle steder leveres varmen af flere fyr, hvor kun ét benyttes om sommeren m.v.). Derved bliver besparelsen ved at kunne slukke fyret om sommeren en mindre andel af den samlede besparelse. Der er derfor bedre økonomi i at dimensionere anlægget til en mindre dækningsgrad med deraf følgende højere ydelse pr. m² solfanger.
- nogle steder er det nødvendige tagareal til en solfanger med stor dækningsgrad ikke tilstede.

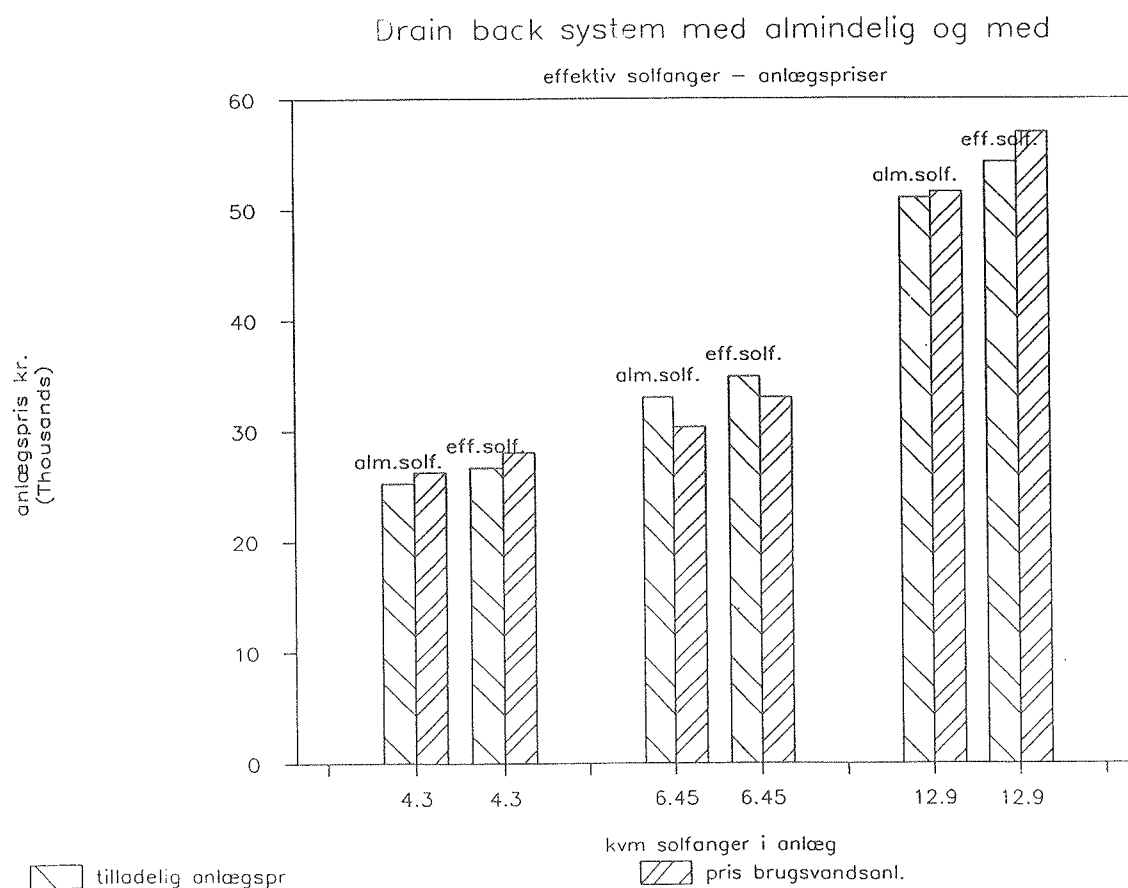
Såfremt anlægget dimensioneres til mindre dækningsgrader af det varme brugsvand vil der nok ikke være megen ekstra ydelse at hente ved at udvide dette til også at dække dele af rumopvarmningen. Af Tabel X ses at såfremt anlægget dimensioneres til en dækningsgrad af det varme brugsvand på f.eks. 52 % vil dækningsgraden af rumvarmen kun være omkring 4 % (under de gjorte forudsætninger vedrørende størrelse af brugsvands- og rumopvarmningsbehov). Af Tabel XIX ses at ved en dækningsgrad af det varme brugsvand på ca 28 % vil der kun være en dækningsgrad af rumvarmebehovet på 0.6 % (under samme forudsætninger vedrørende brugsvandsbehov og rumvarmebehov som ovenfor). Solvarmeanlægget kan således rigeligt komme af med varmen til brugsvandet, og har ikke nogen væsentlig merydelse som følge af også at kunne levere til rumopvarmning.

Noget andet er, at for store anlæg udgør solfangerdelen en større del af anlægsomkostningerne end for små anlæg. En udvidelse af anlægget til et rumopvarmningsanlæg vil således kunne udføres relativt billigere end for de små anlæg.

4.8 Benyttelse af højeffektiv solfanger med ekstra teflon-dæklag.

Det er for nogle af ovenstående systemer og anvendelser vurderet om det kan betale sig at benytte solfangere med et ekstra teflondæklag i systemerne. Beregningsforudsætningerne er anført i afsnit 3.1.3. Endvidere er benyttet de samme økonomiske forudsætninger som i dette kapitel. På samme måde som ved de øvrige beregninger i dette kapitel er ydelsen udregnet for forskellige størrelser anlæg, idet der er benyttet en højeffektiv solfanger i beregningerne.

På Figur 28 er angivet de resulterende "tilladelige" anlægspriser sammenlignet med prisen for det rene brugsvandsanlæg af samme størrelse. Priserne er angivet dels for anlæg med almindelig solfanger og dels for anlæg med den højeffektive solfanger.



Figur 28 Solvarmeanlæg med almindelig og med højeffektiv solfanger.

Som det kan ses bliver ekstraomkostningen til den mere effektive solfanger ikke i tilstrækkeligt omfang tjent ind ved systemets ekstra ydelse. For det viste system vil det derfor ikke

beregningsmæssigt kunne betale sig at benytte den dyrere men mere effektive solfanger. Det samme er fundet for det udvidede brugsvandssystem. Det skal dog bemærkes at forskellen mellem systemerne med almindelig og med højeffektiv solfanger er lille.

4.9 Sammenfatning af beregninger og økonomi

De "tilladelige" merpriser, d.v.s den pris anlægget må koste, hvis det skal have samme økonomi som et rent brugsvandsanlæg (den "tilladelige anlægspris") fratrukket prisen for et rent brugsvandsanlæg, er i Tabel II sammenlignet med de i kapitel 3 anslåede merpriser for at udbygge et anlæg kun til brugsvand til også at kunne levere varme til rumopvarmningen.

De steder hvor de "tilladelige" merpriser er større end de anslåede merpriser kan der forventes en økonomi for solvarmeanlægget til rumopvarmning der er bedre end økonomien for et rent brugsvandsanlæg. De steder hvor de "tilladelige" merpriser er mindre kan der forventes dårligere økonomi.

Som det ses af tabellen kan der for et "normalhus" (årligt varmeforbrug 14.000 kWh) forventes god økonomi både for et 6.45 m² anlæg og for et 8.3 m² ved de fleste systemer når der er tale om at substituere el med solvarme.

For olie eller naturgasfyrede "normalhuse" ses det at drain back systemet har det bedste potentiel for at opnå en økonomi der er bedre eller lige så god som et rent brugsvandsanlæg.

Af de to anlægsstørrelser (på 6.45 m² og på 8.3 m² solfanger) ses det at det er det lille anlæg der har bedst mulighed for god økonomi. Det ses dog også at ønskes anlæg med større dækningsgrad end hvad 6.45 m² anlægget kan levere er det drain back systemet der er bedst og som ikke har væsentligt dårligere økonomi end 6.45 m² anlægget.

Det ses endvidere at for lavenergihuse vil der kun kunne opnås god økonomi hvis der er el-backup i huset.

Systemet med den separate varmtvandsbeholder har ikke muligheder for så god økonomi. Dette system ville ellers måske være relevant ved systemer for flere beboelser jvf. afsnit 4.6. En udtømmende analyse heraf er imidlertid ikke foretaget så andre forhold end de medtagne kan måske ændre vurderingen.

Tabel II Sammenligning af "tilladelig" merpris og anslået merpris for de forskellige typer anlæg.

6.45 kvm anlæg		Tilladelig merpris i forhold til brugsvandsanlæg		Anslået merpris
Normalhus		olie/naturgas	el-backup	
Udvidet brugsvands- anlæg	Husets radiator: rumvarme sommer	-3143	5250	2425
	Separat radiator: rumvarme sommer	1849	13605	4280
Drain back anlæg	Husets radiator: rumvarme sommer	1867	12891	1775-6700
	Separat radiator: rumvarme sommer	6610	17882	6000-12700
System med separat VVB	Rumvarme sommer	-9049	-2048	2060-5910
Lavenergihus				
Udvidet brugsvandsanlæg		-4667	9327	4280
Drain back anlæg		-2088	12717	6000-12700
8.3 kvm anlæg		Tilladelig merpris i forhold til brugsvandsanlæg		Anslået merpris
Normalhus		olie/naturgas	el-backup	
Udvidet brugsvands- anlæg	Husets radiator: rumvarme sommer	-6461	3417	2425
	ikke rumvarme sommer	-6680	-2746	
	Separat radiator: rumvarme sommer	702	14770	4280
Drain back anlæg	Husets radiator rumvarme sommer	1657	15545	1775-6700
	ikke rumvarme sommer	2233	8895	
	Separat radiator rumvarme sommer	5162	18716	6000-12700
System med separat VVB	rumvarme sommer	-8808	1597	2060-5910
Lavenergihus				
Udvidet brugsvandsanlæg		-7267	8833	4280
Drain back anlæg		-5406	11466	6000-12700

Tabel V "Udvidet brugsvandsanlæg" med separat radiator.

Udvidet brugsvandsanlæg tilsluttet separat radiatorsystem												
Årlige forbrug (kWh/år)												
Rumvarmebehov A 14073							brugsvandsforbrug 2547					
Rumvarmebehov B 13575												
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.												
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme		Leveret til brugsvand		Varmetab tank		
	solfanger areal m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år		kWh/år		kWh/år		
A	4.3	1994	464	1853	431	801		1056		140		
B	4.3											
A	6.45	2656	412	2436	378	1158		1282		220		
A	8.6	3156	369	2894	337	1456		1441		282		
B	8.6											
A	12.9	4004	310	3624	281	1978		1651		380		
A	20.9											
Dækningsgrader												
Rumvarme						Brugsvand						
	Solfanger-areal m²	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	
A	4.3	5.7	31.4	38.3	42.8	49.7	41.5	62.6	66.0	67.1	69.2	
B	4.3											
A	6.45	8.2	42.2	49.6	54.7	61.6	50.3	75.2	78.8	79.8	82.2	
A	8.6	10.3	50.5	58.5	64.4	72.1	56.6	83.1	86.0	86.6	88.4	
B	8.6											
A	12.9	14.1	63.2	70.5	76.6	83.7	64.8	91.9	93.6	94.0	95.1	
A	20.9											
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W												
periode fyret er slukket						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 10,6 kr/kWh						
periode fyret er slukket						periode fyret er slukket						
	sol-fanger areal m²	0 uger kWh/år	20 uger kWh/år	16 uger kWh/år	14 uger kWh/år	12 uger kWh/år	0 uger kr	20 uger kr	16 uger kr	14 uger kr	12 uger kr	pris for brugsvands-anlæg kr
A	4.3	1853	2308	2396	2399	2375	19647	24462	25397	25429	25178	26200
B	4.3											
A	6.45	2436	3076	3112	3091	3048	25817	32606	32982	32767	32310	30285
A	8.6	2894	3665	3659	3623	3565	30677	38849	38788	38399	37789	37380
B	8.6											
A	12.9	3624	4573	4499	4439	4359	38414	48476	47684	47052	46206	51570

Tabel VI "Drain back rumvarmesystem" tilsluttet husets radiatorsystem.

Drain back rumvarmesystem tilsluttet husets radiatorsytem.												
Årlige forbrug (kWh/år)												
Rumvarmebehov A 14073						brugsvandsforbrug 2547						
Rumvarmebehov B 13575												
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.												
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme	Leveret til brugsvand		Varmetab tank			
solfanger areal m²		kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år		kWh/år			
A	4,3	2037	474	1796	418	555	1296		241			
B	4,3	1897	441	1571	365	230	1407		326			
A	6,45	2760	428	2396	371	927	1536		361			
A	8,6	3395	395	2937	342	1321	1688		457			
B	8,6	3109	362	2568	299	907	1735		541			
A	12,9	4380	340	3778	293	2014	1844		602			
A	20,9	5647	270	4851	232	2973	1964		796			
B	20,9	5219	250	4327	207	2444	1965		893			
Dækningsgrader												
Rumvarme						Brugsvand						
	Solfanger-areal m²	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	
A	4,3	3,9	26,4	35,3	43,4	55,8	50,9	73,1	74,7	74,9	75,1	
B	4,3	1,7	12,1	13,8	17,1	36,5	55,2	83,0	85,5	86,1	87,9	
A	6,45	6,6	39,1	49,3	57,7	71,1	60,3	84,3	85,8	85,7	86,2	
A	8,6	9,4	51,5	61,4	69,2	82,0	66,3	89,7	90,8	90,8	91,5	
B	8,6	6,7	39,4	42,9	48,6	76,8	68,1	94,1	95,6	96,7	97,7	
A	12,9	14,3	70,5	78,2	85,1	96,4	72,4	94,7	95,5	95,6	96,1	
A	20,9	21,1	89,9	93,9	99,1	100,0	77,1	98,8	99,2	99,4	99,6	
B	20,9	18,0	84,6	88,4	95,7	138,4	77,1	99,1	99,5	99,7	99,9	
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 10,6 kr/kWh						
periode fyret er slukket						periode fyret er slukket						
	solfan-gera-real m²	0 uger kWh/år	20 uger kWh/år	16 uger kWh/år	14 uger kWh/år	12 uger kWh/år	0 uger kr	20 uger kr	16 uger kr	14 uger kr	12 uger kr	pris for brugsvands-anlæg kr
A	4,3	1796	2276	2369	2381	2361	19038	24127	25116	25242	25026	26200
B	4,3	1571	2294	2383	2390	2327	16653	24313	25260	25332	24667	
A	6,45	2396	3070	3109	3093	3055	25398	32545	32952	32781	32381	30285
A	8,6	2937	3763	3745	3706	3652	31132	39887	39700	39282	38710	37308
B	8,6	2568	3523	3497	3458	3364	27221	37347	37070	36660	35663	
A	12,9	3778	4813	4706	4636	4557	40047	51023	49885	49142	48301	51570
A	20,9	4851	6094	5888	5785	5656	51421	64598	62410	61320	59951	77970
B	20,9	4327	5576	5375	5264	5134	45866	59110	56971	55793	54416	

Tabel VII "Drain back rumvarmesystem" med separat radiator.

"Drain back rumvarmesystem" med separat radiator.

[illegible]

Tabel VIII "System med separat VVB".

System med separat VVB										
Årlige forbrug (kWh/år)										
Rumvarmebehov A		14073		brugsvandforbrug		2547				
Rumvarmebehov B		13575								
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.										
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme	Leveret til brugsvand	Varmetab tank		
solfanger areal m²		kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år	kWh/år		
A	4,3									
B	4,3									
A	6,45	1843	286	1567	243			276		
A	8,6	2504	291	2163	252			341		
B	8,6									
A	12,9	3545	275	3087	239			458		
A	20,9	4964	238	4297	206			667		
	20,9									
Dækningsgrader										
Rumvarme						Brugsvand				
Solfangerareal m²		hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %					
A	4,3									
B	4,3									
A	6,45	11,1	37,2	44,7	56,4					
A	8,6	15,4	51,2	60,1	73,7					
B	8,6									
A	12,9	21,9	70,4	79,3	93,1					
A	20,9	30,5	90,5	96,6	100,1					
	20,9									
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 100 W						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 10,6 kr/kWh				
periode fyret er slukket						periode fyret er slukket				
solfangerareal m²		hele året kWh/år	5 mdr. kWh/år	4 mdr. kWh/år	3 mdr. kWh/år	hele året kr	5 mdr. kWh/år	4 mdr. kr	3 mdr. kr	pris for brugsvandsanlæg kr
A	4,3									23190
B	4,3									
A	6,45	1567	1834	2003	2003	16610	19436	21230	21236	30285
A	8,6	2163	2695	2803	2774	22928	28572	29707	29401	37380
B	8,6									
A	12,9	3087	3984	3981	3893	32722	42231	42194	41266	51570
A	20,9	4297	5576	5419	5173	45548	59103	57445	54829	77970

Tabel IX

"Udvidet brugsvandsanlæg" tilsluttet husets radiatorsystem, el-back up.

Udvidet brugsvandsanlæg tilsluttet husets radiatorsystem, el-back up											
Årlige forbrug (kWh/år)											
Rumvarmebehov A 14073						brugsvandforbrug 2547					
Rumvarmebehov B 13575											
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.											
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme		Leveret til brugsvand		Varmetab tank	
solfanger areal m²		kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år		kWh/år		kWh/år	
A	4,3	1847	430	1575	366	291		1290		271	
B	4,3	1735	403	1401	326	7		1394		334	
A	6,45	2345	364	1972	306	387		1591		373	
A	8,6	2711	315	2264	263	500		1771		447	
B	8,6	2457	286	1922	223	95		1837		535	
A	12,9	3276	254	2724	211	733		1999		552	
A	20,9										
Dækningsgrader											
Rumvarme						Brugsvand					
	Solfanger-areal m²	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %
A	4,3	2,1	17,6	27,9	36,2	49,0	50,6	73,6	74,9	75,5	76,0
B	4,3	0,1	0,6	1,3	2,3	7,3	54,7	83,3	86,2	85,9	86,4
A	6,45	2,7	22,5	35,3	45,9	62,1	62,5	87,2	88,5	89,5	89,4
A	8,6	3,6	27,4	40,0	51,4	69,6	69,5	92,2	92,9	93,7	93,1
B	8,6	0,7	6,6	8,6	8,5	9,7	72,1	98,3	99,2	99,3	99,2
A	12,9	5,2	37,0	49,4	60,8	80,6	78,5	96,5	96,7	97,1	97,8
A	20,9										
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 18,02 kr/kWh					
periode fyret er slukket						periode fyret er slukket					
	solfangerareal m²	0 uger kWh/år		0 uger kr		pris for brugsvandsanlæg kr					
A	4,3	1575		28382		26200					
B	4,3	1401		25246							
A	6,45	1972		35535		30285					
A	8,6	2264		40797		37380					
B	8,6	1922		34634							
A	12,9	2724		49086		51570					
A	20,9										

Tabel X "Udvidet brugsvandsanlæg" med separat radiator, el-back up

Udvidet brugsvandsanlæg tilsluttet separat radiatorsystem, el-back up											
Årlige forbrug (kWh/år)											
Rumvarmebehov A 14073						brugsvandsforbrug 2547					
Rumvarmebehov B 13575											
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.											
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme		Leveret til brugsvand		Varmetab tank	
	solfanger areal m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år		kWh/år		kWh/år	
A	4,3	1994	464	1853	431	801		1056		140	
B	4,3										
A	6,45	2656	412	2436	378	1158		1282		220	
A	8,6	3176	369	2894	337	1456		1441		282	
B	8,6										
A	12,9	4004	310	3624	281	1978		1651		380	
A	20,9										
Dækningsgrader											
Rumvarme						Brugsvand					
	Solfanger-areal m²	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %
A	4,3	5,7	31,4	38,3	42,8	49,7	41,5	62,6	66,0	67,1	69,2
B	4,3										
A	6,45	8,2	42,2	49,6	54,7	61,6	50,3	75,2	78,8	79,785	82,174
A	8,6	10,3	50,5	58,5	64,4	72,1	56,6	83,1	86,0	86,6	88,4
B	8,6										
A	12,9	14,1	63,2	70,5	67,6	83,7	64,8	91,9	93,6	94,0	95,1
A	20,9										
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 18,02 kr/kWh					
periode fyrret er slukket						periode fyrret er slukket					
	solfangerareal m²	0 uger kWh/år		0 uger kr		pris for brugsvandsanlæg kr					
A	4,3	1853		33399		26200					
B	4,3										
A	6,45	2436		43890		30285					
A	8,6	2894		52150		37380					
B	8,6										
A	12,9	3624		65304		51570					
A	20,9										

Tabel XI "Drain back rumvarmeanlæg" tilsluttet husets radiatorsystem, el-back

Drain back rumvarmeanlæg tilsluttet husets radiatorsystem, el-back up											
Årlige forbrug (kWh/år)											
Rumvarmebehov A 14073						brugsvandforbrug 2547					
Rumvarmebehov B 13575											
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.											
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme		Leveret til brugsvand		Varmetab tank	
solfanger areal m²		kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år		kWh/år		kWh/år	
A	4,3	2037	474	1796	418	555		1296		241	
B	4,3	1897	441	1571	365	230		1407		326	
A	6,45	2760	428	2396	371	927		1536		361	
A	8,6	3395	395	2937	342	1321		1688		457	
B	8,6	3109	362	2568	299	907		1735		541	
A	12,9	4380	340	3778	293	2014		1844		602	
A	20,9	5647	270	4851	232	2973		1964		796	
	20,9	5219	250	4327	207	2444		1965		893	
Dækningsgrader											
Rumvarme						Brugsvand					
	Solfanger-areal m²	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %	hele året %	20 uger %	16 uger %	14 uger %	12 uger %
A	4,3	3,9	26,4	35,3	43,4	55,8	50,9	73,1	74,7	74,9	75,1
B	4,3	1,7	12,1	13,8	17,1	36,5	55,2	83,0	85,5	86,1	87,9
A	6,45	6,6	39,1	49,3	57,7	71,1	60,3	84,3	85,8	85,7	86,2
A	8,6	9,4	51,5	61,4	69,2	82,0	66,3	89,7	90,8	90,8	91,5
B	8,6	6,7	39,4	42,9	48,6	76,8	68,1	94,1	95,6	96,7	97,7
A	12,9	14,3	70,5	78,2	85,1	96,4	72,4	94,7	95,5	95,6	96,1
A	20,9	21,1	89,9	93,9	99,1	100,0	77,1	98,8	99,2	99,4	99,6
	20,9	18,0	84,6	88,4	95,7	138,4	77,1	99,1	99,5	99,7	99,9
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 18,2 kr/kWh					
Periode fyret er slukket						Periode fyret er slukket					
	solfangerareal m²	0 uger kWh/år				0 uger kr	pris for brugsvandsanlæg kr				
A	4,3	1796				32364	26200				
B	4,3	1571				28309					
A	6,45	2396				43176	30285				
A	8,6	2937				52925	37380				
B	8,6	2568				46275					
A	12,9	3778				68080	51570				
A	20,9	4851				87415	77970				
		4327				77973					

Tabel XII "Drain back rumvarmeanlæg" med separat radiator, el-back up.

Drain back rumvarmeanlæg med separat radiatorsystem, el-back up									
Årlige forbrug (kWh/år)									
Rumvarmebehov A 14073					brugsvandsforbrug 2547				
Rumvarmebehov B 13575									
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.									
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme	Leveret til brugsvand	Varmetab tank	
	solfanger areal m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år	kWh/år	
A	4,3	2202	512	2055	478	843	1226	147	
B	4,3								
A	6,45	2931	454	2673	414	1239	1457	258	
A	8,6	3466	403	3113	362	1547	1602	353	
B	8,6								
A	12,9								
A	20,9								
Dækningsgrader									
Rumvarme					Brugsvand				
	Solfanger-areal m²	hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %	hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %
A	4,3	6,0	36,7	47,8	65,1	48,1	69,9	74,1	78,5
B	4,3		48,9						
A	6,45	8,8	56,86	61,9	80,4	57,2	82,3	86,2	89,2
A	8,6	11,0		69,8	87,2	62,9	89,4	92,2	94,3
B	8,6								
A	12,9								
A	20,9								
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W					Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 18,02 kr/kWh				
periode fyret er slukket					periode fyret er slukket				
	solfangerareal m²	0 uger kWh/år		0 uger kr		pris for brugsvandsanlæg kr			
A	4,3	2055		37031		26200			
B	4,3								
A	6,45	2673		48167		30285			
A	8,6	3113		56096		37380			
B	8,6								
A	12,9					51570			
A	20,9					77970			

Tabel XIII "System med eksisterende varmtvandsbeholder", el-back up.

System med separat varmtvandsbeholder, el-back up								
Årlige forbrug (kWh/år)								
Rumvarmebehov A		14073		brugsvandsforbrug		2547		
Rumvarmebehov B		13575						
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.								
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme	Leveret til brugsvand	Varmetab tank
solfanger areal m²		kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år	kWh/år
A	4,3							
B	4,3							
A	6,45	1843	286	1567	243			276
A	8,6	2504	291	2163	252			341
B	8,6							
A	12,9	3545	275	3087	239			458
A	20,9	4964	238	4297	206			667
	20,9							
Dækningsgrader								
rumvarme + brugsvand								
Solfanger-areal m²		hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %			
A	4,3							
B	4,3							
A	6,45	11,1	37,2	44,7	56,4			
A	8,6	15,4	51,2	60,1	73,7			
B	8,6							
A	12,9	21,9	70,4	79,3	93,1			
A	20,9	30,5	90,5	96,6	100,0			
	20,9							
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 100 W						Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 18,2 kr/kWh		
Periode fyret er slukket						Periode fyret er slukket		
solfangerareal m²		0 uger kWh/år		0 uger kr		pris for brugsvandsanlæg kr		
A	4,3					26200		
B	4,3							
A	6,45	1567		28237		30285		
A	8,6	2163		38977		37380		
B	8,6							
A	12,9	3087		55628		51570		
A	20,9	4297		77432		77970		

Tabel XIV

Lagring af nat-el

Lagring af nat-el													
Årlige forbrug: rumvarmebehov 14073 kWh/år													
brugsvandsforbrug 2547 kWh/år													
Solfangerareal: 6,45 m²													
Lager- volum- en	Lagret el	Solvarmeanlæg		Netto ydelse	kWh/år	kWh/år pr. m²	Varme- tab tank	Dæk- nings- grad sol + lagret el %	Elforbrug				Ud- gift el i alt
liter	kWh/år	Brutto ydelse	kWh/år	kWh/år	kWh/år	pr. m²	kWh/år		tarif 3 kWh/år	tarif 2 kWh/år	tarif 1 kWh/år	i alt kWh/år	kr/år
430	0	2525	391	2107	327	418	15		1300	3592	9765	14658	12425
430	12026	1601	248	844	131	757	91,5		1357	3598	9737	14692	12488
430	11481	1720	267	1015	157	705	88,8		115	2195	13465	15776	12142
430	6716	2330	361	1844	286	485	60,8		190	2379	13036	15605	12111
700	14141	1561	242	677	105	884	100,0		1524	3998	8991	14513	12563
700	12658	1726	268	942	146	784	96,6		0	992	14951	15943	11885
700	6718	2442	379	1928	299	514	61,4		17	1802	13859	15678	11909
1200	15923	1578	245	483	75	1095	100,0		1385	3676	9714	14776	12586
1200	12992	1769	274	856	133	914	98,4		0	72	16066	16137	11792
1200	6719	2537	393	1963	304	574	61,7		16	1634	14114	15765	11928
Elforbrug til rumvarme og brugsvand uden lager og solvarmeanlæg.									1845	4865	10271	16981	14786

1.

[illegible]

Tabel XVI "Drain back rumvarmeanlæg" til lavenergihus.

[illegible]

Tabel XVIII "Drain back rumvarmeanlæg" til lavenergihus, el-back up.

Drain back rumvarmeanlæg til lavenergihus, el-back up									
Årlige forbrug (kWh/år)									
Rumvarmebehov A	6252						brugsvandforbrug	2547	
Rumvarmebehov B									
A: rumvarmebehov hele sommeren, B: samme hus, radiatorer lukket om sommeren.									
Ydelser	Bruttoydelse			Nettoydelse		Leveret til rum-varme	Leveret til brugsvand	Varmetab tank	
solfanger areal m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år pr m²	kWh/år	kWh/år	kWh/år	kWh/år	
A	4,3	2124	494	1887	439	618	1302	237	
B	4,3								
A	6,45	2822	656	2386	555	919	1513	435	
A	8,6	3308	769	2711	630	1091	1629	597	
B	8,6								
A	12,9								
A	20,9								
A	20,9								
Dækningsgrader									
Rumvarme					Brugsvand				
Solfangerareal m²	hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %	hele året kr	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %	
A	4,3	9,9	76	104	158	51,1	78	82	89
B	4,3								
A	6,45	14,7	96	124	174	59,4	89	92	96
A	8,6	17,4	94	103	117	64,0	95	96	98
B	8,6								
A	12,9								
A	20,9								
A	20,9								
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 100 W					Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 18,02 kr/kWh				
periode fyret er slukket					periode fyret er slukket				
solfangerareal m²	hele året kWh/år	5 mdr. kWh/år	4 mdr. kWh/år	3 mdr. kWh/år	hele året kr	5 mdr. kWh/år	4 mdr. kr	3 mdr. kr	pris for brugs-vandsanlæg kr
A	4,3	1887			33997				26200
B	4,3								
A	6,45	2386			43002				30285
A	8,6	2711			48846				37380
B	8,6								
A	12,9								51570
A	20,9								77970

Tabel XIX

Store anlæg til institutioner og boligejendomme, drain back rumvarme-anlæg.

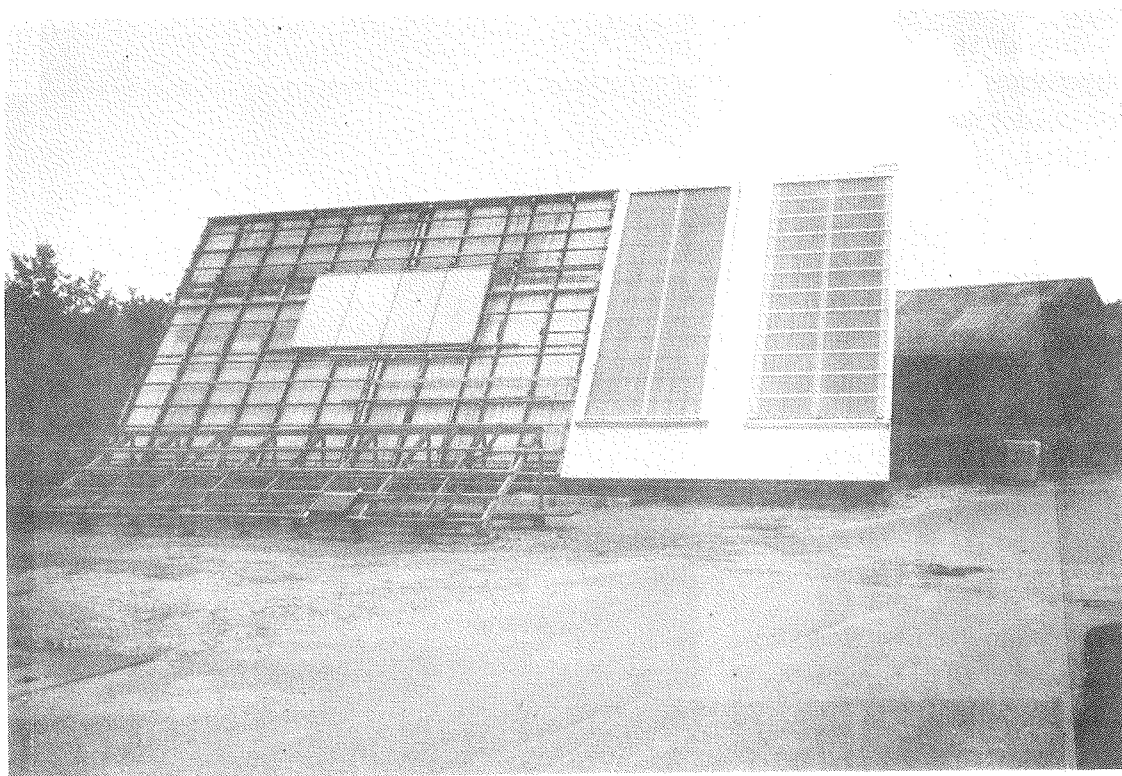
Årlige forbrug (kWh/år)											
Rumvarmebehov A 14072						brugsvandsforbrug A 2547					
Rumvarmebehov B 42216						brugsvandsforbrug B 7641					
Rumvarmebehov C 126657						brugsvandsforbrug C 22923					
Ydelser		Bruttoydelse		Nettoydelse		Leveret til rum-varme		Leveret til brugsvand		Varmetab tank	
	solfanger areal m ²	kWh/år	kWh/år pr m ²	kWh/år	kWh/år pr m ²	kWh/år	kWh/år	kWh/år	kWh/år	kWh/år	kWh/år
A	4,3	1973	459	1803	419	536		1318		171	
B	4,3	2333	543	2347	546	257		2131		- 13	
C	4,3	2990	602	2697	627	84		2642		- 106	
Dækningsgrader											
Rumvarme						Brugsvand					
	Solfangerareal m ²	hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %	hele året %	5 mdr. %	4 mdr. %	3 mdr. %		
A	43	3,8				51,8					
B	43	0,6				27,9					
C	43	0,1				11,5					
Energibesparelse (incl. sparet tomgangstab) tomgangstab: 400 W											
Tilladelig anlægspris omregningsfaktor: 10.6 kr/kWh											
periode fyret er slukket						periode fyret er slukket					
	solfanger areal m ²	0 uger kWh/år	20 uger kWh/år	16 uger kWh/år	14 uger kWh/år	12 uger kWh/år	0 uger kr	20 uger kr	16 uger kr	14 uger kr	12 uger kr pris for brugsvands-anlæg kr
A	43	1803					19107				26200
B	43	2347					24877				
C	43	2697					28588				

5 Forsøgsanlæg

Som en del af nærværende projekt, blev der opført et forsøgsanlæg til kombineret rumopvarmning- og brugsvandsopvarmning på Laboratoriets forsøgsareal.

Anlægget blev opført med det formål at afprøve nogle funktionsprincipper og er ikke tænkt som et prototype anlæg.

Et principdiagram af anlægget er vist på Figur 31.



Figur 29 Forsøgshallen ved Laboratoriet for Varmeisolering. Rumvarmeanlæggets 4 solfangere er anbragt til venstre.

Anlægget er især karakteriseret ved følgende 3 konstruktionsprincipper:

1. Low flow anlæg med udnyttelse af stratificering.
2. Lagring af solvarme i brugsvandsbeholderen og eventuelt i separat rumvarmebeholder.
3. Drain Back i solfangerkredsen.

ad 1) Anlægget er designet som et low flow system, det vil sige med lille flow i solfangerkredsen ($0,15 \text{ l/min m}^2$ solfanger), samt med det varme rør fra solfangeren gående ind i toppen af kappen i varmtvandsbeholderen.

Anlægget er opbygget således at der forsøges etableret så stor en temperaturstratificering som overhovedet muligt i de to beholdere.

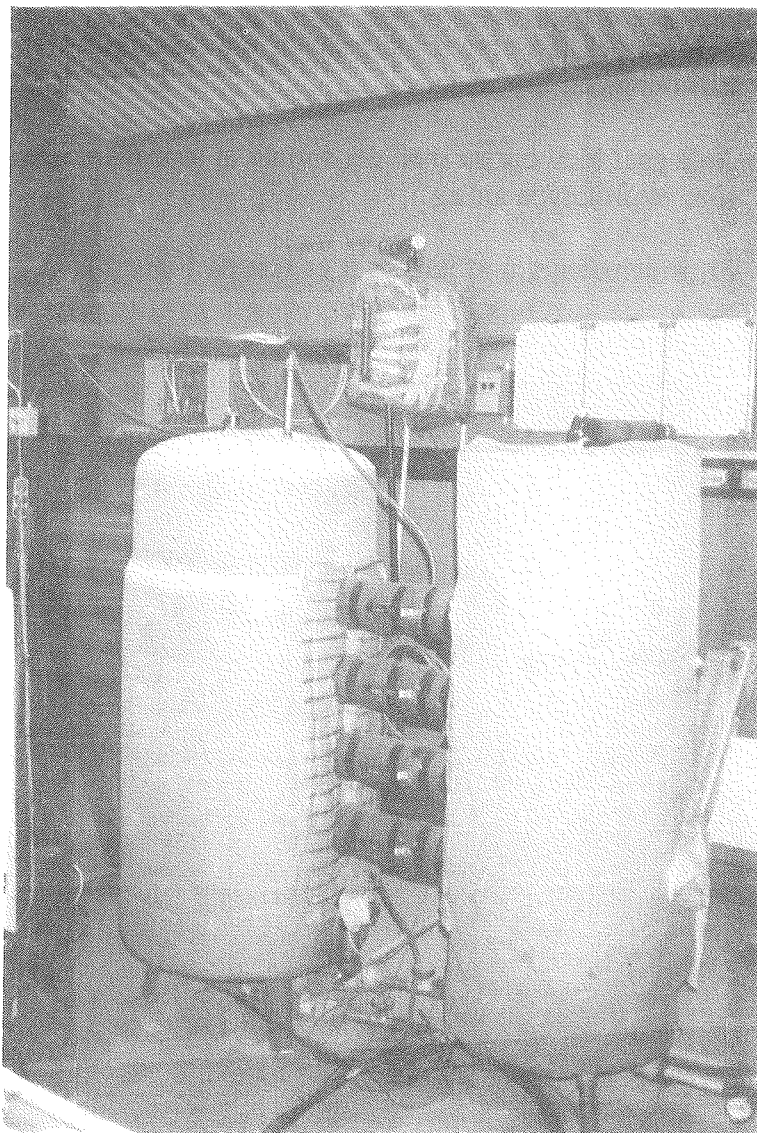
Returrøret fra radiatorerne er ført ind i et fordelerrør i rumvarmebeholderen således at vandet fra dette rør vil lagre sig i det lag i beholderen som svarer til den indkommende temperatur.

Systemet er måske det første af sin art som forsøger at udnytte low flow princippet til rumopvarmningsformål.

ad 2) Forsøgsanlægget er opbygget med to beholdere. Ved mindre dækningsgrader vil man kunne klare sig med lagring i brugsvandet og kan derfor undvære lagerbeholderen, hvilket giver det enkleste og billigste anlæg. Ved større dækningsgrader vil lagring i brugsvandet medføre for stort et brugsvandsvolumen (vandet bliver "gammelt"). Der må derfor suppleres med ekstra lagervolumen. Ved at udføre lagring i to beholdere opnås, at der kan benyttes billige massefremstillede beholdere, samt at der kan opnås stor fleksibilitet ved opbygningen af lagervolumenet.

Dette er vigtigt da rumvarmeanlæg formentlig til en start ikke vil kunne produceres som standard anlæg med standardiserede komponent størrelser. Endvidere opnås større muligheder for at kunne placere beholderne, idet disse kan udføres i størrelser der kan passere gennem en dør.

I forsøgsanlægget er det valgt at undersøge anlæggets funktion med to beholdere da dette er det mest komplicerede.



Figur 30

Anlæggets to beholdere. VVB til venstre og solvarmelagerbeholder til højre. Tømmebeholderen er monteret på væggen bagved.

Varmevekslingen mellem de to beholdere sker ved selvcirkulation gennem forbindelsesrørene.

ad 3) Solfangerkredsen er udført som et lukket drain back system.

I forsøgsanlægget har dette den fordel, at der undgås varmeveksling mellem solfangerkredsen og radiatorkreds samt at der spares udgift til glucol.

Endvidere undgås der kogningsproblemer hvilket jo kan være specielt vanskeligt at håndtere for de anlæg til rumopvarmning som er overdimensionerede i sommerperioden med henblik på at opnå en højere dækningsgrad. Såfremt disse anlæg udføres uden specielle foranstaltninger, vil der være meget stor risiko for udkogning i perioder uden rumvarmeforbrug eller risiko for at temperaturen i solfangeren kommer så højt op, at der opstår problemer med nedbrydningen af glucolen (110 - 120°C). Ved nogle af de anlæg med drain back som tidligere har været opført (Ejby) har der været driftsproblemer, og det har været et af formålene at indkredse arten af disse driftsproblemer på laboratoriebasis.

Forsøgsanlæggets drain back system er specielt ved at være udført som et i princippet lukket system således at trykket i systemet går op når temperaturen i solfangeren når over 100°C.

Der er naturligvis indføjet en sikkerhedsventil i solfangerkredsen, men denne er indstillet til åbning ved 2,5 bar, altså ved en temperatur på ca. 125 °C.

Solfangeren styres således at solfangerpumpen stoppes ved temperaturer højere end ca. 110 °C.

Fordelen ved at udføre solfangerkredsen lukket er at der undgås ilt i kredsen, og derfor ikke behøver at blive benyttet korrosionsbestandige materialer (reference [19]).

Det kan naturligvis være interessant i praksis at se om solfangerkredsen kan fungere uden åbning af sikkerhedsventilen, og dermed efterfølgende luftindtrængen. Såfremt solfangerkredsen opstartes på et tidspunkt hvor solfangertemperaturen er højere end ca. 125 °C vil der i et tidsrum være høj temperatur og tryk i solfangeren, hvorved der skulle være fare for åbning af sikkerhedsventil og afsmidning af vand.

De praktiske erfaringer med anlægget vil blive gennemgået senere, men det skal dog allerede her anføres, at der ikke har været problemer i solfangerkredsen.

5.1 Solvarmeanlæggets komponenter

Ved opbygningen af anlægget er der for en del af komponenternes vedkommende blevet benyttet komponenter som har været anvendt i tidligere forsøg på laboratoriet. Herved har det været muligt at opføre anlægget billigt, men nogle af komponenterne er måske ikke de ideelle til anlæg af denne type.

Da det imidlertid ikke har været hensigten at opbygge et prototype anlæg, men derimod at afprøve nogle principper, har ovennævnte forhold været uden betydning for forsøgets gennemførelse.

5.1.1 Solfanger

Der er benyttet 4 stk. solfangere af fabrikat Dansk Solvarme (tidligere model fra Islev Solvarme).

Dæklag: 1 lag glas
 Absorber: kanalplade, rustfrit stål
 belægning: Maxorb selektiv folie

Transparent areal: 1,93 m² pr. panel
 Væskeindhold: 1,6 liter pr. panel

Solfangereffektivitet: (målt ved Laboratoriet for Varmeisolering)

$$\eta = 0,79 - 3,4 \frac{T_m - T_a}{I} - 0,016 \frac{(T_m - T_a)^2}{I}$$

hvor:

η : Solfangerens effektivitet
 T_m : Middeltemperatur af væske i solfanger °C
 T_a : Udelufttemperaturen °C
 I : Bestrælingsstyrke W/m²

Den benyttede solfanger er næppe den ideelle til formålet idet den ikke drænes helt ved tømning. I forsøgsperioden har dette dog ikke afstedkommet problemer. Ved nye anlæg må der imidlertid nok anbefales, en solfanger af typen med Sunstrip absorbere eller lignende, og vandret liggende manifold.

5.1.2 Lagerbeholdere

Brugsvandsbeholder med kappe: 280 liter.
 Rumvarmebeholder: 200 liter.

Tømmebeholderen er på 30 liter. Størrelsen er bestemt således, at den kan indeholde hele væskevoluminet fra solfangerne når disse tømmes, samt således at luftvoluminet i beholderen når solfangerne er i drift er stort nok til at optage væskens ekspansion ved opvarmning uden for stor trykstigning.

5.1.3 Styring

Solfangerpumpen styres med en differenstermostat og en absolut termostat. (Se Figur 31, se side 70). Differenstermostaten starter pumpen når solfangeren er varmere end bunden af lagerbeholderen. Den absolutte termostat stopper solfangerpumpen hvis temperaturen i solfangeren når over 110°C således at der er risiko for kogning.

Herved drænes solfangerne.

Der er efter forsøgsanlæggets etablering kommet en styring på markedet som kan klare funktionerne af både differenstermostaten og den absolutte termostat i den samme styringsenhed.

5.2 Måleudstyr

Forsøgsanlægget blev opført i slutningen af august 1990, hvorefter måleudstyret blev monteret og målingerne påbegyndt den 7. september.

Som måleudstyr blev der anvendt en Solartron datalogger.

Temperaturmålingen blev foretaget med kobber/konstantan tråd og flow blev registreret med Brunata flowmålere.

Samtlige temperaturer og flow blev udskrevet hver 10. minut, og ud fra disse værdier er energimængderne udregnet.

Hvilke temperaturer og flow, der er blevet målt fremgår af Figur 32 (se side 71).

5.3 Driftserfaringer

5.3.1 Funktion af solfangerkreds

5.3.1.1 Drain back system

Drain back systemet har fungeret uden problemer i forsøgsperioden.

Umiddelbart efter etablering af anlægget, men før måleudstyret var etableret var der nogle dage med klar solskin, og varmt vejr.

Der blev i denne periode foretaget opstart af solfangeren midt på dagen, på et tidspunkt hvor temperaturen kan antages at have været oppe på omkring 160°C i solfangeren.

Ved opstarten kunne det konstateres, at der så snart væsken nåede op i solfangeren blev produceret damp.

Denne kondenserede imidlertid i tømmebeholderen uden at trykket steg udover sikkerheds-ventilens åbningstryk.

Det blev ved måleserien endvidere konstateret at den normale solfangerfølerplacering i udløbsrøret fra solfangeren ikke virkede for drain back-systemet idet solfangerkredsen før placeringen blev ændret startede for sent.

Den varmetransport der sker ved selvcirkulation af luften i solfangeren når den ikke er i drift var således ikke nok til at opvarme solfangerføleren. Efter at følerplaceringen blev ændret til en placering på selve absorberpladen startede anlægget som det skulle.

På Figur 33 (se side 72), er vist solfanger- og lagertemperaturen for en dag med den forkerte følerplacering og en dag hvor placeringen er ændret.

5.3.1.2 Støj i solfangerkredsen

Ved normal drift er der ikke konstateret støj i solfangerkredsen. Fordelerrøret som er indsat i tømmebeholderen er formentlig medvirkende til at der ikke høres plaskelyde fra denne.

Kun når solfangerkredsen er opstartet ved temperaturer over 100° har der kunnet høres en hvislen af damp i systemet når dette er strømmet fra solfangeren til kondensering i tømmebeholderen.

5.3.1.3 Frost problemer

Selvom anlægget har kørt i perioder med frost, er der ikke konstateret frysning nogen steder i solfangerkredsen. Dette på trods af at rør i solfangerkredsen forløber over lange stræk i det fri.

Ved tilstrækkelig lave frostgrader er der dog ikke tvivl om at der vil forekomme frysning i røret til solfangeren når anlægget opstartes, og væsken bringes til at cirkulere i rør der måske er -10°C.

Den bedste måde at undgå frysning på vil naturligvis være hvis rørene i solfangerkredsen kan føres indendørs, men ellers vil den nemmeste måde at håndtere problemet på formentlig være forvarmning af rør ved el-varmetråd (som startes automatisk for eksempel 10 min. før opstart af solfangerkreds), eller ved at forhindre anlægget i at starte når temperaturen når under for eksempel -5°C.

5.3.2 Stratificering i tanken

Det er ved målingerne konstateret at temperatur stratificering finder sted i tankene som forventet.

Brugsvandet tappes via et rør der er ført ind fra bunden af brugsvandsbeholderen til toppen. Det kolde vand føres ind i bunden.

På Figur 34 (se side 72), er vist hvorledes temperatur profilen ændrer sig i brugsvandsbeholderen under tapningen. Der ses at være god stratificering. Der er ved tapningen flow i solfangerkreds og i radiatorkreds således at stratificeringen udjævner sig efter nogen tid.

På Figur 35 (se side 73), er vist temperaturforhold i de to tanke under tilførsel af varme fra solfangeren. Det ses at der også her opnås god stratificering i begge tankene.

Ligeledes er på Figur 34 (se side 72), vist hvorledes temperaturlagdelingen der fremkommer under tapningen i brugsvandsbeholderen forplanter sig til rumvarmebeholderen.

5.4 Sammenligning af målte og beregnede ydelser

Der er i perioder foretaget sammenligninger af de målte ydelser på forsøgsanlægget og ydelser beregnet ved hjælp af EMGP3 modellen. De beregnede ydelser er beregnet ud fra 10 minutters klimadata målt ved Laboratoriet for Varmeisolering. Det er ikke forsøgt at foretage en egentlig

validering af edb-modelopsætningen, da dette formentlig vil kræve mere detaljerede målinger end der er foretaget.

Målte og beregnede ydelser for nogle dage i november er vist på Figur 35 (se side 73). Beregningerne er foretaget med de ovenfor anførte parametre vedrørende komponenter, samt med en samlet varmetabskoefficient for de to beholdere på $8.9 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Med modelopsætningen er der endvidere foretaget beregninger med og uden tømmebeholder. De beregnede ydelser var dog de samme i de to tilfælde.

5.5 Samlet vurdering

Alt i alt har solfangerkredsens drain back system fungeret yderst tilfredsstillende, og det kan anbefales at arbejde videre med dette princip for at opnå flere erfaringer, idet drain back systemet har fordele i forhold til den traditionelle solfangerkreds med glucol.

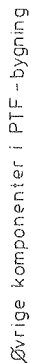
Fordele ved drain back:

1. Billigere solfangerkreds
 - 1.1 Tømmebeholderen er billigere end ekspansionsbeholder.
 - 1.2 Der spares glucol.
2. Kogningsproblemer kan undgås, (hvilket er specielt betydende ved anlæg til rumopvarmning).
 - 2.1 Nedbrydning af solfangervæsken ved høje temperaturer undgås.
3. I systemet til rumopvarmning kan eventuelt spares en varmeveksler.

Ulemper:

1. Solfangerne skal placeres præcist i forhold til vandret således at de kan drænes fuldstændigt.
2. Der bør foretages nøjere bestemmelser af om der for nogle udformninger er risiko for frysning i solfangeren eller i det udvendige rørsystem.

Det benyttede drain back system er endvidere karakteriseret ved at tømmebeholderen også fungerer som ekspansionsbeholder hvorved udgift til denne er sparet.



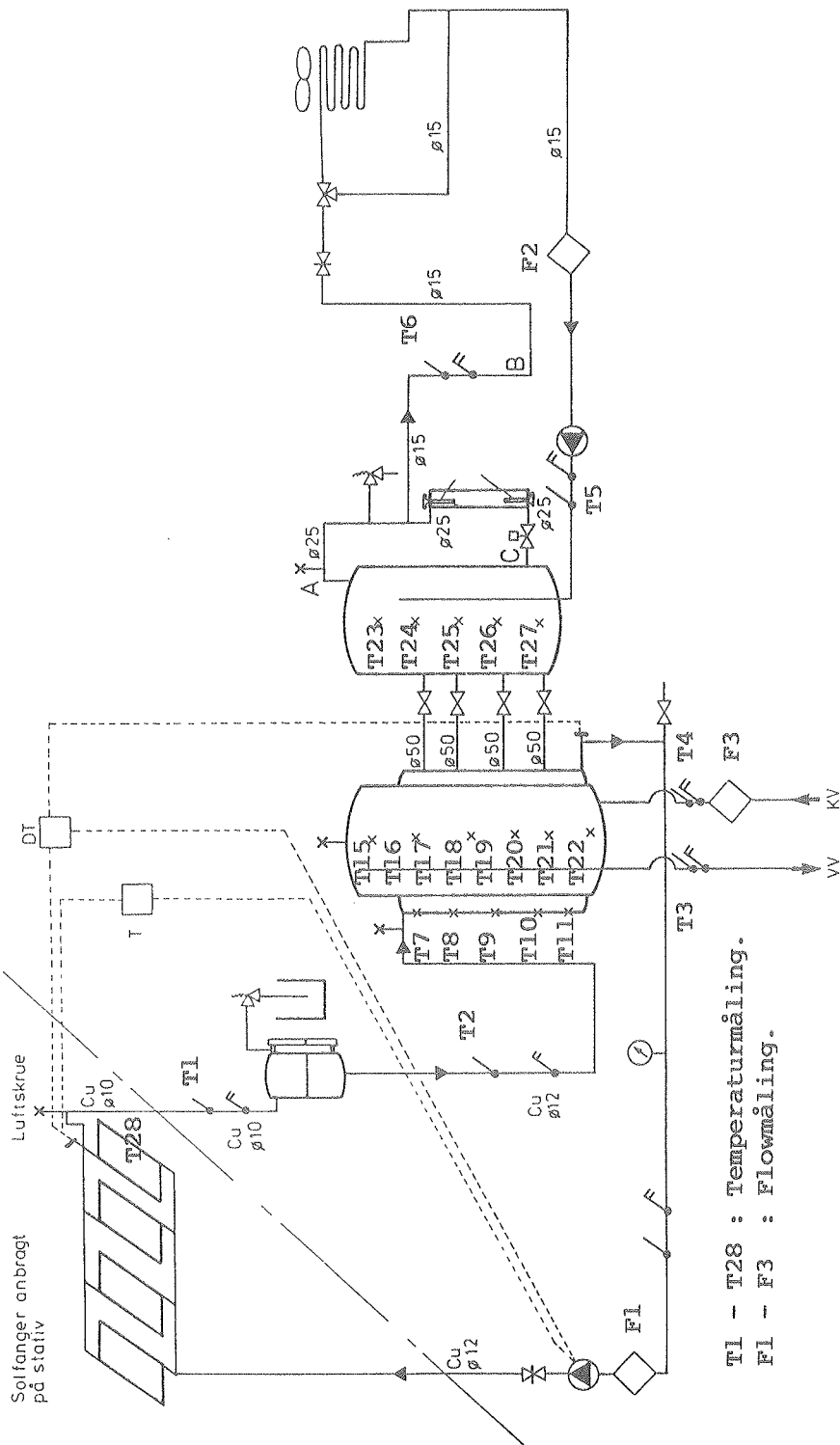
- 70

Sekundær kredsløb: Sorte stålør. Isoleres med 40. mm strækning A-B og A-C, resten uisolaret.

Rør mellem tanke: Sorte stålør isoleres 40 mm.

Tømmebeholderen anbringes med bund højere end det øvrige anlæg samt med top minimum 20 cm lavere end solfangere. Rør fra tømmebeholderen anbringes med fald mod denne. Luftsikrur anbringes så anlægget kan udluftes.

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING DANMARKS TEKNISKE HOJSKOLE BYGNING 118, 2800 LYNGBY	Revision		Dato		Tekst		Tegn. Godk.	
			Mrk.					
FORSØGSANLÆG LOWFLOW - DRAINBACH	Måleperiode		Dato		10/8-90		Erst. i.	
			Tegn.			SLH		



T1 - T28 : Temperaturmåling.
F1 - F3 : Flowmåling.

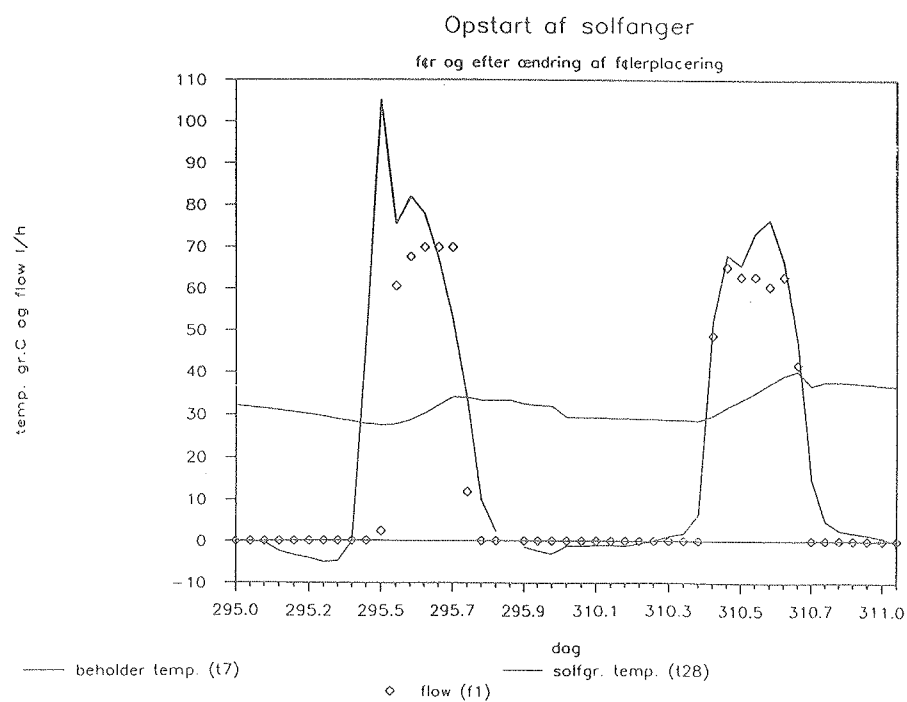
Solfangerkreds: Præisolerede Cu rør.
Sekundær kreds: Sorte stålør. Isoleres med 40 mm strækning
A-B og A-C, resten uisolaret.

Rør mellem tanke: Sorte stålør isoleres 40 mm.

Tømmebeholderen anbringes med bund højere end det øvrige anlæg samt med top minimum 20 cm lavere end solfangere. Rør fra solfanger til tømmebeholderen anbringes med fald mod denne. Luftskruer anbringes så anlægget kan udluftes.

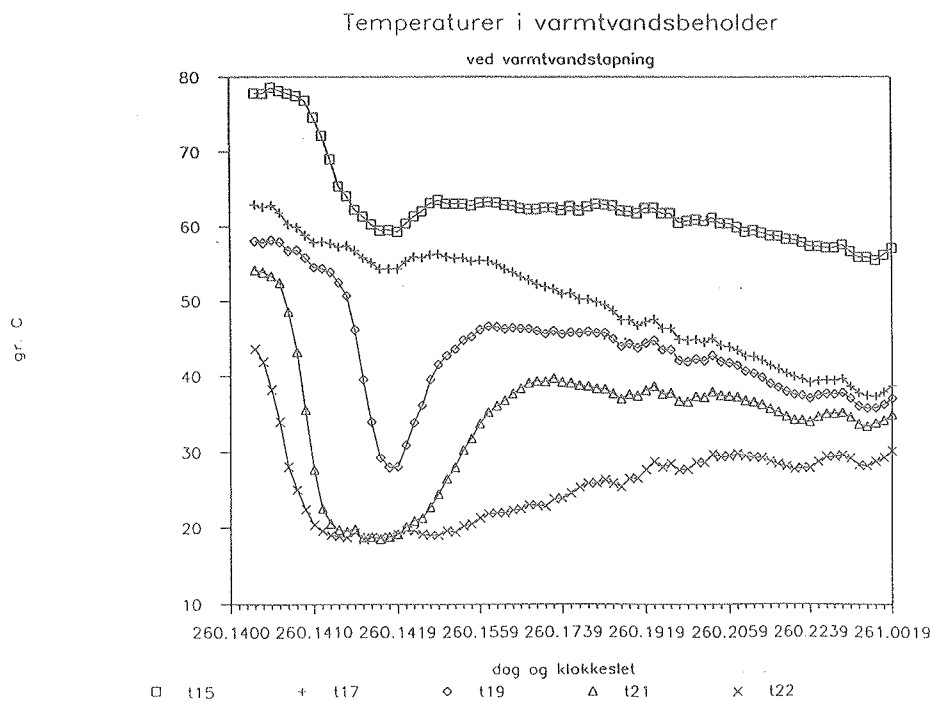
Figur 32 Forsøgsanlæg, målepunkter.

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING		Revision		Tekst	
DANMARKS TEKNISKE HOJSKOLE		Dato		Ers. i	
BYGNING 118, 2800 LYNGBY		Tegn		Konf	
FORSØGSANLÆG		Godk		Ers. af	
LOWFLOW - DRAINBACH		Dato		10/8-90	
BRUGSVAND + RUMOPVARMNING		Tegn		SLH	
		Konf		KE	
		Godk			
DENNE TEGNING MÅ IKKE OVERLÆDES TIL KØJERES ELLER UDBYTTES AF UVEDKOMMENE					



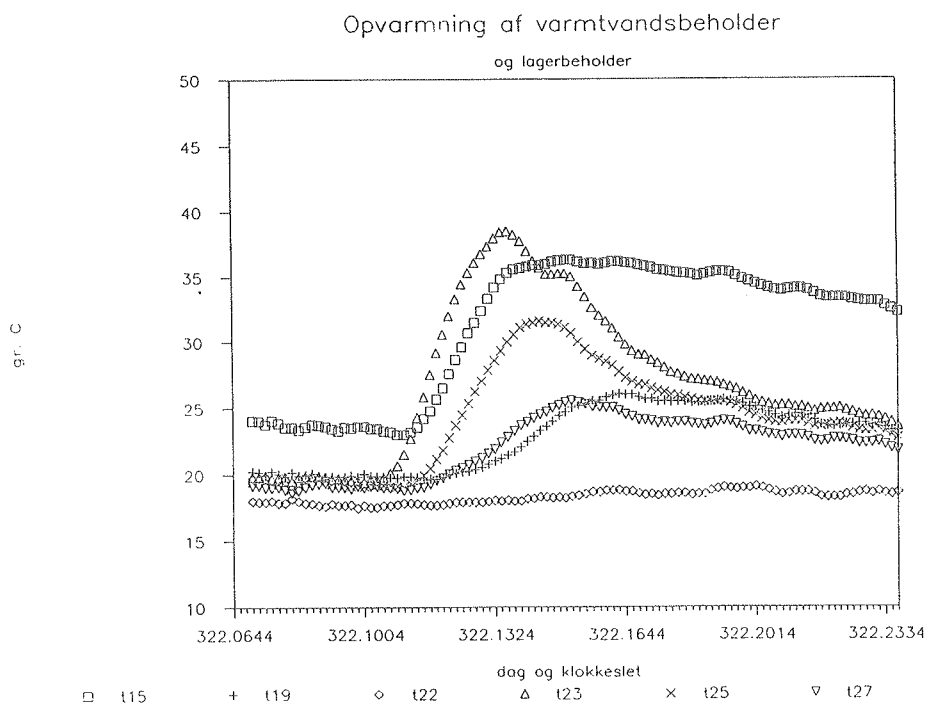
Figur 33

Solfanger og lagertemperaturer ved opstart af solfanger.

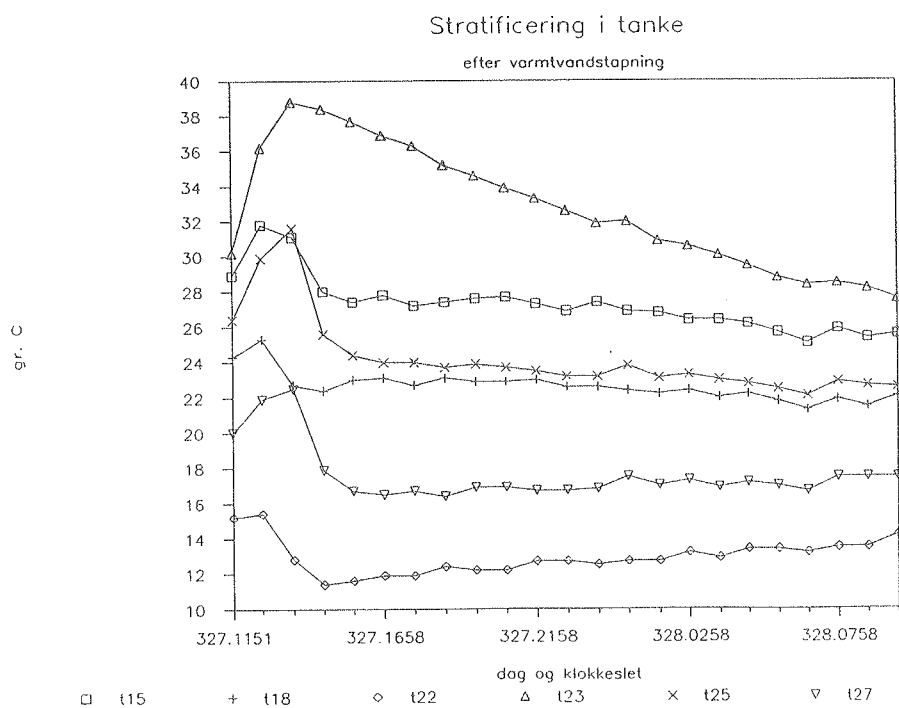


Figur 34

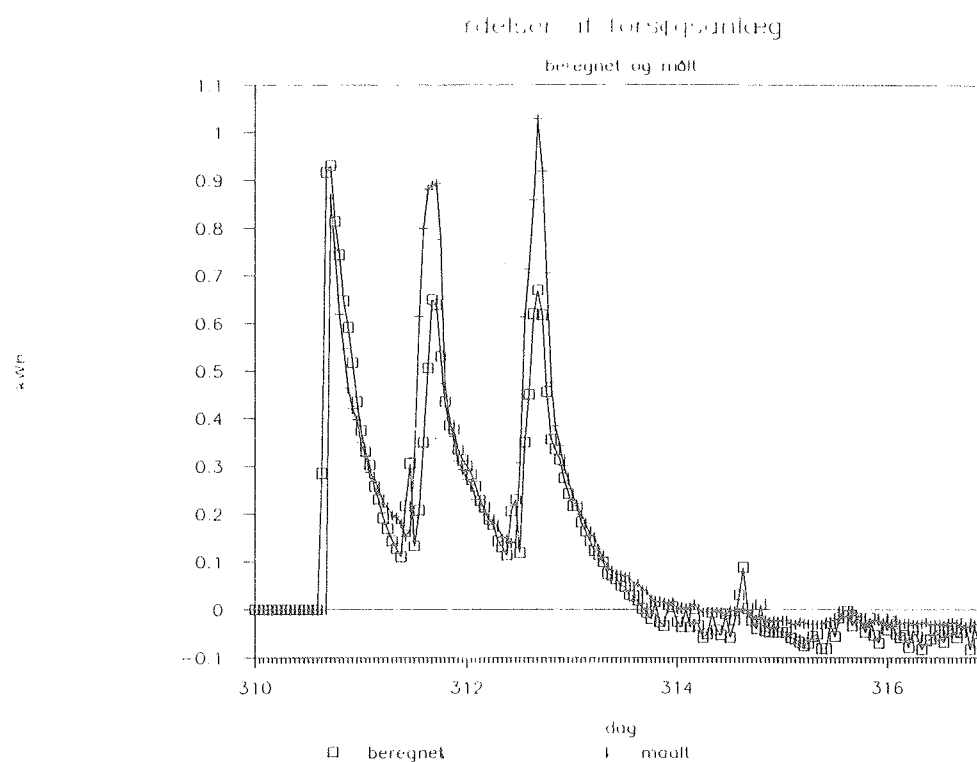
Temperaturer i brugsvandsbeholder under tapning.



Figur 35 Temperaturer i brugsvandsbeholder og lagerbeholder under tilførsel af varme fra solfanger



Figur 36 Stratificering i varmtvandsbeholder og lagerbeholder efter tapning



Figur 37

Målte og beregnede ydelser af forsøgsanlæg

Referencer

1. Laboratoriet for Varmeisolering, Institutet for Husbygning og Laboratoriet for Varme- og klimateknik: DTH Nul-energihus. Zero-energy-house. 1977.
2. "Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte". Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 15. Svend Erik Mikkelsen, Leif Sønderkov Jørgensen, Teknologisk Institut, Varmeteknik, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.
3. "Solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand, Demonstrationsanlægget i Ejby". Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 41. Nick Bjørn Andersen, Laboratoriet for Varmeisolering.
4. "Fordele ved små volumenstrømme i solvarmeanlæg. Måling på 3 små brugsvands-anlæg". Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 188, december 1987.
5. "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme, eksperimentelle undersøgelser". Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 205, marts 1989.
6. "Små low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - status". Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Oktober 1990, Rapport nr. 90-7.
7. "Solvarmeanlæg med kombivarmelager til lagring af solvarme og nat-el". Januar 1988, Teknologistyrelsen 1984 - 144/001 - 84.047. Esbensen, Rådgivende Civilingeniører.
8. "Demonstration af solvarmeanlæg i el-opvarmede boliger i Hillerød, Grundejerforening- en Favrholmvænget, Hillerød". Teknologistyrelsen 1984 - 144/001-84.448.
9. "Måling på rumvarmeanlæg, Sol til gulvvarme". Peter Christiansen og Carsten Wesen- berg. Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi. Udført med støtte fra Teknolo- girådets Styregruppe for Udvikling af Vedvarende Energi. TR-Projektnr. 860436.
10. "Målerapport for solvarmeanlæg til rumvarme og brugsvand. Ans Solvarme" Thomas Genborg, Jan Erik Nielsen. Oktober 1989, Prøvestationen for Solvarme- anlæg, Teknologisk Institut.
11. "Solar heating in Denmark, Large Danish Solar Heating Plants".
12. "Idékonkurrence om varmeanlæg til lavenergi huse", udskrevet af Teknologirådets Styregruppe for Vedvarende Energi, Industri- & Handelsstyrelsen. Konkurrencesek- retær: Prøvestationen for Solvarmeanlæg.
13. "Målerapport for solvarmeanlæg til rumvarme og brugsvand, Gudumvej 4, Slagel- se". Inge Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, Dansk Teknologisk Institut. Februar 1990.

14. V&S Byggedata, Husbygning- brutto 1989
15. Prisbogen, Brødrene A&O Johansen A/S, febr 1991
16. CEC: Simulation of Thermal Systems, A modular Program with an Interactive Preprocessor (EMGP3), Willie L. Dutré, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 1991
17. "Videnbank- 3 huses opvarmningsbehov" Henrik Lawaetz & Leif Sønderskov Jørgensen, Laboratoriet for Varmeisolering, Intern rapport 1977.
18. "Vedvarende energianlæg med plastfjernvarmenet og solvarme-sæsonlagring, Økologisk Landsbysamfund, Torup, Forprojekt," august 1990, Esbensen & Plan-Energi
19. Samtale med Finn Yding, Korrosionscentralen vedr. korrosion i det foreslåede system. Som det er udført vil der sandsynligvis ikke forekomme korrosion.
20. "Radiatordimensionering". Henrik Lawaetz. Teknologisk Institut, Varme- og Installationsteknik. 1984.
21. "Lavtemperatur varmeanlæg, dimensionering af radiatorer". Lars Hallgreen, Otto Paulsen. Teknologisk Institut, Varmeteknik. 1982.
22. "Solvarmeanlæg til varmt brugsvand, en udredning baseret på et års målinger på to anlæg". Klaus Ellehauge, Leif Sønderskov Jørgensen, Mads Lange, Svend Erik Mikkelsen, Carsten Nielsen. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 114. Teknologisk Institut, Varme- og Installationsteknik. Energiministeriets Solvarmeprogram-rapport nr. 16. September 1981. ISBN nr. 87-7511-110-1.
23. "Projektering af større solfangeranlæg, systemudformninger og diagrammer til beregning af ydelse og tab". Svend Erik Mikkelsen, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Energiministeriets solvarmeprogram, Rapport nr. 48.

Bilag 1

Oversigt over danske projekter indenfor området aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning.

I oversigten er ikke medtaget projekter indenfor området passiv solvarme: for eksempel solvægge, tagrumsolfangere m.m.

Endvidere er heller ikke medtaget projekter indenfor området solvarme til fjernvarme.

Bevillingsstørrelsen er angivet i 1000 kr.

EFP eller TR. nr.	Institution	Bevilling
-------------------	-------------	-----------

Energiforskningsprogrammet

76-78	LfV	
-------	-----	--

Demonstrationsanlæg i Greve og Gentofte

Rapport: "Solvarmeanlæg til rumopvarmning, en udredning baseret på 2 års målinger i Greve og Gentofte", 1981.(reference [2])

82-85	LfV	
-------	-----	--

Anlæg til rumopvarmning (Ejby)

Rapport: "Solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand, demonstrationsanlægget i Ejby", 1988. (reference [3])

88	LfV	500
----	-----	-----

Udvikling af konkurrencedygtige solvarmeanlæg til kombineret brugsvand- og rumopvarmning. (dette projekt)

Teknologiråds- eller Energistyrelses projekter

84.047	E & K	220
--------	-------	-----

Solvarmeanlæg med dual varmelager

Rapport: "Solvarmeanlæg med kombivarmelager til lagring af solvarme og nat-el", jan. 1988. (reference [7])

84.448	S.Aa.Svendsen	220
--------	---------------	-----

Sol til el-opvarmede boliger

Rapport: "Demonstration af solvarmeanlæg i el-opvarmede boliger i Hillerød", okt. 1988. (reference [8])

86.436	NVJ-Folkecenter	113
--------	-----------------	-----

Ydelsesmålinger på sol-rumvarmeanlæg

Rapport: "Måling på rumvarmeanlæg, Sol til gulvvarme", dec. 1990. (reference [9])

87.080 ANS & PS-TI

Nyt lagrings og styringsprincip for mindre, kombinerede anlæg

Delrapport: "Målerapport for solvarmeanlæg til rumvarme og brugsvand. Ans Solvarme", okt 1989. (reference [10])

PlanEnergi

Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og rumopvarmning på Bornholms Folkehøjskole. (reference [11])

88.1085 KMEK & PS-TI 50

Måleprojekt for solvarme-naturgasanlæg i lavenergihus

Under udførelse. (reference [12])

Prøvestationens bevillinger

PS-TI

Målinger på solvarmeanlæg til rumvarme og brugsvand (for Ringsted Energicenter)

Rapport. "Målerapport for solvarmeanlæg til rumvarme og brugsvand, Gudumvej 4, Slagelse", feb. 1990. (reference [13])

PS-TI

Målinger på Bornholms Folkehøjskole

Under udførelse (juli 1991)

E & K:	Esbensen & Korsgaard (Nu Esbensen)
ANS:	Ans Solvarme
PS-TI:	Prøvestationen for Solenergi, Teknologisk Institut
NVJ-Folkecenter:	Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi
S.Aa.Svendsen:	Svend Aa. Svendsen sammen med grundejerforeningen Favrhølmvænget
PlanEnergi:	PlanEnergi Skørping
KMEK:	Københavns Miljø- og Energikontor
LfV:	Laboratoriet for Varmeisolering

Bilag 2.

Beregning af radiatorydelsen med EMGP3

I EMGP3 bestemmes radiatorydelsen ud fra en fastsat varmeoverføringskoefficient (K.F), anført i W pr. °C temperaturforskel mellem radiator og stuetemperatur. Radiatorens eller varmevekslerens effektivitet η bestemmes dernæst af udtrykket:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{K.F}{W}}$$

Hvor η er varmekapacitetsflowet.

Radiatorens (eller varmevekslerens) effektivitet er defineret ved:

$$\eta = \frac{T_{frem} - T_{retur}}{T_{frem} - T_{stue}}$$

T_{frem} = fremløbstemperatur til radiator.

T_{retur} = returtemperatur for radiator.

T_{stue} = stuetemperatur.

I reference [20] er angivet en formel som kan benyttes til at bestemme radiatorydelsen i relation til opgivne katalogværdier for varmeafgivelsen ved fastsatte flow og fremløbs- og returtemperatur på 90°C og 70°C.

Formlen lyder:

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{T_{frem} - 20}{70} \right)^{n_1} \times \left(\frac{1,08 - \eta}{0,8} \right)^{\frac{n_2}{2}}$$

Hvor Q_0 er radiatorens ydelse ved fremløbstemperatur og returtemperatur på henholdsvis 90°C og 70°C. Q er ydelsen ved andre temperaturer og flow. n_1 og n_2 er radiatorcoefficients som er specifikke for den enkelte radiator. n_1 er typisk 1,3 medens n_2 typisk er mellem 1,2 og 2,0.

I det følgende udføres en sammenligning mellem de to formeludtryk.

Det antages at husets årlige opvarmningsbehov er 14073 kWh/år, og at maksimal effekten der skal afgives er 5267 W.

Det antages endvidere at husets radiatorsystem har radiatorcoefficients $n_1 = 1,3$ og $n_2 = 1,4$ (panelradiatorer).

Det antages endvidere, at radiatorsystemet kan klare varmeafgivelsen ved en fremløbstemperatur på 65°C og nominelt flow.

I Tabel XX er angivet returtemperaturer og flow beregnet med de to formeludtryk for andre ydelser og fremløbstemperaturer. Varmeoverføringskoefficienten ved EMGP3 formelen er sat så den giver bedst overensstemmelse mellem de to udtryk.

Her er benyttet 154 W/K.

Fremløbstempera- tur	Ydelse	Lawaetz returtemperatur		EMGP3 returtemperatur	
		°C	l/h	°C	l/h
65	5267	45	230	45	230
65	3000	29	72	26	77
65	1000	19	19	20	22
50	3000	36	183	32	141
50	1000	21	30	20	34
50	500	19	14	20	14
35	1000	26	93	22	66
35	500	21	32	20	29
30	800	26	187	22	89
30	300	21	29	20	26

Som det ses ovenfor er der i de fleste tilfælde rimelig god overensstemmelse mellem returtemperatur og flow - bestemt ved de to beregningsformler.

