

TAGINTEGRERET SOLFANGER TIL VARMT BRUGSVAND

NORDISK DEMONSTRATIONSANLÆG I BALLERUP

PEDER VEJSIG PEDERSEN

MEDDELELSE NR. 199 DECEMBER 1989
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Nærværende rapport afslutter projekterne:

"Solvarme med bufferlager i en eksisterende boligbebyggelse - skitseprojekt",

EFP 86, ENS j.nr. 1353/86-6

"Tagintegrerede på stedet byggede solfangere til store solvarmeanlæg",

EFP 86, ENS j.nr. 1353/86-5

"Nordisk Demonstrationsprojekt for 2. generations solvarmeanlæg fase 2",

EFP 85, ENS j.nr. 163/85-2

støttet af Energiministeriets Energiforskningsprogram.

INDHOLD

Forord	i
Summary	iii
1. PRÆSENTATION AF DET NORDISKE DEMONSTRATIONSPROJEKT I BALLERUP	1
1.1 Nordisk samarbejde inden for byggeri og solenergi	1
1.2 Placering af solvarmeanlæg og principdiagrammer	1
2. DESIGN AF SOLVARMELØSNING	7
2.1 Beregning af solvarmeanlæggets ydelse	7
2.2 Organisation og teknik under danske forhold	11
2.3 Organisation og teknik efter svenske forhold	16
3. TAGINTEGRERET PÅ STEDET OPBYGGET SOLFANGER	23
3.1 Beskrivelse af den på stedet opbyggede solfanger	23
3.2 Erfaringer med den anvendte solfanger	30
3.3 Solfanger i forbindelse med tagrenovering og modulopbyggede solfangere	31
4. SYSTEMLØSNING I VARMECENTRALEN	37
5. MÅLEPROGRAM FOR NORDISK DEMONSTRATIONSANLÆG I BALLERUP	43
6. MÅLERESULTATER OG EVALUERING AF ANLÆG	47
6.1 Resultater fra måling i et år, fra 1/8-1985 til 1/8-1986	47
6.2 Evaluering af anlæggets drift	56
7. VURDERING AF ØKONOMI FOR NORDISK SOLVARMEDEMONSTRATIONSANLÆG I BALLERUP	65
7.1 Præsentation af økonomi baseret på tal fra byggherrens rågiver, Dominia A/S	65
7.2 Vurdering af økonomi for fremtidige solvarmeanlæg baseret på erfaringerne fra solvarmeanlæg i Egebjergvang	67
8. DET VIDERE ARBEJDE MED ANVENDELSE AF STORE SOLFANGERAREALER I BOLIGBYGGERIET	71
8.1 Generelt om mulighederne	71
8.2 Solvarmeanlæg med høj dækningsgrad	78
8.3 Solvarmeanlæg med bufferlager	84
REFERENCER	91

Afsnittene 2.2 og 7.1 er udarbejdet af ingeniør Max Kjellerup, og afsnit 2.3 er udarbejdet af Göran Hultmark fra firmaet Teknoterm.

FORORD

I 1983 blev der taget initiativ til at søge gennemført fælles-nordiske demonstrationsanlæg på solvarmeområdet af den nordiske arbejdsgruppe inden for solenergi, som er tilknyttet NBS-Energi. NBS er en nordisk samarbejdsgruppe inden for byggeområdet som fungerer under Nordisk Ministerråd.

Formålet var at demonstrere de bedste samlede erfaringer inden for solvarmeområdet i et eller flere fællesstyrede projekter. Initiativet førte til at der i 1984 i Ballerup nær København til et nybyggeri med 150 boliger blev bygget et stort solvarmeanlæg med 156 m² solfanger til varmt brugsvand, med en blanding af svensk og dansk teknologi. Som noget nyt blev introduceret en ny type tagintegreret solfanger, som er både økonomisk og æstetisk attraktiv.

Projekteringen blev udført i et samarbejde mellem det danske rådgivende ingeniørfirma Dominia A/S og det svenske rådgivende ingeniørfirma Andersson & Hultmark samt Laboratoriet for Varme-isolering, som også har stået for måling af solvarmeanlæggets driftsforhold. Opbygningen af den tagintegrerede solfanger blev udført af smedemester Steffen Jensen, Skuldelev. Arkitekt var Fællestegnesteuen. Projektet er støttet af Byggforskningsrådet i Sverige og Energiministeriet og Energistyrelsen i Danmark. Projektet har siden starten i 1983 opnået uvurderlig støtte fra bygherren KAB og Ballerup Ejendomsselskab.

Det var nødvendigt at skaffe ekstra tilskud til realisering af det nordiske demonstrationsanlæg i Ballerup, og det var også nødvendigt at få bevilget midler til måling og evaluering af projektet.

Der blev fra Byggforskningsrådet i Sverige tilkendegivet, at man ville være positiv over for at dække halvdelen af ekstraomkostningerne til projektet, dog på anlægssiden primært øremærket til deltagelse med svensk ekspertise i projekteringsarbejdet. Samlet tilskud fra Byggforskningsrådet var på 360.000 DKK. Energi-

styrelsen i Danmark støttede projektet med et ekstra anlægstilskud på 15% ud over det normale 30% anlægstilskud til solvarme. Og Energiministeriet i Danmark har desuden bevilget penge til forprojekt samt måling og evaluering, så det samlede danske tilskud til projektet kommer op på 362.000 DKK.

I nærværende rapport gives der en detaljeret beskrivelse af solvarmeanlægget i Ballerup, og der omtales driftserfaringer samt resultater fra 1 års detaljerede målinger. Den årlige systemeffektivitet for den tagintegrerede solfanger er omkring 40% og må betegnes som absolut tilfredsstillende.

Erfaringer med organisation og teknik omkring større solvarmeanlæg i Danmark og Sverige gennemgås, og der gives en vurdering af økonomien for denne type solvarmeanlæg.

Der omtales også de videre perspektiver for anvendelse af større solvarmeanlæg i forbindelse med byggeri, og en vurdering af mulighederne for at opnå mere markante dækningsgrader med solvarme. Dette har været udgangspunktet i et nyt EF-støttet demonstrationsprojekt med 92 boliger som opføres i Herlev, med Boligselskabet KAB som bygherre. Her opnås først 30% besparelse ved almindelige energibesparelser. Desuden anvendes lokale solvarmeanlæg samt et solfangeropvarmet sæsonvarmelager, så der i alt dækkes 70% af det resterende varmebehov med solvarme. Hermed opnås samlet en 80% brændselsbesparelse til varme i forhold til almindeligt byggeri.

I forhold til ca. 1 m² solfanger pr. bolig i det nordiske demonstrationsanlæg i Ballerup anvendes der i det nye såkaldte "total-energiprojekt", ca. 15 m² solfanger pr. bolig.

I rapportens sidste afsnit udføres der en økonomisk beregning for større solvarmeanlæg til varmt vand, med et større solfangerareal pr. bolig end for anlægget i Ballerup. Der påvises her at det er optimalt at øge solfangerstørrelsen i hvert fald til 3-4 m² solfanger pr. bolig.

SUMMARY

A demonstration project with a new type of a large roof integrated solar collector for DHW was built in 1984, for the KAB Building Society, in Ballerup near Copenhagen as part of a Nordic cooperation on solar energy. The project has received funding from the Building Research Council in Sweden and the Energy Council and the Ministry of Energy in Denmark.

The 156 m² solar collector used, replacing an ordinary roof, was developed as an improvement of a Swedish solar collector. The System projecting was performed by the Danish and Swedish consultant engineers (Dominia A/S and Andersson & Hultmark). The Thermal Insulation Laboratory at the Technical University of Denmark was responsible for realizing the project and the following monitoring programme. Results from a one year monitoring period and operational experience are presented in the report together with an economical optimization for this kind of large solar heating systems. For this solar heating system with approx. 1 m² of solar collector per apartment, a 40% system efficiency of the insolated solar energy has been documented. Calculated performance and economy for variations of solar collector area per apartment have been analyzed, leading to the conclusion that it is more economical to use a larger solar collector area per apartment. For instance, the use of 3-5 m² of solar collector per apartment will have the same economy as the use of only 1 m², and will besides this permit extra saving potentials. It will in this case be possible to have a high solar fraction in the summer, and also to cover a large part of the heat loss from the circulation of DHW. The solar heating efficiency per m² of solar collector will of course be somewhat smaller, but this will be compensated by a reduced installation cost per m² of solar collector. Besides, extra savings can be achieved if it is possible to stop a gas furnace or a district heating piping system for a long period in the summer.

In a new EEC supported project, the KAB Building Society is using 15 m² of solar collectors for each of 92 low energy houses

together with a 3000 m³ seasonal storage. For this "total energy project", a 80% saving of the yearly gas demand for heating is expected.

1. PRÆSENTATION AF DET NORDISKE DEMONSTRATIONSPROJEKT I BALLE- RUP

1.1 Nordisk samarbejde inden for byggeri og solenergi

I det følgende gives af Fritjof Salvesen fra NBS-Energi en kort omtale af det nordiske samarbejde inden for NBS-Energi og solenergigruppen herunder.

Det organiserede byggforskningssamarbejdet i Norden ble etableret i enkle former på slutten av 1940-tallet. Formålet var å skape en ramme for gjensidig kontakt- og informasjonsvirksomhet, samt vurdere mulige samarbeidsformer. I 1957 ble NBS (Nordiske Byggforskningsorganers Samarbeidsgruppe) etableret som en fast organisasjon med medlemmer fra forskningsråd og forskningsinstitusjoner i de 5 nordiske land. Den løpende virksomheten gjennomføres hovedsakelig i særskilte arbeidsgrupper med minst 1 representant fra hvert medlemsland.

Arbeidsgruppen Energi (NBS-E) ble etableret i 1976 med formål å fremme samarbeidet vedr. energibruk i bygninger. For å øke effektiviteten av innsatsen, ble det i 1981 besluttet å etablere ekspertgrupper på flere av disse områdene. Ekspertgruppenes oppgave er å identifisere behov for nordisk samarbeid, initiere konkrete prosjekter, samt sørge for at disse gjennomføres.

Solenergigruppen er en slik ekspertgruppe, som siden 1982 har arbeidet for å effektivisere den nordiske forskningsvirksomheten på feltet solvarme. Solenergigruppen har følgende sammensetning:

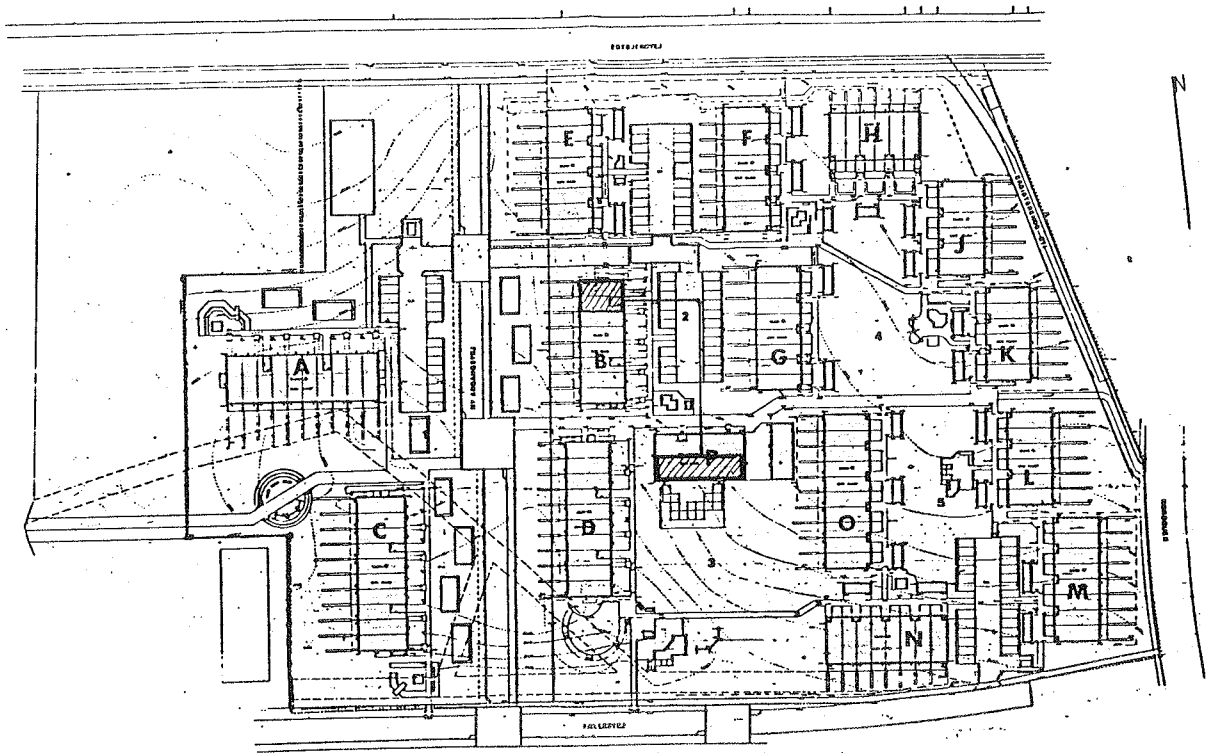
Torkild Vest-Hansen, Teknologisk Institutt, Danmark
Peder Vejsig Pedersen, Lab. for varmeisolering, Danmark
Peter Lund, NEMO, Finland
Michael Rantil, Byggforskingsrådet, Sverige
Fritjof Salvesen, A/S Miljøplan/NTNF, Norge

Denne gruppen har fungert som en nordisk referansegruppe for det nordiske demonstrasjonsanlegget i Ballerup.

1.2 Placering af solvarmeanlæg og principdiagrammer

I figur 1.1 er vist en situationsplan for bebyggelsen Egebjergvang i Ballerup med 150 almennyttige boliger. Der er anbragt 156 m² tagintegreret solfanger på det sydligt orienterede tag for bebyggelsens fælleshus. Solvarme transporteres gennem rør i

jord til bebyggelsens varmecentral som ligger ca. 50 m væk i en kælder.



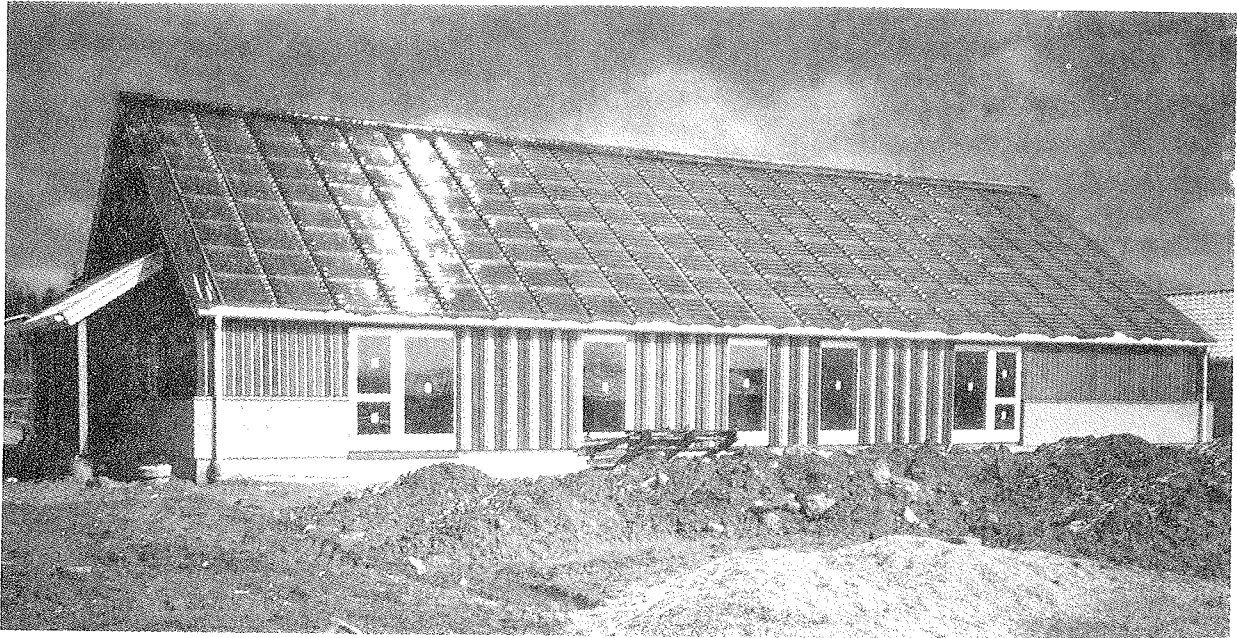
Figur 1.1. Situationsplan over Egebjergvang-bebyggelsen med solfanger og varmecentral indtegnet (skraveret).

Valg af varmecentralens placering og indpasning af 2 stk. 3.2 m² forrådsbeholdere var sket inden det blev besluttet at etablere solvarmeanlægget. Hvis man havde valgt solvarmeløsningen tidligere i projektet, ville man have placeret varmecentralen under fælleshuset.

Figur 1.2 er et fotografi af det Nordiske Solvarme demonstrationsanlæg i Ballerup lige efter færdiggørelsen af solfangeren i 1984.

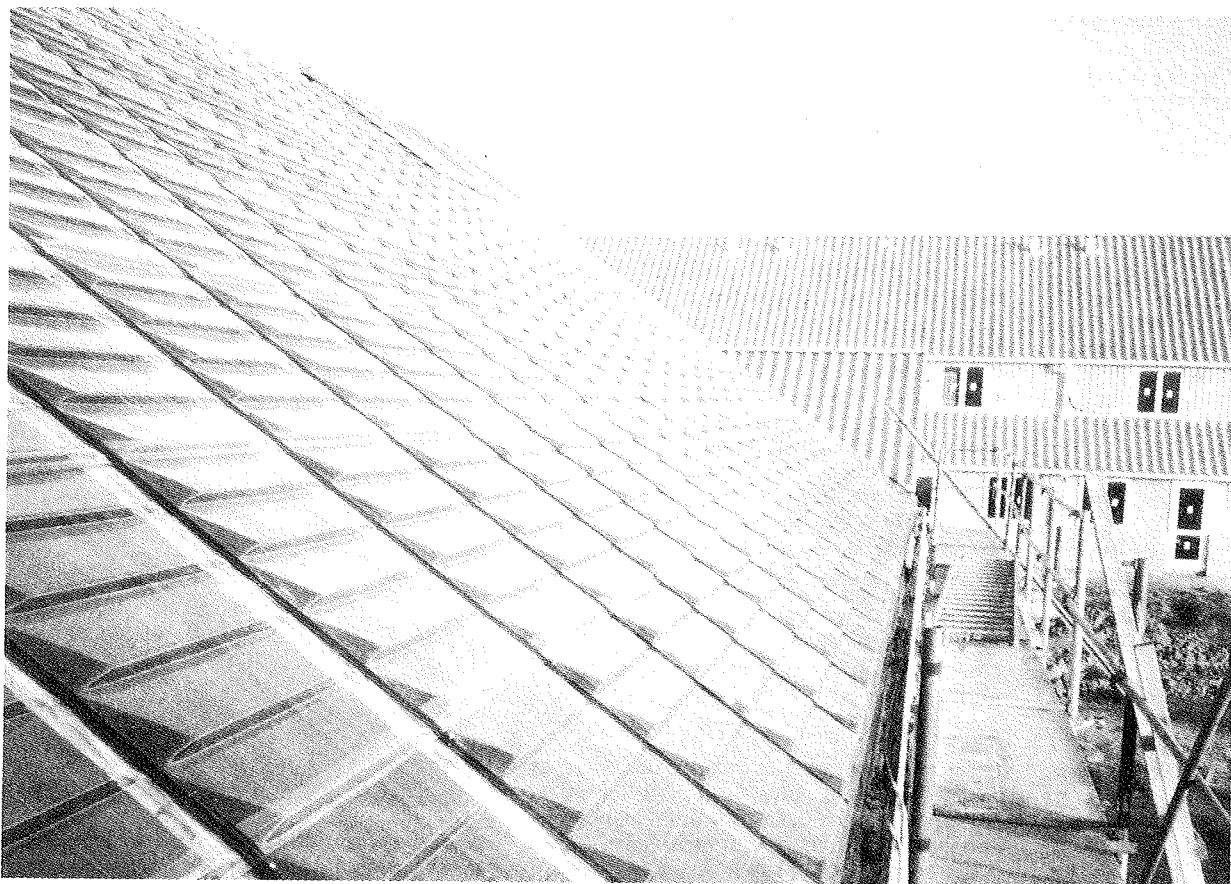
Figur 1.3 viser et foto af det anvendte acryl afdækningssystem, som er udviklet i Sverige, og danner en fuldstændig regntæt tagdækning til en på stedet opbygget solfanger, der er placeret oven på et vandtæt undertag.

Figur 1.4 viser et principdiagram for det nordiske solvarme demonstrationsanlæg i Ballerup.



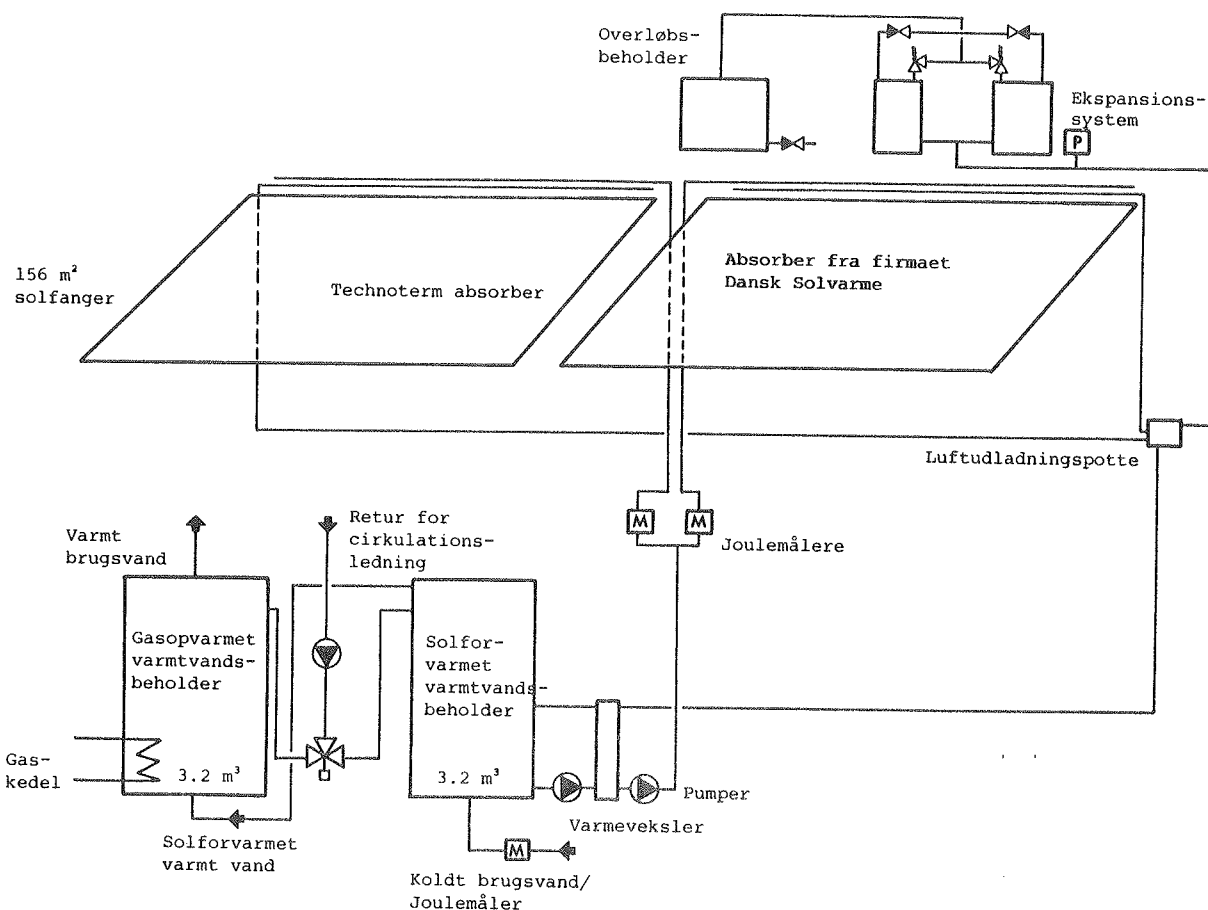
Figur 1.2. Nordisk solvarmedemonstrationsanlæg i Ballerup med 156 m² solfanger. Fotografi er taget lige efter installationen i 1984.

Som det kan ses, udgør solfangeren et alternativ til en almindelig tagdækning, fx med tegl eller eternit.



Solfangerne er integreret i den sydvendte tagflade. Som tagdækning anvendes profileret acrylplade, der placeres mellem sprodserne som løber fra rygning til stern.

Figur 1.3. Solfangerne er integreret i den sydvendte tagflade oven på et regntæt undertag. Som tagdækning anvendes profileret acrylplade, der placeres mellem sprodserne som løber fra rygning til stern. Solfangerabsorbere med bagsideisolering er placeret mellem sprosserne med alle rørforbindelser placeret under den øverste inddækning.



Figur 1.4. Principdiagram for det nordiske solvarmedemonstrationsanlæg i Egebjergvang, Ballerup. De eksisterende to forrådsbeholdere for varmt brugsvand udnyttes som varmelager. Disse var allerede placeret i varmecentralen da der skulle tages stilling til om byggeriet kunne anvendes til det nordiske demonstrationsprojekt for solvarme, vinteren 1983.

Der anvendes 2 forskellige solfangerabsorbere, én fra Sverige og én fra Danmark som hver dækker halvdelen af solfangerarealet, der er 156 m² netto. Der anvendes samtidig som noget nyt et svensk udviklet luftudladningssystem som muliggør automatisk opstart af anlægget uden manuel udluftning af solfangerne. Cirkulationsledningen for varmt brugsvand tilføres normalt den gasopvarmede beholder, men i tilfælde af høje temperaturer i den solopvarmede beholder (>50°C) tilføres cirkulationen til toppen af denne.

2. DESIGN AF SOLVARMELØSNING

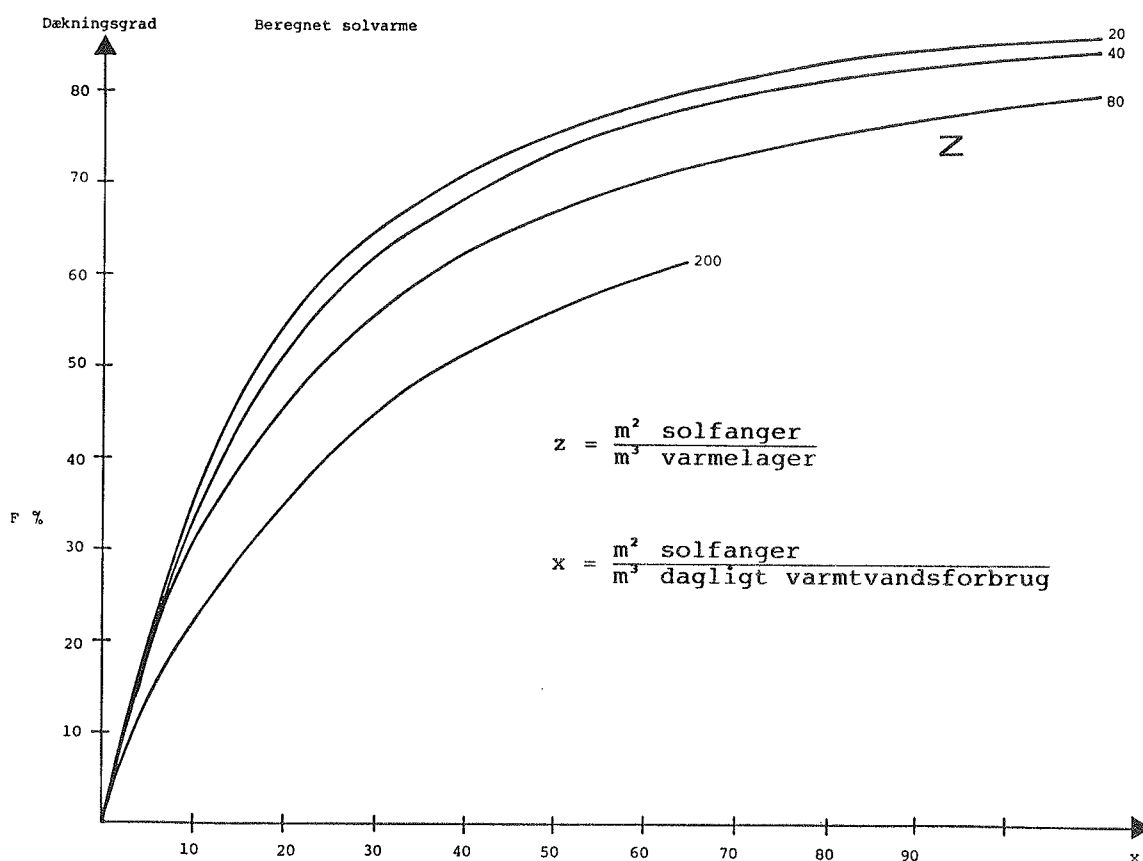
Det var hensigten at demonstrere et solvarmeanlæg, som var velegnet til nybyggeri, fordi der her stilles specielle krav, og derved opnå en række fordele ifm. solvarmeløsninger. Der var hidtil kun sket en meget begrænset anvendelse af solvarme i nybyggeriet både i Danmark og Sverige, især fordi solvarmeteknologien blev opfattet som værende på forsøgsstadiet af bygherrer og de professionelle rådgivere. Samtidig var der ubetinget fordele forbundet med nybyggeriet, når det drejer sig om rationel og billig installation og besparelse af alternative materialer, fx tagbeklædning, således at der kan opnås en god økonomi.

2.1 Beregning af solvarmeanlæggets ydelse

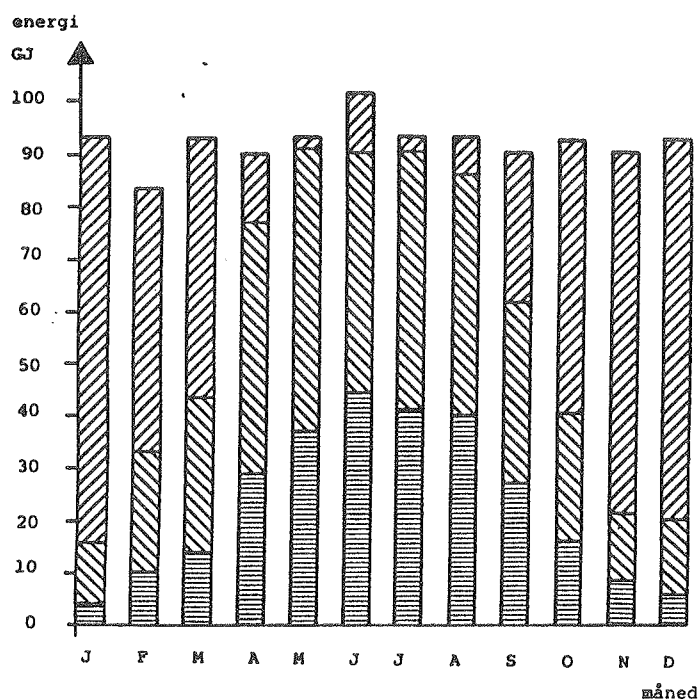
Der var allerede i 1983 på Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, gennemført en udredning vedrørende store solvarmeanlæg med stort vandforbrug, Balslev-Olesen (1984). Som værktøj blev brugt det såkaldte EMGP2 beregningsprogram for solvarmeanlæg, som er udviklet i EF regi, Dutré (1985). Det fremgår af denne udredning at det er muligt at opnå meget høje solvarmeydelser ved lave dækningsgrader af store varmtvandsforbrug. Hermed skulle offentlige bygninger som plejehjem og hospitaler have et stort markedspotentiale for solvarme.

Der blev også udført en række beregninger for det aktuelle solvarmeanlæg i Ballerup med EMGP2 programmet. Resultater af disse beregninger er vist på figur 2.1 og figur 2.2. Beregningen blev foretaget med en solfangereffektivitet, som var kendt fra en dansk solfanger, der anvender den velkendte SUNSTRIP absorber, som skulle bruges i den svenske solfangerdel. Diagrammet i figur 2.1. viser solvarmeydelser som funktion af solfangerareal, lagervolumen samt dagligt varmtvandsforbrug. Figur 2.2 viser resultatet af en EMGP2 beregning på månedsbasis som funktion af solindfald (fra referenceåret).

Med et varmt brugsvandsforbrug på 16 m^3 om dagen (ca. 100 liter pr. bolig pr. døgn), som opvarmes fra 10 til 55°C , og ud fra de



Figur 2.1. Beregnede dækningsgrader med EMGP2 (EF-udviklet solvarmeberegningsprogram) som funktion af solfangerstørrelse, varmelagervolumen og dagligt forbrug af varmt brugsvand. Der er tale om en lignende undersøgelse som den der er rapporteret i Balslev-Olesen (1984), men i dette tilfælde med de aktuelle parametre for solvarmeanlægget i Ballerup og med beregninger som også omfatter dækningsgrader over 50%. Der regnes med opvarmning af brugsvandet fra 12°C til 50°C. Indgangsparametrene til diagrammet er $x = \text{solfangerareal/varmtvandsforbrug (m}^2/\text{m}^3/\text{dag)}$ og $z = \text{solfangerareal/varmelagervolumen (m}^2/\text{m}^3)$.



EMGP 2 beregning for nordisk demonstrationsprojekt i Ballerup

	Energibehov til varmt vand	(GJ)
	Solindfald på 156 m ² , (syd, 45° hældning)	(GJ)
	Energi leveret fra solvarmebeholder	(GJ)

Forudsætninger:

Forbrug: 16 m³ varmt vand pr. dag opvarmes fra 10 til 55°C

Jævnt forbrug fra 7.00 til 24.00.

Brugsvands-cirkulation ikke medregnet.

3.2 m³ solvarmelager, 5 cm isolering.

Solfanger: $\eta = 0.78-4.4$

$$T/I = 0.011 \frac{T^2}{I}$$

160 m solfangerrør med 10 mm isolering. Solfangerflow på 4.3 m³/h.

Årsydelse 485 kWh/m² solfanger.

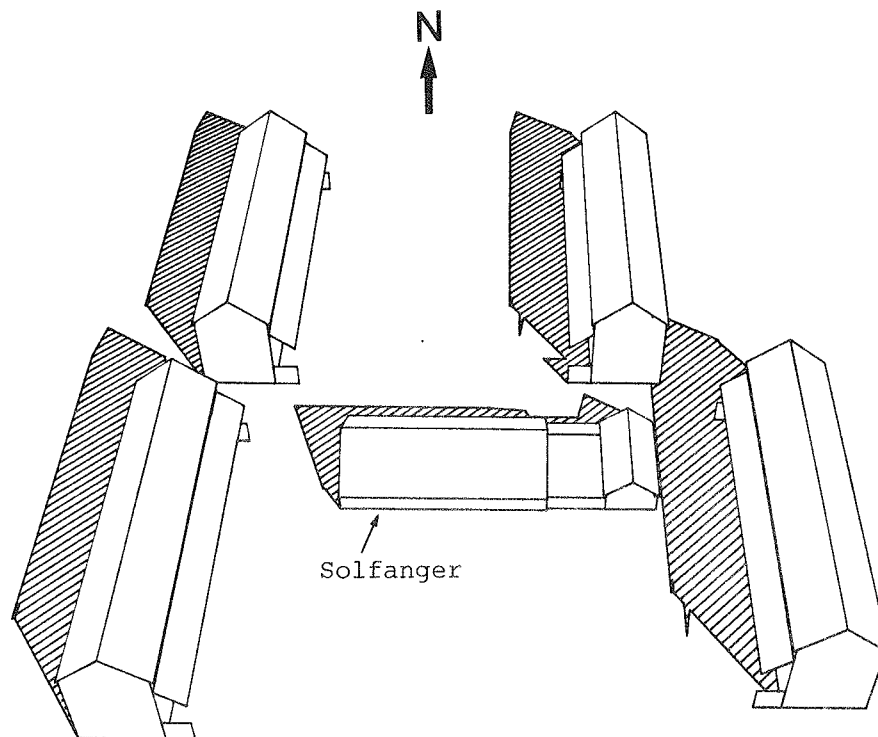
Figur 2.2. EMGP2 beregning for nordisk demonstrationsanlæg i Ballerup. Månedlige ydelser er afbildet som funktion af solindfaldet. Med kun ca. 1 m² solfanger pr. bolig bliver den årlige solvarmedækning af det varme brugsvand kun 25%, men udnyttelsen af solindfaldet på årsbasis bliver høj (nær 50%).

aktuelle tal for rørføring og beholderstørrelse blev der beregnet en årsydelse på 485 kWh pr. m² solfanger ud fra vejrdato i referenceåret. Herved blev opnået en dækningsgrad på omkring 25%. Med en lidt bedre solfangerabsorber med kanalplader i rustfrit stål svarende til den påtænkte danske løsning blev årsydelsen beregnet til 546 kWh pr. m² solfanger. Disse ydelser svarer i Danmark til systemeffektiviteter på 45-50% og må betegnes som virkelig høje.

Baggrunden for den høje solvarmeydelse er selvfølgelig den lave solvarmedækningsgrad på omkring 25% af varmtvandsforbruget, idet energiforbruget til brugsvandscirkulationen ikke medregnes i forbruget (normalt 30% af varmtvandsforbruget). Resultatet er

sådan set ikke overraskende da der kun er tale om lidt over 1 m² solfanger pr. bolig for solvarmeanlægget i Ballerup.

I figur 2.3 er vist en CAD tegning udført med Scribe-modeller af fælleshuset og de omliggende bygninger i Egebjergvang, med skygge indlagt. Her er vist situationen d. 21/3 kl. 10.00, hvor det ses at skygge på solfangeren ikke er noget problem. På årsbasis vurderes reduktion af solindfald pga. skyggeforhold at være meget begrænset.



Figur 2.3. Beregning af skyggevirkning foretaget med Scribe-modeller her for d. 21/3 kl. 10.00. Fælleshuset med solfangeren er bygningen i midten. Skyggevirkningen er størst fra bygningen til højre, men er dog på årsbasis meget ringe. Optræder kun i de sidste driftstimer om vinteren, hvor solindfaldet alligevel er begrænset.

2.2 Organisation og teknik under danske forhold

Der blev i 1985, kort tid efter etableringen af det nordiske demonstrationsanlæg i Ballerup, udført et større udredningsarbejde vedr. mulighederne for at anvende solvarme til varmt vand i offentlige bygninger, Birch & Krogboe (1985). Der tages her udgangspunkt i eksisterende byggeri. Der regnes her med en 20 års levetid for solfangerdelen, og der regnes ved almindelig beboelse med cirkulationstab for brugsvandet på 25-50% af det årlige brugsvandsbehov. For plejehjem udgør cirkulationstabet 50-100%.

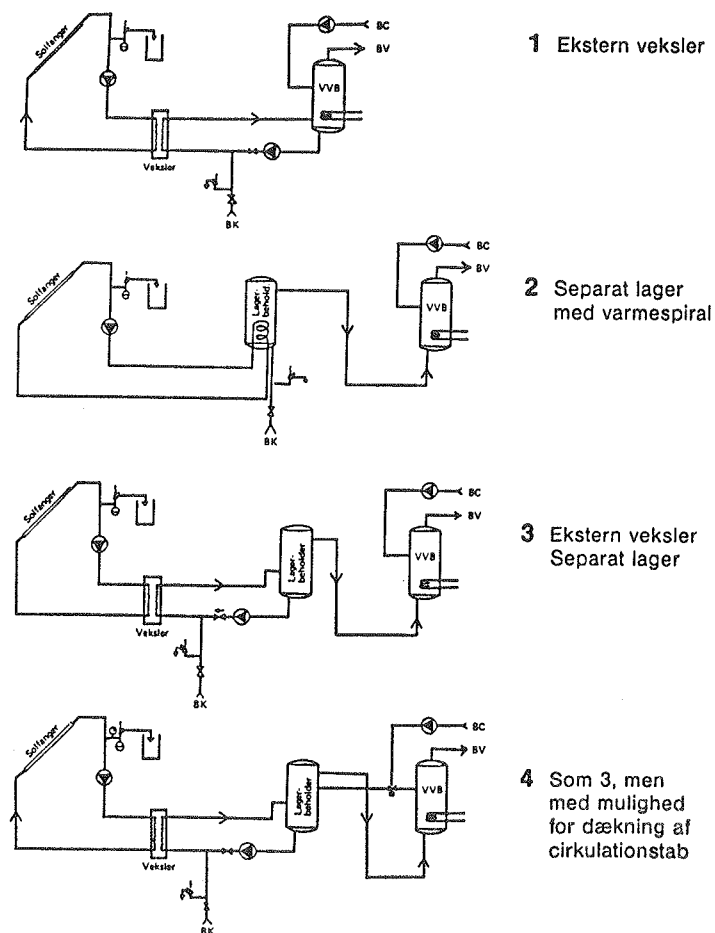
Undersøgelsen koncentrerede sig mest om store brugsvandsforbrugere, og der blev mest fokuseret på relativt lave soldækningsgrader for at opnå den bedst mulige økonomi. Beregninger viste at der kunne opnås solvarmeydelser mellem 350 og 700 kWh/m²/år ved årlige soldækningsgrader på 20-65%. Som anlægspriser inkl. 22% moms er angivet 2300-2600 dkr/m² solfanger (ved 200 m² solfanger). VVS delen udgør typisk 40% af denne pris. Solfangerprisen alene angives til 1340 dkr pr. m² solfanger, ved evt. tagbesparelse kan fratrækkes ca. 250 kr./m² solfanger. Beregnet simpel tilbagebetalingstid er 11-12 år, når 30% tilskud indregnes.

I figur 2.4 er vist principtegning fra dette arbejde samt ydelser ved forskellige dækningsgrader fra solvarmen.

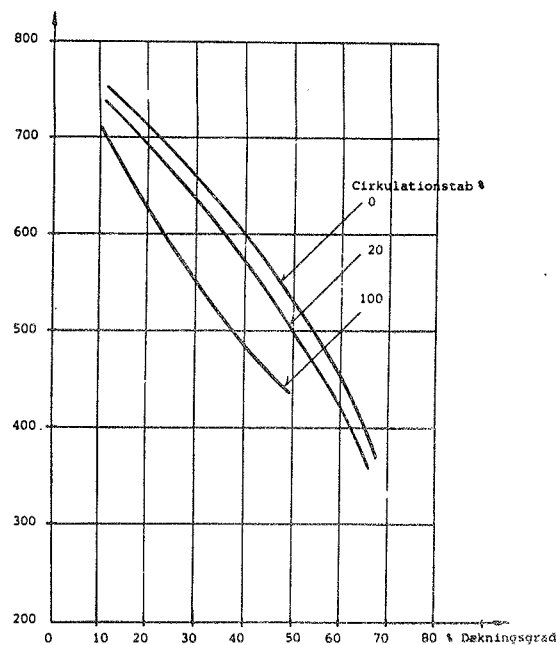
Det følgende afsnit er skrevet af afdelingsingeniør Max Kjellerup fra Dominia A/S som i forbindelse med solvarmeprojektet i Egebjergvang var bygherrens rådgiver.

Projektering

Ved udførelse af større solvarmeanlæg i Danmark er der tradition for, at projekteringen forestås af en rådgivende ingeniør i samarbejde med en arkitekt.



Solfangerydelse, netto
 $\text{kWh/m}^2 \text{ år}$



Figur 2.4. Løsningsforslag for solvarmanlæg til varmt vand i offentlige bygninger, udarbejdet af Birch & Krogboe i 1985 kort tid efter det nordiske demonstrationsanlæg i Ballerup var etableret. Arbejdet er udført som led i et udredningsarbejde for Energiministeriet i Danmark.

Teknikernes arbejde omfatter:

1. Udarbejdelse af projektmateriale (tegninger og beskrivelse).
2. Myndighedsgodkendelser, ansøgning om evt. statstilskud.
3. Prisindhentning (udarbejdelse af licitationsmateriale, afholdelse af licitation).
4. Prisvurdering, udvælgelse af entreprenører, kontraktforhandling.
5. Tilsyn med arbejdets udførelse.

Specielle forhold for projekteringen:

I forhold til projektering af fx et radiatoranlæg, som entydigt kan beskrives via tegninger og beskrivelser, vil et udbudsmateriale til et solvarmeanlæg normalt være mere "flydende" i sin udformning.

Dette skyldes, at de forskellige fabrikater af solfangere ikke har samme mål og at detaljer omkring indbygningen varierer afhængig af fabrikat.

Endvidere varierer effektiviteten af de enkelte fabrikater af solfangere, således at entreprenørerne også konkurrerer med hensyn til dette.

Ovenstående medfører ofte en detailprojektering efter licitationen, hvor de endelige tegninger for solfangerens indbygning kan udarbejdes.

Men for at give de bydende ens vilkår og for at kunne udvælge det anlæg, hvor pris-/ydelsesforholdet er bedst, er en relativ løs udbudsform mest almindelig når det drejer sig om solvarme.

Arbejdet på byggepladsen koordineres af den rådgivende ingeniør og omfatter styringen af de forskellige faggrupper, som skal

udføre solvarmeanlægget. Dette kan være VVS-installatører, el-installatører, glarmestre, isolatører m.v.

TEKNIK

Forudsætninger for at projektere solvarmeanlæg i Danmark har basis i erfaringerne fra projektering af radiatoranlæg til boligopvarmning.

Solfangerens rørsystem tilsluttes ofte efter vendt-retur-princippet, som tidligere var en meget benyttet systemløsning for radiatoranlæg.

Væskestrømmen sættes ofte til ca. 1 liter pr. m² solfanger pr. minut, dog med en tendens til i de senere år at projektere med væskestrømme mellem 0,5 - 1,0 l/m² solfanger pr. minut.

Væsken frostsikres ned til -20 °C, hvilket er tilstrækkeligt under danske forhold.

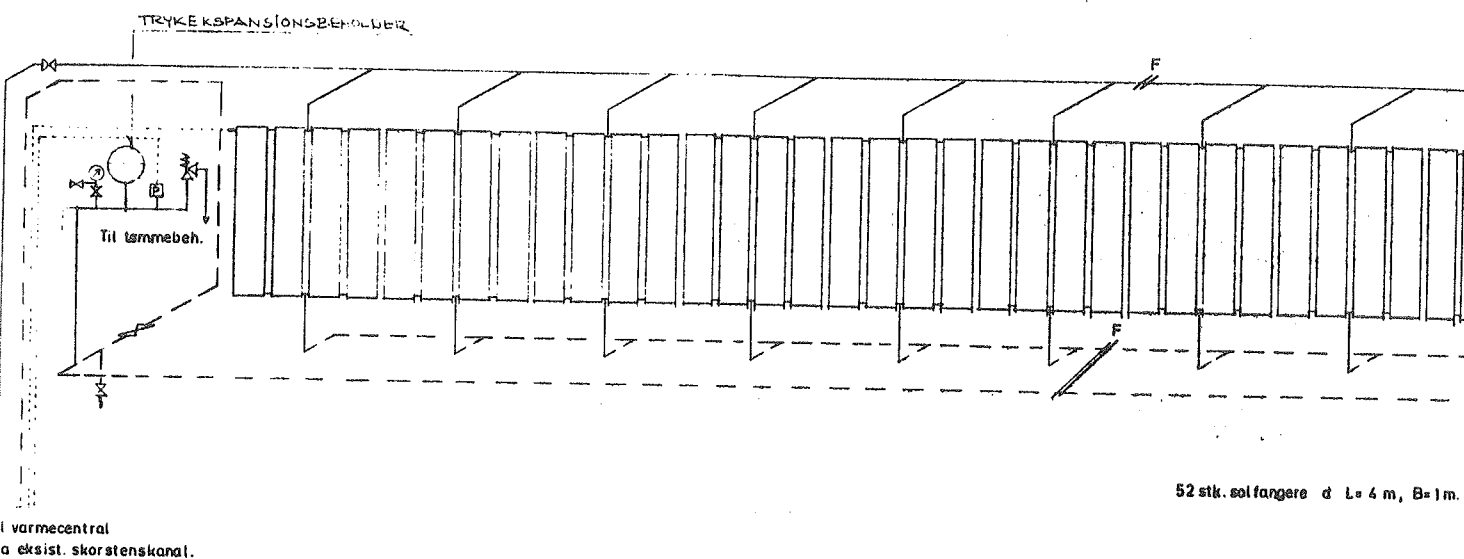
Hastigheden for væsken i hovedrør er typisk 0,6 m/sek. og for koblingsrør ca. 0,8 m/sek. Også disse vejledende rørhastigheder stammer fra den traditionelle radiatordimensionering.

Ekspansionssystemet udføres normalt som et lukket anlæg med en trykekspressionsbeholder og sikkerhedsventiler. Eksempel herpå er vist i figur 2.5.

Der etableres normalt ikke automatisk påfyldning af solvarmeanlægget.

Udover de lovbefalede sikkerhedsventiler v. lukkede anlæg kan større solvarmeanlæg være forsynet med en tryksvigtssikring, som via en alarmlampe i ejendomskontoret indikerer en fejlfunktion.

Til den automatiske styring af pumpen i solvarmekredsen benyttes en differenstermostat med en føler i fremløb fra solfangeren og en føler i returløb ved lagertank/varmeveksler. Start-/stopdifferens typisk 5 °/2 °C.



Figur 2.5. Systemdiagram for solvarmeanlæg med trykekspon og sikkerhedsventiler. Her fra Rebslagerhus på Nørrebro i København. Projektering Dominia A/S.

Pumper til større anlæg opbygges til paralleldrift med kontraventiler - dvs. at begge pumper er i drift samtidig og yder den fulde væskemængde.

Ved driftsstop af én pumpe fortsætter den anden pumpe og yder den halve væskemængde.

Lagertanke til brugsvand dimensioneres normalt til 75-100 l/m² solfanger, sjældent større.

Isoleringstykkelser:

Lagertanke ca. 12-15 cm.

Rør 3-4 cm.

Større anlæg bør forsynes med joulemålere for at kunne kontrollere ydelser - men det er ikke noget krav.

For at få statsstøtte til udførelse af solvarmeanlæg i Danmark skal anlægget være systemgodkendt af Prøvestationen for Solvarmeanlæg, som er beliggende på Teknologisk Institut, Tåstrup.

2.3 Organisation og teknik efter svenske forhold

Det følgende afsnit er skrevet af den svenske ingeniør Göran Hultmark fra firmaet Andersson & Hultmark. Göran Hultmark var med i projekteringsgruppen omkring det nordiske demonstrationsprojekt i Ballerup og har i den forbindelse deltaget i en lang række møder i Danmark. Hans arbejde er finansieret af Byggeforskningsrådet i Sverige. Artiklen trækker bl.a. en række vigtige punkter frem fra en kortfattet svensk projekteringshåndbog for solvarmesystemer, der er udarbejdet for Byggeforskningsrådet. Til projektering af større solvarmeanlæg i Norden er der dog stadig et stort behov for at få udviklet en god og rimeligt detaljeret projekteringsvejledning, således at VVS-ingeniører og entreprenører her kan finde et professionelt grundlag for at medtage solvarme i en byggesag.

Indledning

Byggnation av ett solvärmesystem är relativt komplicerat att integrera i den normala byggprocessen, då systemet inte enbart berör den traditionella VVS-delen, d v s värme, ventilation och sanitet, utan även berör byggnadsdelen om solfångarna integreras i taket under byggnation av husen.

Redan på planeringsstadiet måste därför beslut fattas om huset skall vara solvärmeförsörjt eller inte. Självfallet är husets riktning och takens lutning det första som måste fastställas. Här kan man generellt slå fast att en acceptabel riktning på takytan är mellan sydväst och sydost. Takens lutning får variera ifrån ca 20° till ca 45° mot horisontalplanet. Man måste dock ta i beaktande att en lutning på ca 30° är lämplig ur byggnadssynpunkt, då solfångaren kan byggas med relativt enkla säkerhetsanordningar.

Nästa steg i planeringen är storleken på systemet, d v s skall flera huskroppar anslutas till solvärmesystemet eller försörjer solvärmesystemet en byggnad. I det fall solvärmesystemet enbart försörjer den byggnad solfångarna sitter på, blir problemet något enklare då det enbart gäller att ta hänsyn till platsbehov för rörledningar, expansionskärl och apparatrum.

I det andra fallet att flera byggnader kopplas samman i ett solvärmesystem, måste rörledningarna från solfångarna till det centrala apparatrummet och rörledningarna från apparatrummet ut till värmesystemet planeras så att schaktning kan utnyttjas gemensamt för alla husets system. Här ställs det således stora krav på projektets planering redan från början så att kostnader, utseende och funktion blir så bra som möjligt.

Generellt organiseras ett byggprojekt efter i huvudsak två riktlinjer: detaljprojektering och totalentreprenad. Dessa två upphandlingsformer är de renodlade upphandlingsformerna men det förekommer även kombinationer av dessa två samt en tredje form som träder in efter detaljprojekteringen, nämligen det man benämner generalentreprenad.

Detaljprojektering

Det vanliga förfarandet vid detaljprojektering av ett byggnadsprojekt är att beställaren anlitar en administratör i den mån han inte har denna kompetens inom företaget. Administratören samordnar projektet och tar och erforderliga myndighetskontakter såsom byggnadslov, VA-lov, statsplaneändringar etc.

Projekteringsgruppen består vanligtvis av:

1. Arkitekt
2. Konstruktör
3. VVS-konstruktör
4. El-konstruktör

När arkitekten har bestämt husets utformning har han redan haft kontakt med VVS-konstruktören om solvärme skall förekomma. Härfter görs en projektering av alla projekteringsgrupper parallellt så att byggnaden i detalj är bestämd och alla ritningar, beskrivningar och övriga föreskrifter utförs. När detta är gjort upphandlas sedan entreprenörer och installatörer.

Generalentreprenad

Ibland önskar beställaren inte att själv samordna de olika entreprenörerna och installatörerna utan överläter de handlingar som utfördes i detaljprojekteringen till en generalentreprenör, vanligtvis byggnadsentreprenören. Hans ansvar blir då att uppföra projektet enligt utförda handlingar men han behöver inte ansvara för själva handlingarna, då ansvaret för dessa ligger på dem som har utfört dem.

Totalentreprenad

Om ett projekt byggs enligt bestämmelserna för totalentreprenad utförs ingen detaljprojektering, utan enbart en så kallad ramhandling. Denna handling bestämmer de krav som skall ställas på byggnaden. Kraven kan även specificeras relativt detaljerat, d v s hur varje rum skall se ut och hur VVS-systemet skall vara uppbyggt. Här kan också en rambeskrivning för solfångarsystemet ingå. Denna måste dock vara av generell natur, d v s generella kvalitetskrav, effektivitetskrav, ytkrav o s v.

Totalentreprenören ansvarar sedan för att projektet blir uppfört enligt rambeskrivningen och gör, vanligtvis efter det att han har fått beställningen, erforderliga handlingar som han själv helt och hållet ansvarar för.

Speciella förhållanden för ett solvärmesystem under utvecklingsfasen

Ny energiteknik som solvärme har visat sig vara svår att inlemma i ovanstående entreprenadformer. Detta beror på att konsultkåren, d v s VVS-projektören, i regel inte har haft den detaljkunskap om ett solvärmesystem som erfordras för att göra en detaljprojektering. Man har därför ofta gjort en separat totalentreprenad för solvärmesystemet vare sig byggnaden i övrigt har utförts som totalentreprenad, generalentreprenad eller konventionell detaljprojektering.

Genom att göra en separat totalentreprenad för solvärmesystemet har tillverkaren och/eller den specielle solvärmeentreprenören fått leverera sin egen anläggning och ta fullt funktionsansvar för anläggningens drift och att utlovade prestanda uppfylls.

Organisation av ett solvärmesystem i framtiden

I framtiden måste ett solvärmesystem helt och hållet anpassas till den konventionella organisationen. Av denna anledning har byggforskningsrådet finansierat framtagandet av en projekteringshandbok för solvärmesystem. Med hjälp av denna projekteringshandbok kan VVS-konstruktören detaljprojektera en solvärmeanläggning och således inlemma en solvärmeanläggning i det normala detaljprojekteringsförfarandet.

Även vid utförandet av rambeskrivning till totalentreprenad är projekteringshandboken en nödvändighet för att rätt kravspecifikation skall ställas.

Projekteringshandbok för solvärmesystem i flerbostadshus

Projekteringshandboken ger en komplett projekteringshandledning för ett solvärmesystem. Alltifrån monteringen av solfångarna, dimensionering av rörledningar, lager, pumpar samt anvisningar för styr- och reglerfunktionen.

Projekteringshandboken är uppbyggd enligt följande:

1. Beskrivning.
Här beskrivs systemets generella uppbyggnad.
2. Dimensionering.
Här anges kravspecifikation på riktningar, vinklar, varmvattenförbrukning, värmebehov samt solfångarutbyte i förhållande till den totala solvärmetäckningsgraden.
3. Funktion och system.
Här är systemet uppritat som principschema med alla detaljer samt en styrbeskrivning av systemet.
4. Solfångarsystemet.
Här beskrivs flöden, tryckfall och olika uppbyggnadsmöjligheter av solfångaren. Det beskrivs även vilka egenskaper cirkulationspump, expansionskärl, avluftare och de värmeväxlarbatterier som finns i lagertanken skall ha.
5. Lagringstanken.
Här visas hur lagringstanken skall konstrueras och hur de ingående komponenterna som värmeväxlarbatterier för varmvatten och värme, skall dimensioneras och utföras.
6. Montering av solfångarna.
En komplett monteringsbeskrivning av solfångaren.
7. Beskrivningstext.
Här finns beskrivningstexten för ett projekt nedtecknad så att alla komponenter får rätt materialinnehåll och specifikation.
8. Drift- och underhåll.
Drift- och underhållsanvisningar, t ex blandning av glykol, hur man startar upp, hur man felsöker systemet och hur man tappar av systemet.

8.3 Solvärmeanläggning med korttidslager

Ett solvärmesystem med korttidslager har den fördelen att det ger det lägsta solenergipriset.

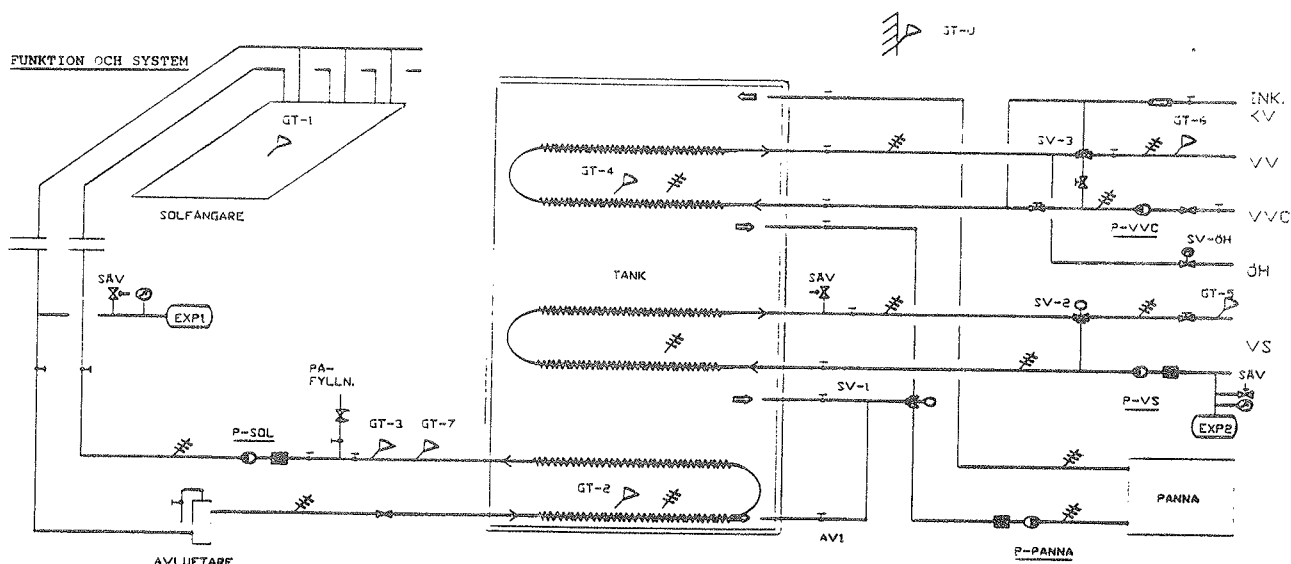
I framtiden är det dock inte uteslutet att ekonomin kan bli bättre med ett säsongslager. Nackdelen med enbart ett korttidslager är ju att solenergin framför allt kan nyttiggöras på sommarhalvåret, då energipriserna i vissa fall är lägre än på vinterhalvåret samt att det psykologiskt är lättare att införa en teknik som ger energi när det är som kallast ute och således kan utnyttjas i större mängd.

Solvärmesystem med korttidslager för flerfamiljshus har utvecklats i Skandinavien sedan mitten på 70-talet och har resulterat i system med s k solfångartak och trycklös lagertank som också innehåller värmeväxlarbatterierna.

Lagertanken är centralpunkten i systemet och dit förs all värme från såväl solfångare som tillsatsvärmepanna. Solfångarna värmer vattnet i tanken på så sätt att glykolblandat vatten cirkulerar mellan solfångarna och ett värmeväxlarbatteri i tankens botten. Pumpen i solfångarkretsen startar när temperaturen i solfångaren överstiger vattentemperaturen i tankens botten.

Värmevattnet i husets värmesystem värms i ett värmeväxlarbatteri i tankens mellanskikt. Varmvattnet värms av ett värmeväxlarbatteri i tankens toppskikt. När tillsatsvärme krävs värms vattnet i tankens övre del med en värmepanna.

Lagertanken är nödvändig i samband med en fastbränslepanna för att erhålla en hög verkningsgrad (längre drifttid). Tanken kan även användas för att dygnslagra natt-el (lågtaxa).



Värme och varmvattenbehov

Värmebehovet för rumsvärme och varmvatten varierar i nybyggda hus mellan 80 och 120 kWh/år, m² lägenhetsarea. Andelen varmvatten varierar normalt mellan 20 och 30 %.

Följande riktvärden kan användas för att bestämma varmvattenbehovet:

Lägenhet 2 rok	1500 kWh/år, lägenhet
3 "	2100 kWh/år, lägenhet
4 "	2700 kWh/år, lägenhet

Förvärmning av varmvatten:

Tumregel 1: Solvärmeanläggningen bör dimensioneras för att täcka ca 40% av varvattenbehovet. Då kan man erfarenhetsmässigt räkna med ett solvärmeutbyte i storleksordningen 400 kWh/år, m² solfångararea. Det krävs då ca 60 l lagervolym per m² solfångararea.

Kombinerat värme och varmvatten:

Tumregel 2: Solvärmeanläggningen dimensioneras för att täcka 20% av det totala värmebehovet, då det totala värmebehovet är nära 120 kWh/år, m² lägenhetsarea och andelen varmvatten är nära 20%.

Tumregel 3: Solvärmeanläggningen dimensioneras för att täcka 30% av det totala värmebehovet, då det totala värmebehovet är nära 80 kWh/år, m² lägenhetsarea och andelen varmvatten är nära 30%.

I båda fallen kan man räkna med att erhålla ett solvärmeutbyte i storleksordningen 250 kWh/år, m² solfångararea. Det krävs då ca 100 l lagervolym per m² solfångararea.

Annan lutning och riktning

För att kompensera för olika solfångarlutning eller -riktning kan följande korrektionsfaktorer användas för att bestämma solvärmeutbytet.

Lutn/riktn	S	SV, SO	V, Ö
15 grader	0,92	0,88	0,70
30 "	1,00	0,93	0,68
45 "	1,07	0,95	0,64

Ekonomi

Ekonomin i ett solvärmesystem med korttidslager bestäms till stor del om korttidslagret kan göras ekonomiskt i sig självt, d v s möjlighet att utnyttja fast bränsle eller möjlighet att utnyttja olika taxor på elektricitet.

Om korttidslagret kan göras ekonomiskt i sig självt kan den investering som måste täckas av genererad solvärme enbart kan hänföras till solfångarna, rörsystem mellan solfångare och lagertank, cirkulationspump samt värmeväxlarbatteri. Kostnaden för ett sådant system varierar mellan ca 1200:-/m² upp till 2000:-/m² beroende på projektets storlek, takytans enhetlighet samt avstånd mellan solfångare och apparatrum.

Solfångaren producerar mellan 250 och 400 kWh/år och den enkla återbetalningstiden blir med ett energipris på 0,4 kr/kWh mellan 7,5 och 20 år.

Utan subventioner räknat med 5% realränta och 20 års avskrivningstid varierar således energipriset mellan 70 öre/kWh till 2 kr/kWh.

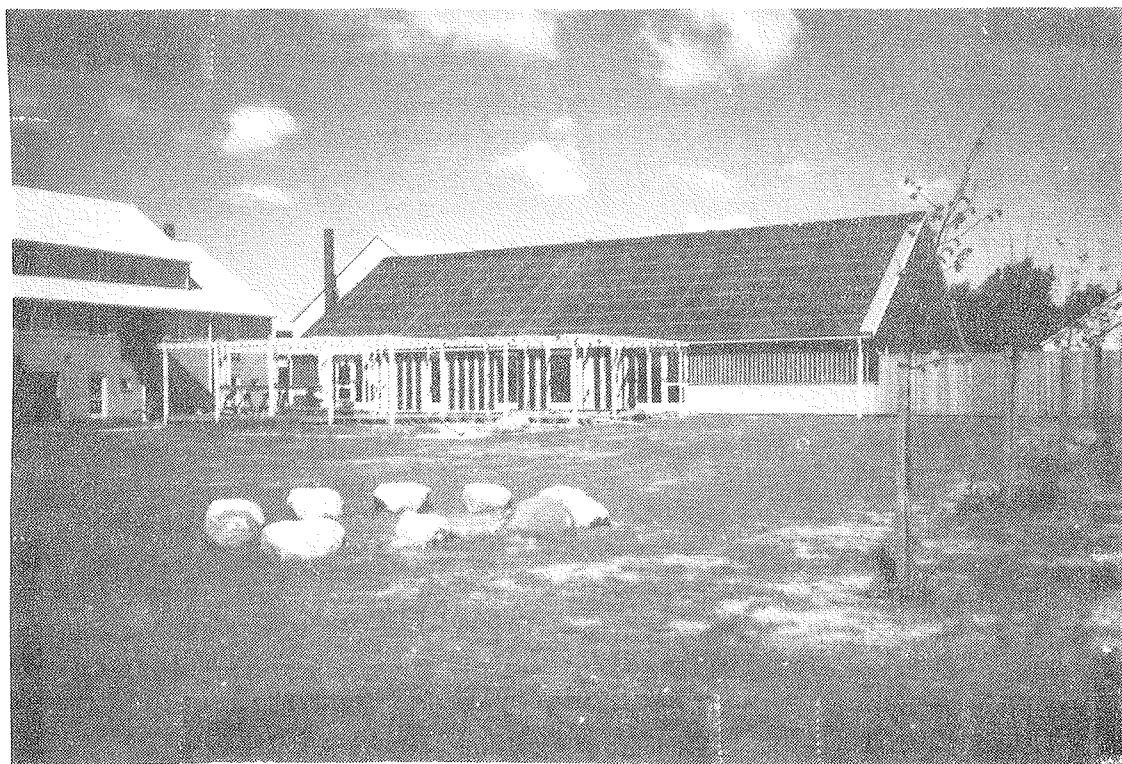
I Sverige kan dock nästan hela investeringen täckas av statliga bostadslån, samma lån som byggnader och övriga energislag utnjuter. Årskostnaden blir då mellan 3 och 6% av investeringen första året, vilket innebär att energipriset vanligen blir ca 30 öre per kWh i samband med nybyggnation.

3. TAGINTEGRERET PÅ STEDET OPBYGGET SOLFANGER

3.1 Beskrivelse af den på stedet opbyggede solfanger

Den valgte tagintegrerede solfangerløsning var en af hovedgrundene til overhovedet at gennemføre det nordiske demonstrationsprojekt.

Der var som noget nyt i Sverige udviklet en solfanger eller snarere et solfangerafdækningssystem, som et gennemført og gennemtænkt byggeprodukt, således at god driftssikkerhed og holdbarhed blev kombineret med mulighed for nem installation og et æstetisk, attraktivt udseende.



Figur 3.1. Fælleshuset til Ballerup Boligselskab/KAB's bebyggelse Egebjergvang i Ballerup. Det sydvendte tag er udført som en 156 m² tagintegreret solfanger, som bl.a. udnytter et svensk udviklet afdækningssystem af høj kvalitet med profilerede acrylplader der indbygges i et sprossesystem oven på et undertag. Der opnås herved en æstetisk, god og meget driftssikker og holdbar tagløsning. Halvdelen af solfangeren er forsynet med en solfangerabsorber fra det svenske firma Teknoterm, mens firmaet Dansk Solvarme har leveret den anden halvdel.

Udfordringen lå i at prøve at bruge dette solfangersystem under danske forhold og med forskellige typer solfangerabsorbererelementer i.

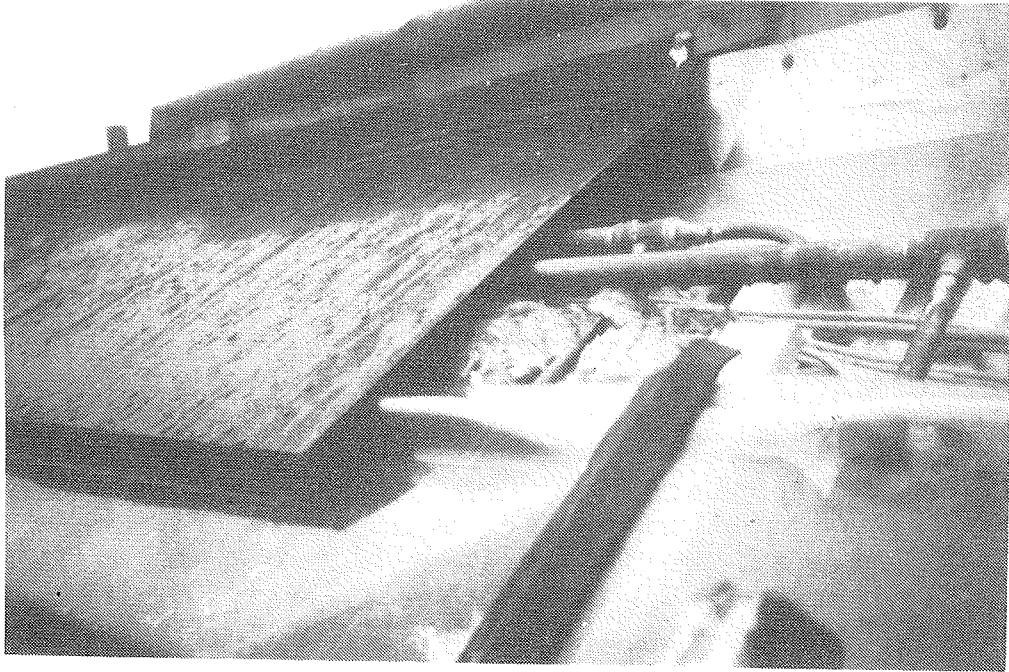
Solfangeren er opbygget med det svenske solfangerafdækningssystem med et undertag af trapez-aluminiumsplade. På dette er der fastgjort specielt udviklede sprosser, og 8 m lange og 1 m brede, selektive absorbere er placeret mellem sprosserne oven på en mineraluldsisolering, (se figur 3.2).



Figur 3.2. Den tagintegrerede solfanger i Ballerup er monteret oven på et regntæt undertag af trapez aluminiumsplade. Acrylpladerne er profileret og lægges over hinanden med en vulst i toppen til regnafskærmning. Disse samlinger er i dag forbedret med en tværgående aluminiumsskinne for at undgå støvindtrængning som i visse tilfælde har været et problem.

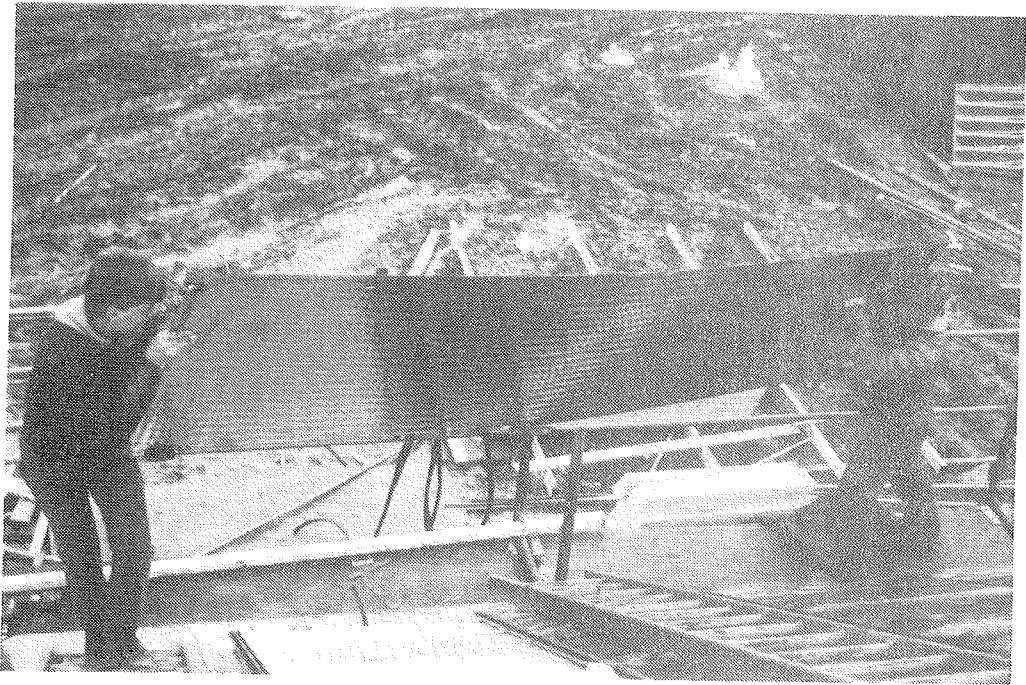
Herefter er placeret specialudviklede 1 m x 1 m vacuumformede profilerede acrylplader i sprosserne, overlappende ligesom teglsten. Hele rørføringen fra absorberne er henvist til en placering under topinddækningen af solfangeren, hvilket gør installation og vedligeholdelse nem (figur 3.3). Halvdelen af absorberarealet er udført med en absorber i rustfri kanalplade

med selektiv folie fra firmaet Dansk Solvarme, og den anden halvdel er en svensk ribberørsabsorber med selektiv overflade fra firmaet Teknoterm.



Figur 3.3. Alle rørføringer, frem og retur til solfangerelementer, er ført i toppen af taget under den øverste inddækning. Herved opnås få rørsamlinger og let adgang ved behov for reparation.

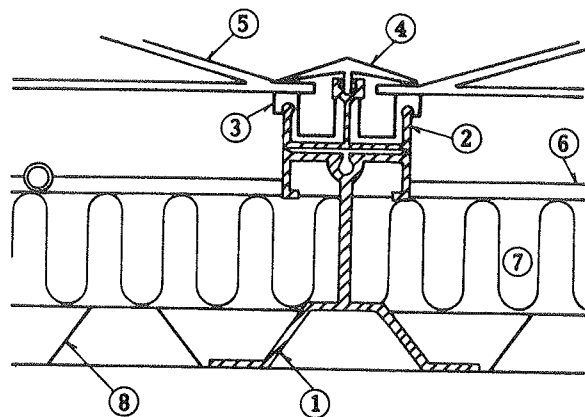
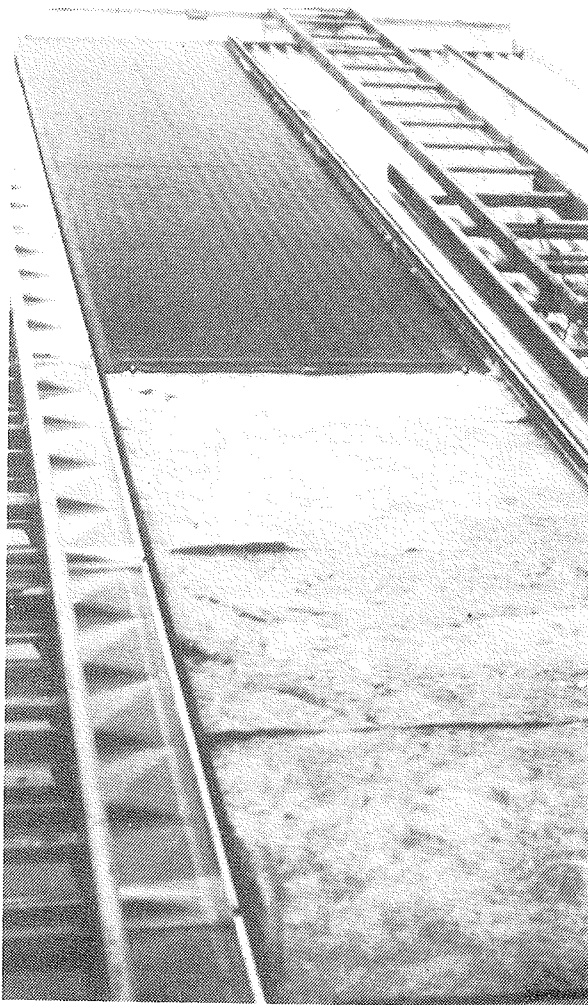
Figur 3.4 viser installation af absorber fra Dansk Solvarme, og figur 3.5 og figur 3.6 viser detaljer for den tagintegrerede, på stedet byggede solfanger, undertag, sprossesystem, isolering, absorber og afdækning.



Figur 3.4. En rustfri stålabsorber til den danske solfangerdel bæres på plads. Transport af længere absorbere på tag kan godt volde problemer.



Figur 3.5. Her ses opbygningsprincippet for den tagintegrerede solfanger. Først lægges aluminium trapezplade under tag, så sprossesystem, herefter placeres isolering og absorber. Til sidst installeres de profilerede acrylplader, som igen fastholdes med uendelige butylgummibånd, som presses ned og fastholdes i et spor i sprossen. Disse fastholdes endelig med beslag der placeres med mellemrum der svarer til bredden af de anvendte acrylplader, idet beslaget placeres lige under overlapningen af to plader.



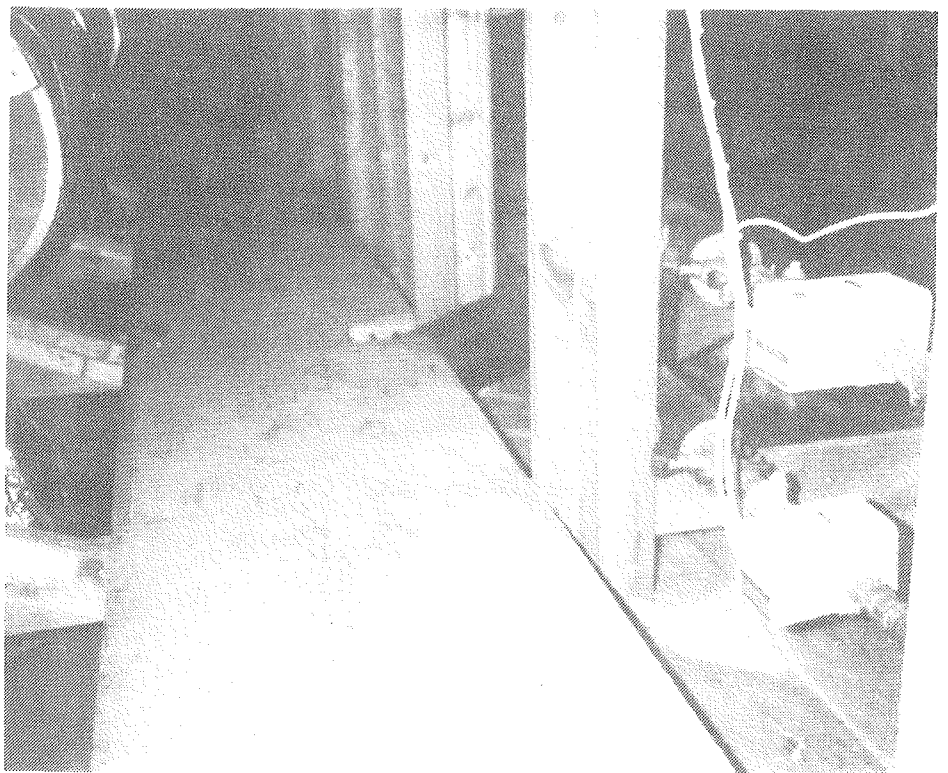
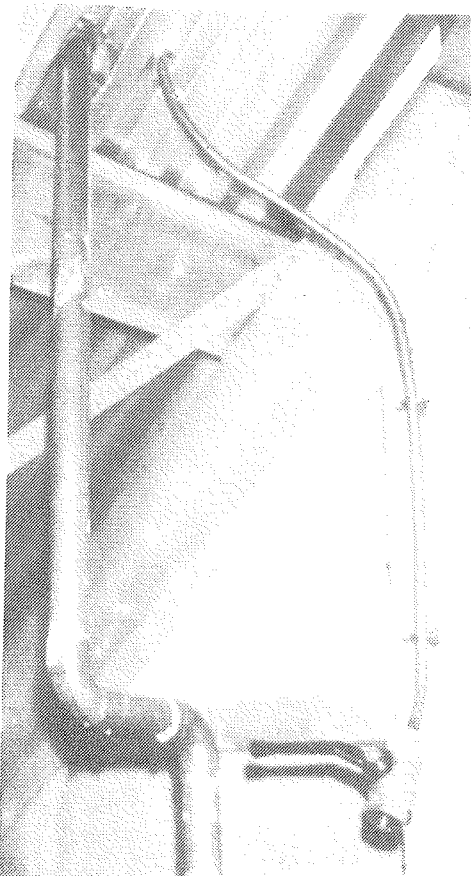
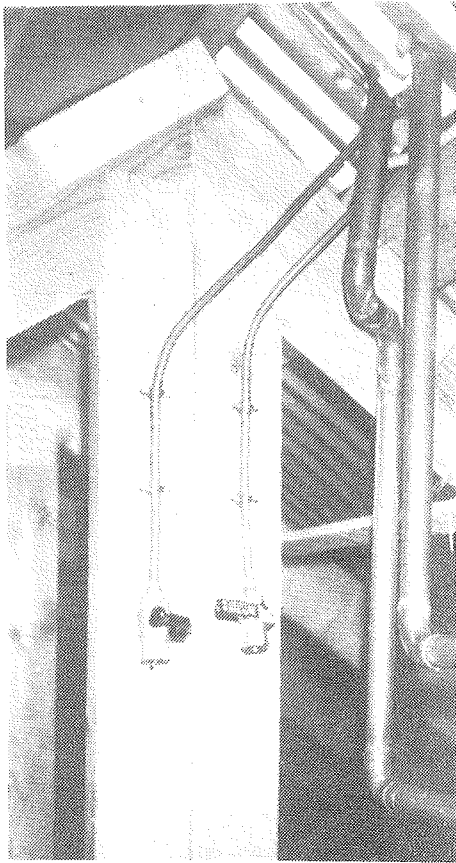
1. Sprosseprofil
2. Tagrende
3. Butulprofil til tagrende
4. Sprossenhætte af butyl
5. Acryldæklag
6. Absorber
7. Isolering
8. Undertag af aluminiumsprofilplade

Figur 3.6. Billede fra absorbermontagen i Egebjergvang illustrerer montagesystemets enkelhed. Der behøves kun to rørsamlinger i selve solfangeren, da hver absorberdel er 3,5 m lang. Bagsideisolering er 40 mm mineraluldbatts.

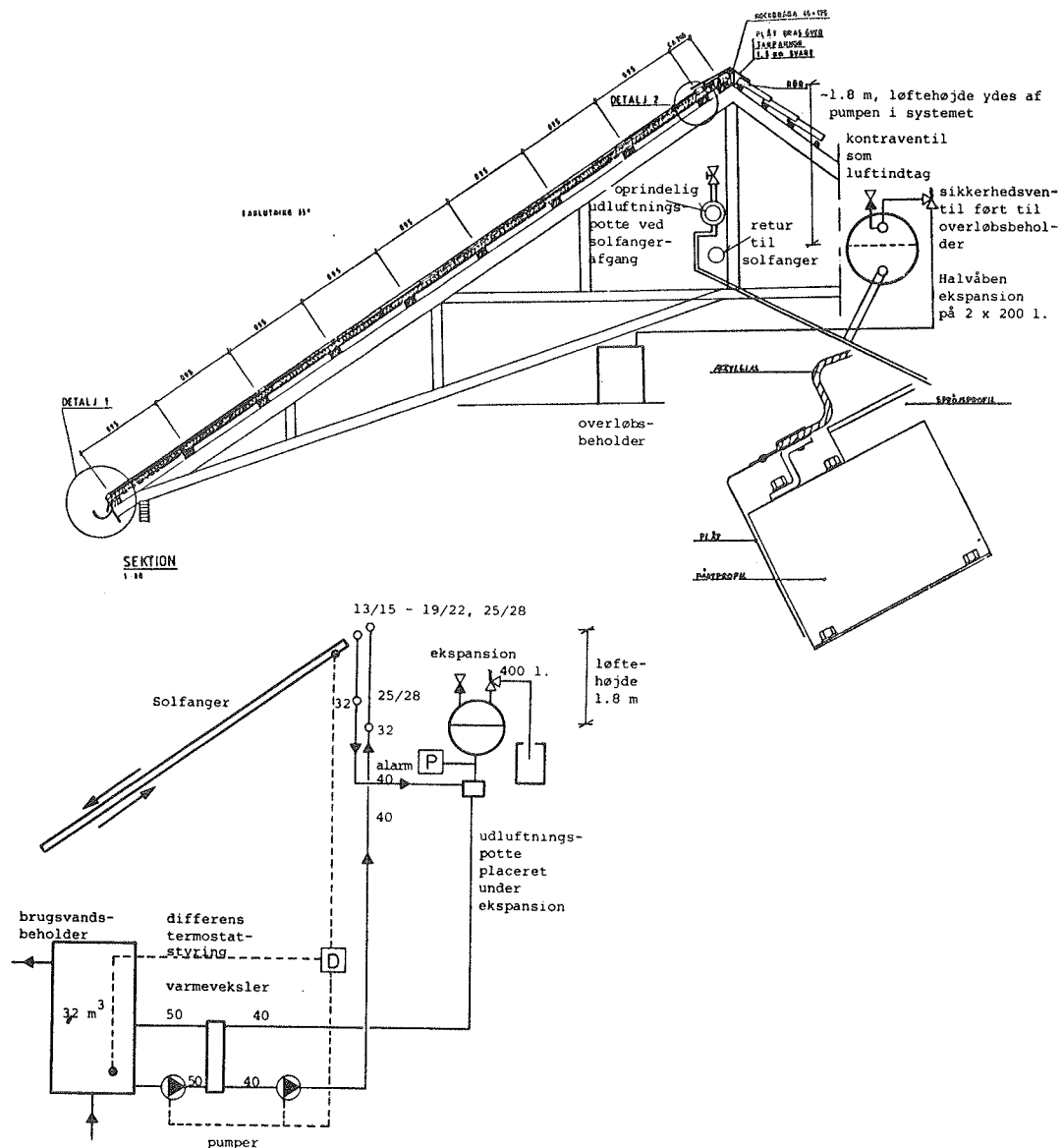
Desuden er vist snit i tagintegreret, på stedet opbygget solfanger med acrylafdækningssystem.

På figur 3.6 er også vist et snit i solfangerkonstruktionen, og figur 3.7 viser billeder fra rørføring i tagrum. Bl.a. ses to joulemålere for hver solfangerkreds, udluftningshaner for hver solfanger, og forkert placeret udluftningspote over ekspansionsbeholder, se også figur 3.8.

Figur 3.8 viser snit i tagkonstruktionen samt princip for styring af solfangerkreds og ekspansions- og udluftningssystem, der sikrer mulighed for automatisk start.



Figur 3.7. Her ses fotos af udluftningshaner for hver solfangerdel på loftsrøm. Desuden er vist de to joulemålere for de to forskellige solfangerkredse.



Figur 3.8. Her er øverst vist en snittegning af tagkonstruktionen i fælleshuset med den tagintegrerede solfanger. Acrylafdækningspladerne spænder hver 876 mm, så taget skal gå op med dette mål inkl. topinddækning. Endvidere er vist hvorledes ekspansionssystemet virker. Princippet er at afgangsrøret fra solfangeren er dimensioneret så man altid har relativt høje vandhastigheder (se Mikkelsen (1988) om dette), således at luft- og dampbobler altid rives med. I niveau under en halvåben ekspansionsbeholder udslemmes luften ved en kraftig fortykning af røret, så luften kan boble op i ekspansionsbeholderen. På ekspansionsbeholderen er placeret en sikkerhedsventil med afløb til en overløbsbeholder. Desuden er placeret en kontraventil som kan tillade luft at komme ind når systemet startes op, og solfangeren fyldes med væske fra ekspansionsbeholderen. Der er også på tegningen vist hvorledes den oprindelige udluftningspotte blev fejlplaceret, noget som er rettet nu.

Nederst er vist et principdiagram for solfangerkredsen med det nævnte halvåbne ekspansionssystem.

Solfangerløsningen er både fuldstændig regntæt og godt ventileret, således at en lang levetid kan påregnes. Dette sammen med et attraktivt udseende har medført, at de involverede rådgivere anser solfangeren for en attraktiv bygningskomponent der kan anbefales inden for fremtidigt byggeri.

3.2 Erfaringer med den anvendte solfanger

Ved gennemgang af erfaringerne med den tagintegrerede på stedet opbyggede solfanger overlades de fleste forhold vedrørende selve driften til afsnittet om systemerfaringer. Et enkelt forhold skal dog behandles i dette afsnit, nemlig rørforløringen omkring selve solfangeren.

Det kan konkluderes at erfaringerne med den anvendte solfanger langt overvejende har været meget positive. Dog var det ikke nogen nem opgave at kombinere anvendelsen af svensk og dansk teknologi og samtidigt have to forskellige komponentleverandører til den samme solfanger, som blev udført af en tredje part.

Det var bl.a. vanskeligt garantimæssigt fordi den normale garantiordning for komponenter ikke omfatter følgearbejder. Dette problem blev løst ved at begge absorberleverandører stillede 2 års garanti for materialer og følgeomkostninger og repræsentanter herfra så skulle overvære trykprøvningen af anlægget.

Derudover opstod et problem med vejrligsgaranti, fordi man nåede hen i november 1984 før solfangeren blev installeret.

Rørforløringen med begge manifold rør i toppen var rationel at udføre, men vanskeliggør en tømning af solfangeren, da det ikke er muligt at udføre et afløb i bunden uden store ekstra omkostninger.

Afdækningssystemet har langt overvejende virket godt. Dog er der konstateret en vis støvindtrængning ved overlæggene. Dette skyldes en unøjagtighed ved montagen, og at det nederste acryllag bøjer lidt ned med tiden. Dette modvirkes i dag ved at der i overlæggene indbygges et tyndt aluminiumsprofil.

3.3 Solfanger i forbindelse med tagrenovering og modulopbyggede solfangere

I dette afsnit gives nogle eksempler på andre tagintegrerede solfangere i Danmark, alle udført i forbindelse med eksisterende byggeri. Der skal først omtales et andet solvarmedemonstrationsanlæg der blev bygget på Nørrebro på hjørnet mellem Lygten og Frederikssundsvej næsten samtidig med at det nordiske demonstrationsanlæg blev bygget i Ballerup. Her blev etableret en solfanger af samme type som den i Ballerup, men her med 208 m² solfangerareal. Batec Solvarme i Herfølge var udførende og anvendte også Sunstrip absorbere, her i 4 m's længde. Dette projekt blev udført med Dominia A/S som rådgivende ingeniør.

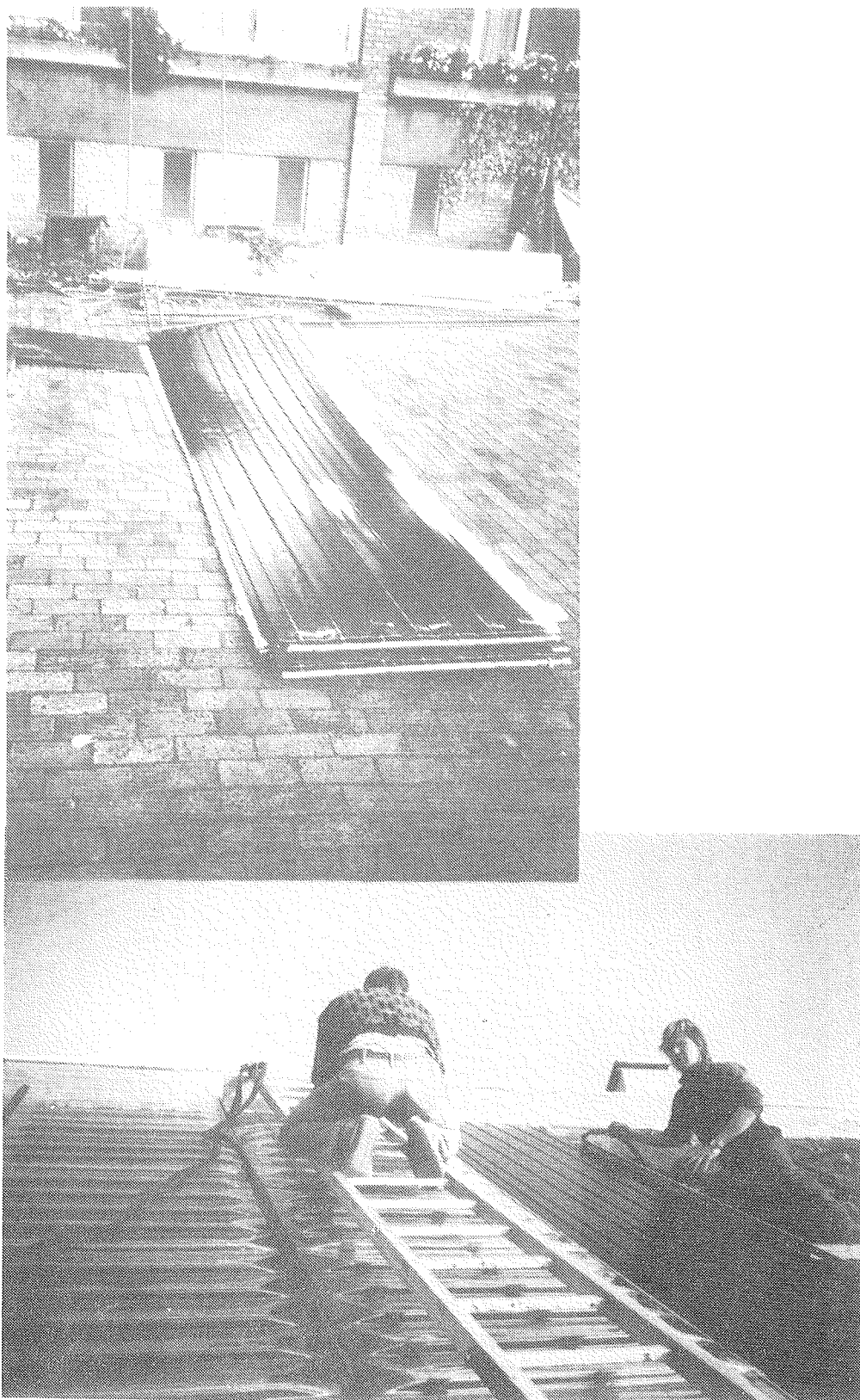
I figur 3.9 og figur 3.10 er vist fotos fra opbygningen af solfangeren på Nørrebro. Her blev som noget specielt anvendt et undertag af tagpap, og der var manifold for absorberne både foroven og forneden. En vigtig grund til at man valgte denne solfanger med acryl dæklag var, at man ønskede en reflektions-svag løsning, og solfangeren var placeret i 5. sals højde, hvor en glasløsning ville kræve større sikkerhedsforanstaltninger.

På figur 2.5 på side 15 er vist solfangerkredsløsningen på Nørrebro. Som sikkerhed mod kogning anvendes en almindelig løsning med trykexpansion og sikkerhedsventil med afløb til tømmebeholder i tagrum.

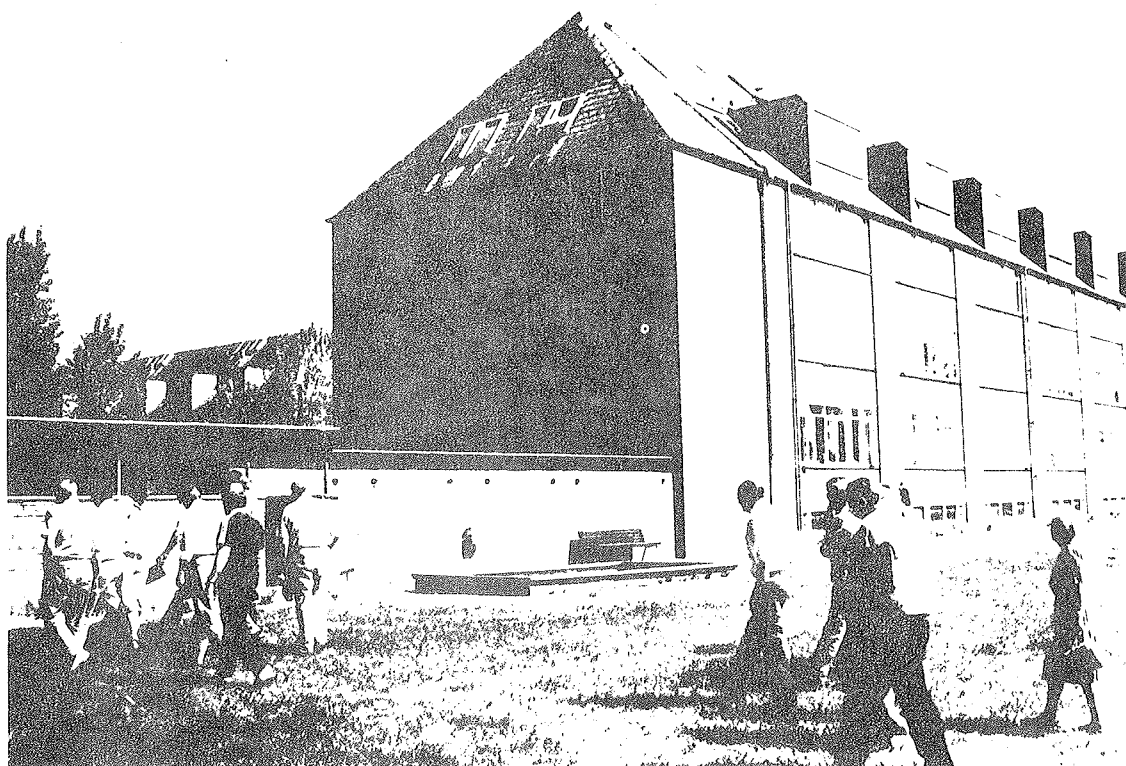
På figur 3.11 er til sammenligning vist en solfangerløsning i Rødovre hvor der anvendes modulsolfangere på en eksisterende etageejendom. Og på figur 3.12 er vist et foto af en modulopbygget solfanger på 54 m², som blev installeret af Batec Solvarme kort tid før projektet på Nørrebro. Der er her tale om et demonstrationsprojekt til et plejehjem i Karlslunde, udført som led i Energiministeriets forskningsprogram for solvarme af Teknologisk Institut og med Dominia A/S som rådgivende ingeniør.



Figur 3.9. Fotos fra solfangermontage på ejendommen Rebslagerhus på Nørrebro i København, der ejes af Foreningen Socialt Boligbyggeri. Der blev her opført en 208 m² solfanger af næsten samme type som den i Ballerup, men i dette tilfælde med et tagpapundertag, og med manifoldrør både i top og bund af solfangerabsorber. Dette solvarmesystem er udført af firmaet Batec Solvarme og har fungeret tilfredsstillende og uden problemer i snart 5 år.



Figur 3.10. Fotos fra solvarmeanlæg på Nørrebro. Her er vist de anvendte, 4 m. lange absorberelementer opbygget af Sunstrip's der er fremstillet af 10 mm kobberrør med en påvalset aluminiumsplade og selektiv belægning. Endvidere er vist montage af de to butylgummibånd som acrylpladerne fastholdes imellem.

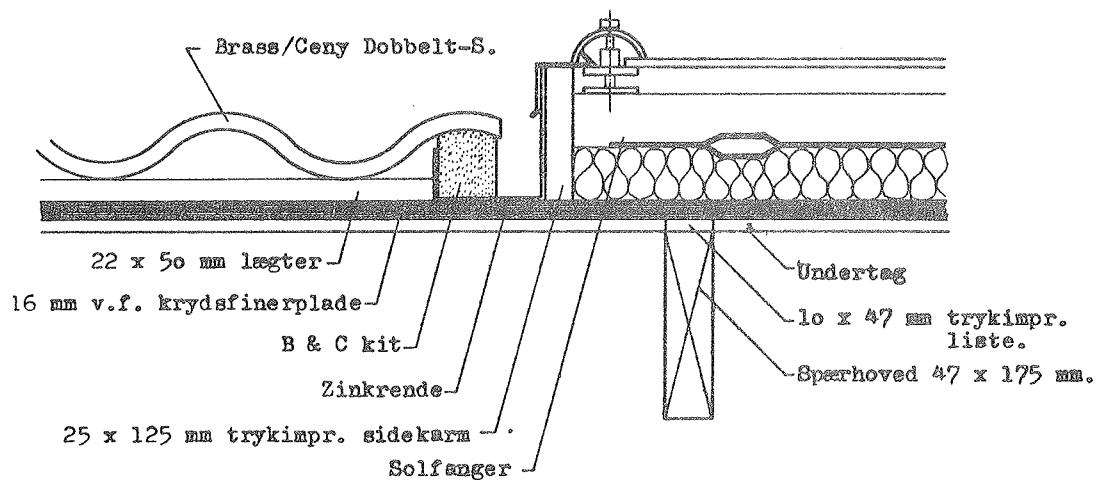


Figur 3.11. Foto fra nyt solvarmeanlæg i Rødovre nær København opført i 1988 af firmaet Batec Solvarme for Rødovre Boligselskab. Der er etableret $3 \times 100 \text{ m}^2$ solfanger på 3 boligblokke der vender mod syd. Fra hver solfanger føres varme ned til en 3 m^3 brugsvandsbeholder i kælderen. Ved højere temperaturer sendes varme ud i fjernvarmenettet til de øvrige boligblokke.

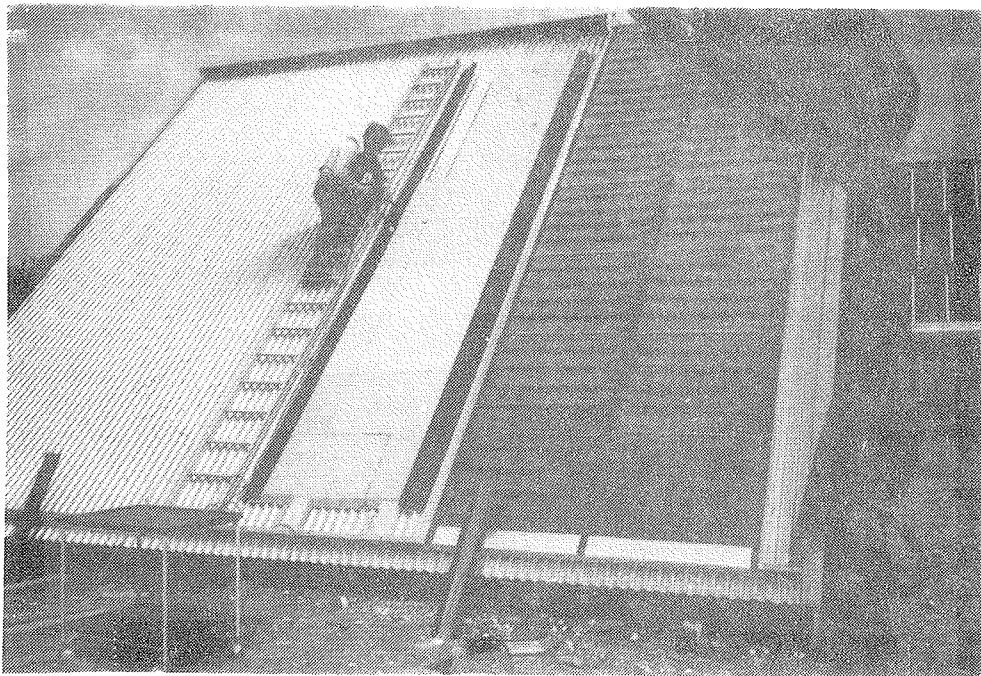


Figur 3.12. Foto af solvarmeanlæg med 54 m² solfanger udført i Karlslunde som led i Energiministeriets Solvarmeforsknings Program. Her anvendes almindelige solfangermoduler placeret uden på taget. Dette solvarmeanlæg har en meget høj ydelse på nær 600 kWh pr. m² om året, men samtidig en lav dækningsgrad.

Og på figur 3.13 er vist snit i en tagintegreret solfanger på en ejendom i Frederikshavn. Her anvendes glasafdækningssystem og absorber fra Dansk Solvarme.



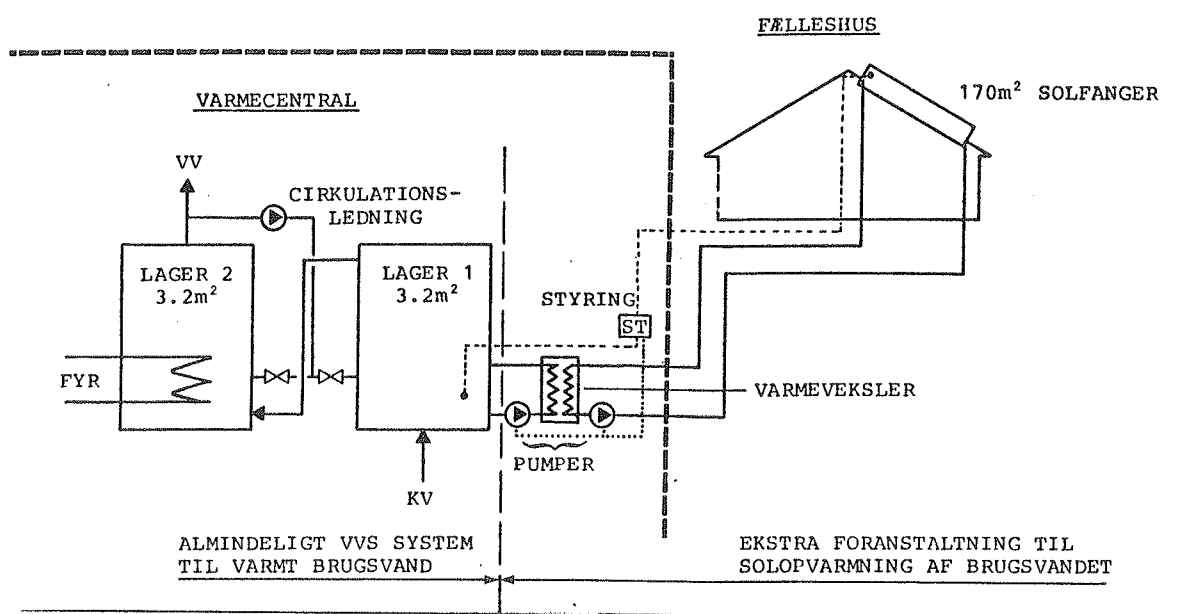
Figur 3.13. Snit i tagintegreret solfanger med glasafdæknings-system som er anvendt i 1982 på en etageejendom der ejes af Frederikshavn Boligforening.



Figur 3.14. Foto fra montage af tagintegrerede solfangere på forsøgstag ved Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Solfangeren til højre er den samme som blev anvendt for det nordiske demonstrationsprojekt i Ballerup. Afprøvningerne blev støttet af Teknologirådet i Danmark og er rapporteret i (Lawaetz og Vejsig 1985).

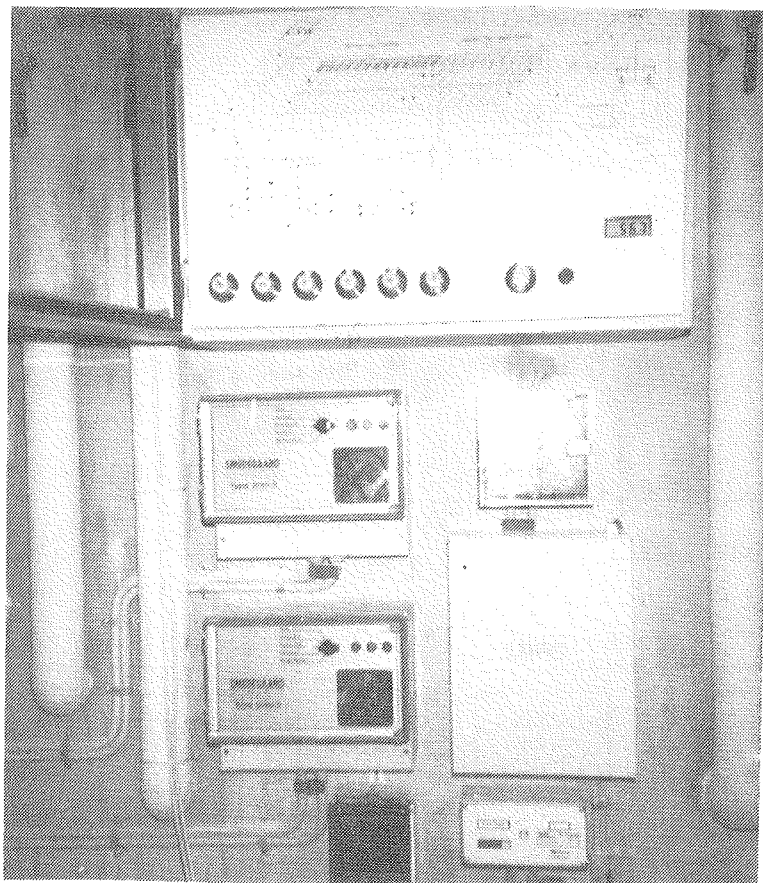
4. SYSTEMLØSNING I VARMECENTRALEN

På figur 4.1 er vist et meget enkelt principdiagram for det nordiske solvarmedemonstrationsanlæg i Ballerup som viser ideen bag demonstrationsanlægget. Varme produceret i solfangeren føres ved hjælp af pumpen ned til en pladevarmeveksler, som er forbundet med en brugsvandsbeholder på 3,2 m³. Her forvarmes brugsvandet inden det føres videre til en anden brugsvandsbeholder på 3,2 m³, hvor det eftervarmes fra en naturgaskedel. Returledningen fra brugsvandscirkulationen tilføres den solopvarmede beholder hvis temperaturen her er højere end 50°C, ellers tilføres den den naturgasopvarmede beholder.



Figur 4.1. Tidlig principskitse for Nordisk Solvarmedemonstrationsanlæg i Ballerup. Brugsvand forvarmes i 3,2 m² forrådsbeholder af solfangersystemet, det videreføres herefter til en anden 3,2 m² gasopvarmet forrådsbeholder hvor eftervarme sker. Brugsvandscirkulationens returstreng føres normalt til den gasopvarmede beholder, men når den solopvarmede beholder er fuldt opvarmet, føres cirkulationen hertil. På figur 1.4 er vist et mere detaljeret principdiagram for anlægget.

Solvarmeoverførslen styres af en Danfoss differenstermostat som er placeret i varmecentralen sammen med styringerne til pumpearrangementerne og temperaturmålesystemet for solvarmeanlægget, se figur 4.2. Den valgte differenstermostat udnytter fire følere til styringen som vist på figur 4.3, start af pumpe sker når



Figur 4.2. Solfangerdrift styres af Danfoss differenstermostat type SETA med 4 følere, her ses placering af denne i varmecentralen ved siden af pumpestyringer og temperaturmålesystem for solvarmeanlæg.

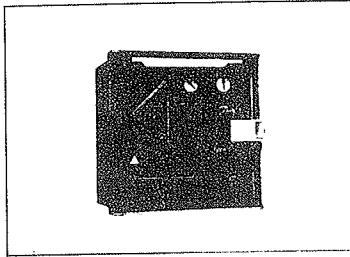
toppen af solfangeren er varmere end bunden af brugsvandsbeholderen, og stop af pumpe sker når der ikke længere kan måles noget positivt udbytte overført via varmeveksleren, dvs. når returtemperaturen nærmer sig indløbstemperaturen. Desuden findes der i differenstermostaten en række alarmer for fejldrift, disse var dog ikke helt tilpasset de lavere solfangerflow, som det var ønsket at køre med i dette solvarmeanlæg.

Figur 4.4 viser et foto af den solopvarmede 3.2 m³ brugsvandsbeholder, og på figur 4.5 kan bl.a. ses pumpearrangementer og pladevarmeveksler.



Differenstermostat SETA

Anvendelse



SETA er en differenstermostat til solvarmeanlæg. Dens primære opgave er at starte pumpen når der er mulighed for at akkumulere solvarmeenergi. Termostaten har en indbygget relæfunktion, der sammen med 4 stk. følere sikrer optimal start og stop af pumpen.

SETA er udstyret med lysdioder til overvågning af anlæggets driftstilstand og indikering af eventuelle fejl.

Indikering for normal drift (konstant lys):
Spænding tilsluttet, opstartfase, driftsfase, stilstand.

Indikering for fejl (blinkende lys):
Manglende opstart, dårlig cirkulation under drift, selvcirkulation i stilstandsperioder, spændingssvigt.

Stilstand

Er solfangertemperaturen lavere end tanktemperaturen plus den indstillede startdifferens, startes anlægget ikke.

Start

Er solfangertemperaturen højere end tanktemperaturen plus startdifferensen, startes anlægget.

Akkumulering

Så længe solfangertemperaturen er højere end tanktemperaturen plus den indstillede stopdifferens, kører anlægget.

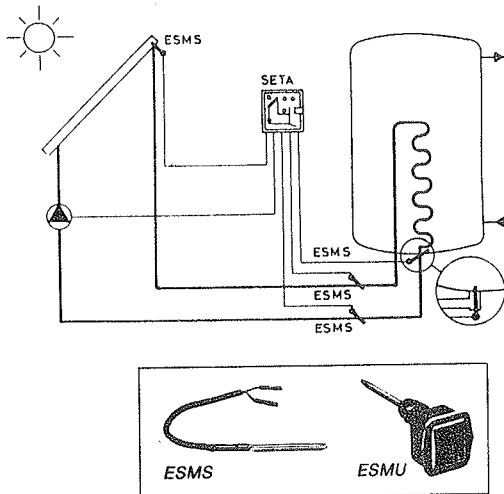
Stop

Bliver solfangertemperaturen lavere end tanktemperaturen plus stopdifferensen, stoppes anlægget.

Følere til SETA

Type	Betegnelse	Temperatur-område	Best. nr.
ESMS	Solfangerføler	-30-130°C*	084N0022
ESMU	Dyrkrøsføler	0-120°C	084N1008

*) Kortvarigt 200°C

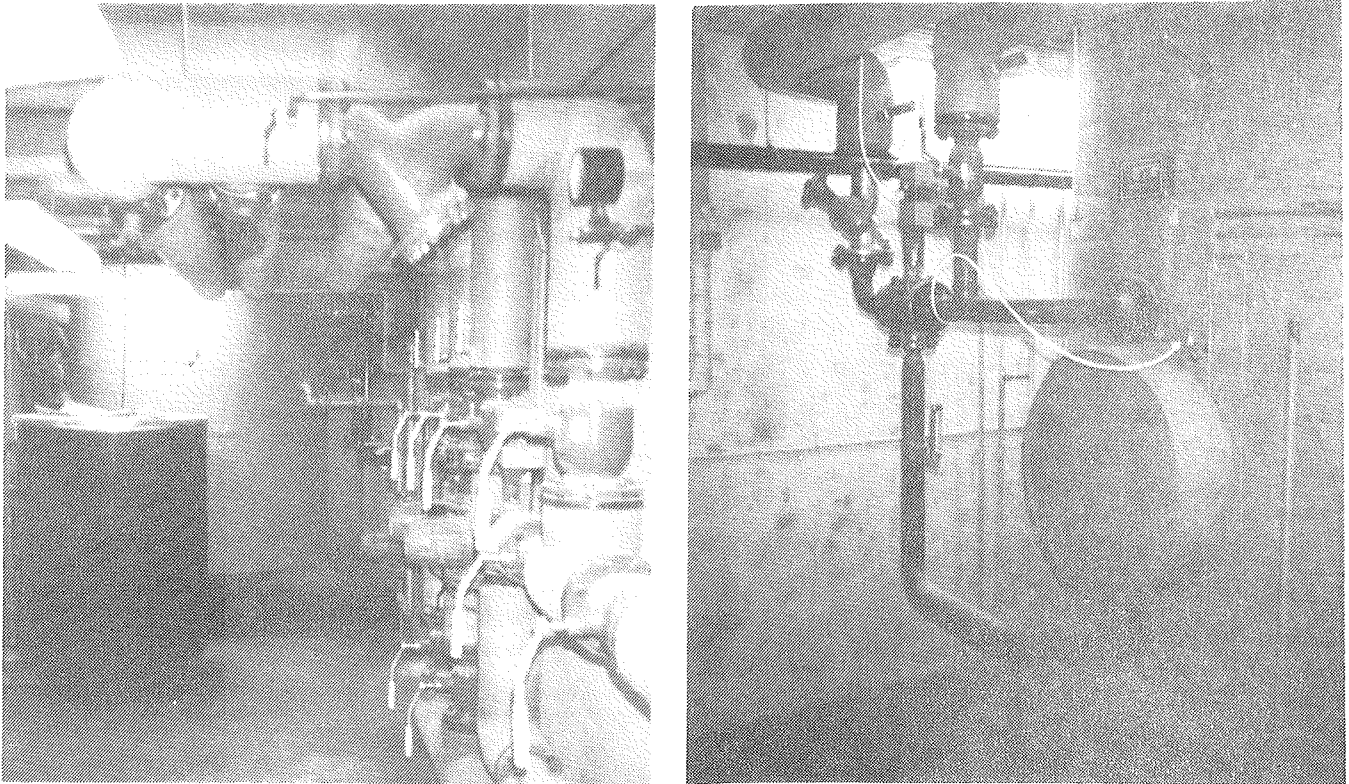


Figur 4.3. Differenstermostaten starter solfangerpumpen når toppen af solfangeren er varmere end bunden af brugsvandsbeholderen. Stop af pumpe sker når der ikke sker nogen rimelig afkøling i varmeveksleren så der ikke er noget positivt solfangerudbytte.

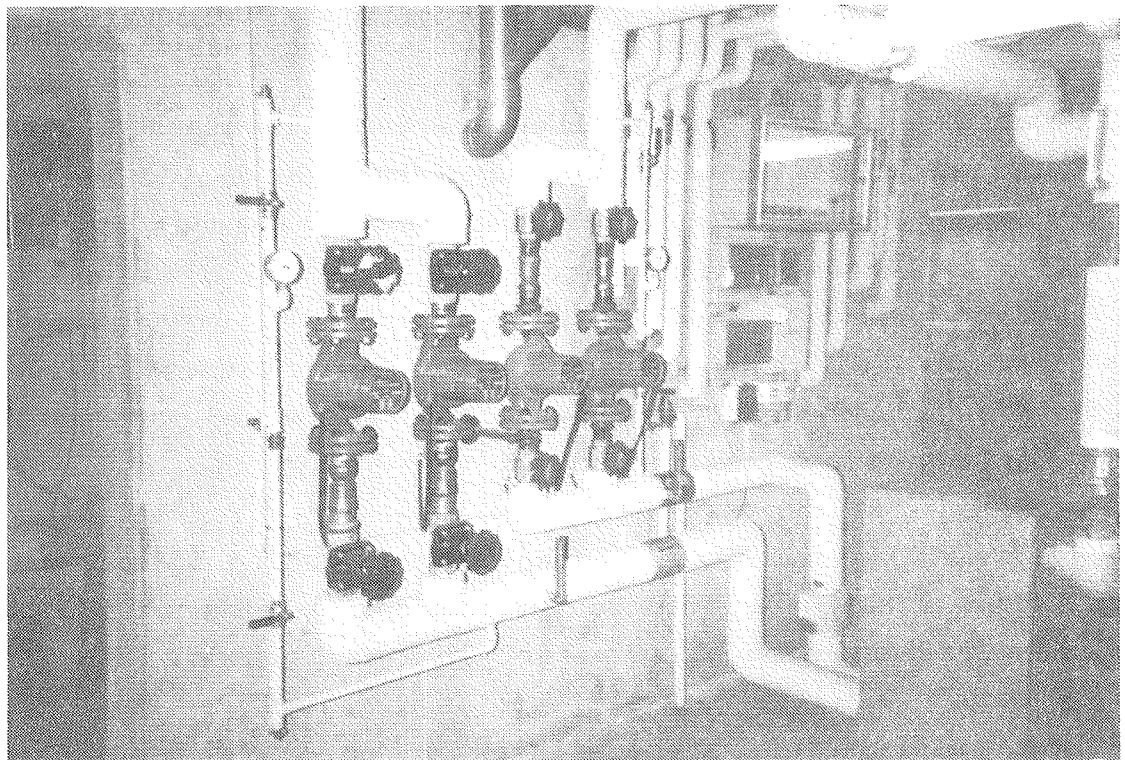
På figur 4.6 er vist et alternativt løsningsforslag for tilslutning af koldt vand til brugsvandsbeholderen. I dette tilfælde tilføres brugsvandet lige efter pumpen, således at lagerføleren til differenstermostaten også placeres her lige efter T'et. Herved kan der undgås kapacitetstab i solfangerkredsen om aftenen. Når brugsvandstapninger køler varmeveksleren af, vil solfangerpumpen starte og tage det sidste med, systemet vil også starte hurtigere op.

Det var ikke muligt at anvende denne løsning i demonstrationsanlægget i Ballerup, men den er med fordel anvendt i et andet demonstrationsanlæg på et plejehjem i Karlslunde.

Grunden til at systemløsningen er udført med mulighed for at veksle mellem om brugsvandscirkulationen tilføres den ene eller

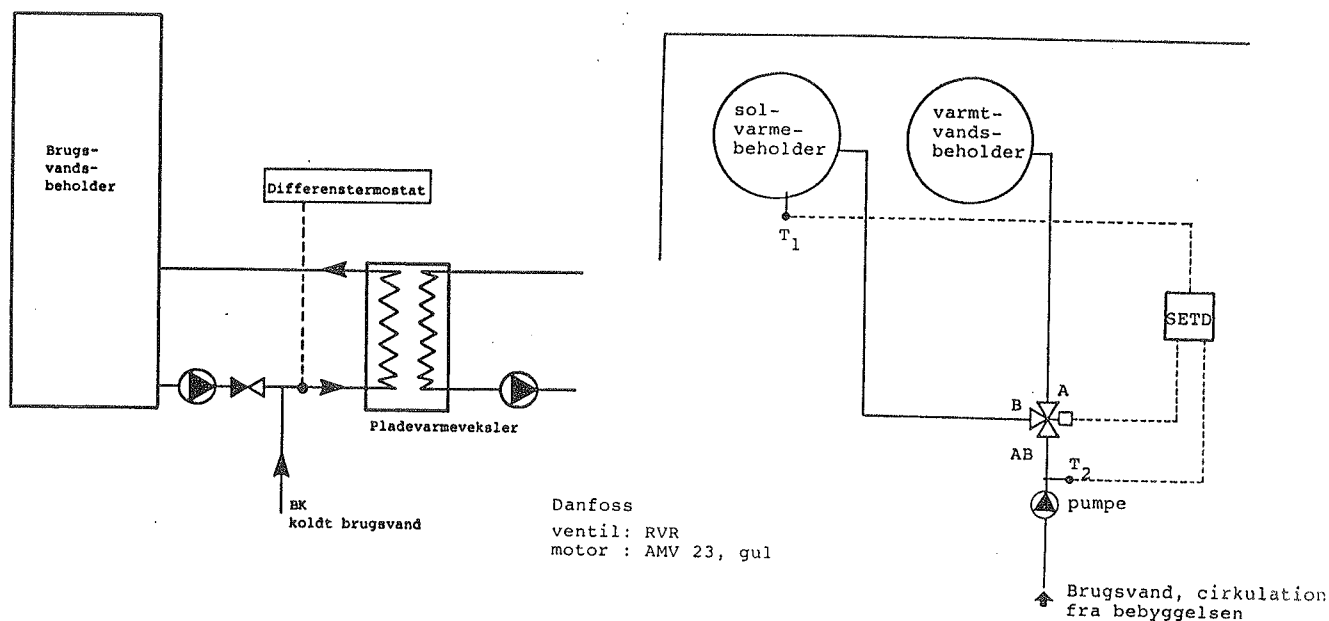


Figur 4.4. Foto af solopvarmet brugsvandsbeholder samt diverse rørarrangementer i varmecentral. Den lille beholder bruges ifm. elektrolyse som næsten altid anvendes for store brugsvandssystemer.



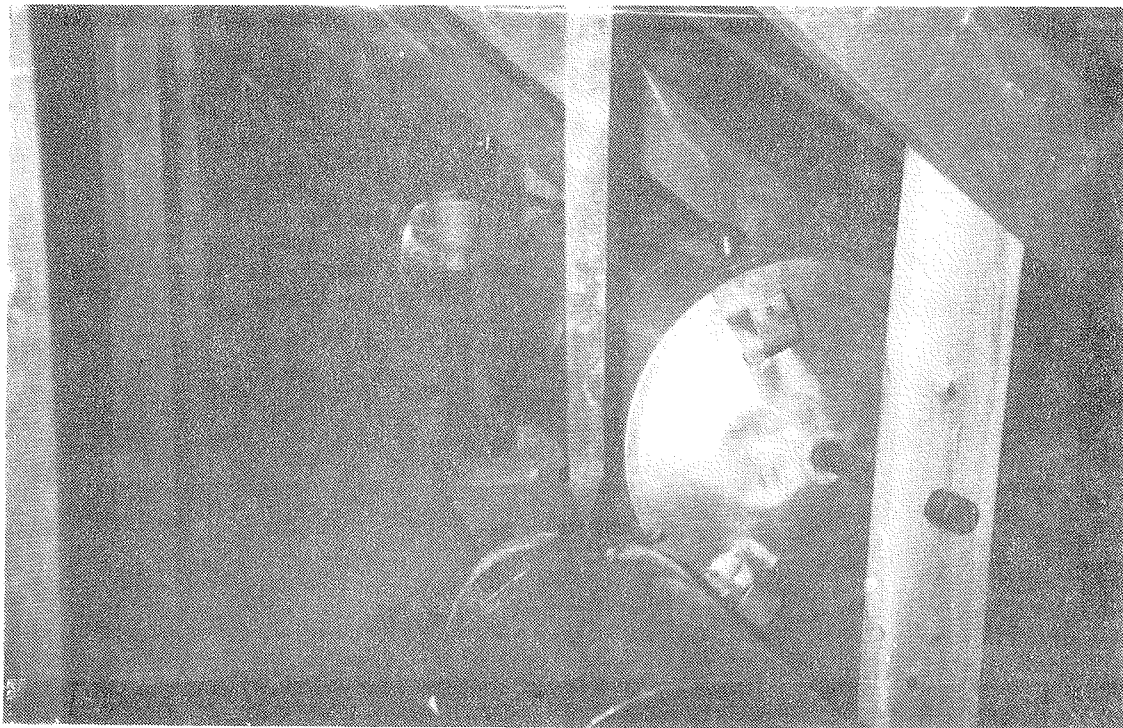
Figur 4.5. Pumpearrangement og pladevarmeveksler for solfanger-system type Smedegård og Kähler & Breum.

den anden brugsvandsbeholder er at varmetabet i cirkulationskredsen er meget stort, også målt i forhold til brugsvandsforbruget. I nye byggerier regnes med et cirkulationstab på omkring 30% af brugsvandsforbruget på årsbasis. Der regnes i Ballerup-tilfældet med et varmetab på 15 kW, svarende til 34%. Man kan dog diskutere om omkoblingsmuligheden er relevant for et solvarmeanlæg med lav dækningsgrad. I det aktuelle anlæg var der problemer med at få den termostatiske ventil til at fungere stabilt. I et solvarmesystem af den nævnte type, hvor forrådsbeholderne for varmt vand anvendes som varmelager, skal man



Figur 4.6. Til venstre er vist alternativ mulighed for tilslutning af koldt vand til den solopvarmede brugsvandsbeholder. Her tilføres brugsvandet lige efter pumpen så det løber gennem pladevarmeveksleren på vej til brugsvandsbeholderen. Differenstermostatens beholderføler placeres lige inden indløb til pladevarmeveksler. Herved kan tapninger hjælpe med at sikre hurtig start af solfangersystem, og fx varmekapacitet gemt i solfangeren om aftenen kan herved bedre udnyttes. Til højre er vist princip for omkobling af retur fra brugsvandscirkulation så den ved høje temperaturer tilføres den solopvarmede beholder.

tænke sig godt om når beholderne skal tømmes for vand. Man risikerer så at stå uden varmelager i en solrig periode og kan herved få kogning i solfangersystemet. Det kan fx være nødvendigt at tømme brugsvandsbeholderne i forbindelse med rensning af beholderne som led i elektrolysebehandlingen af vandet, men i dette tilfælde kan man tømme en beholder ad gangen. Dette er dog yderligere en grund til at påpege at det er vigtigt med et pålideligt kogningssikringsystem samt tilkaldeaftale med professionel solvarmemontør. En sådan aftale bør også indeholde et årligt vedligeholdelsesbesøg hvor solfangervæske kontrolleres og evt. efterfyldes.



Figur 4.7. Foto af ekspansionsbeholdere på loftet af fælleshuset i Egebjergvang, samt forbindelse via sikkerhedsventiler til afløb der er forbundet med overløbsbeholdere.

5. MÅLEPROGRAM FOR NORDISK DEMONSTRATIONSANLÆG I BALLERUP

Der er gennemført målinger på solvarmeanlægget i Ballerup igennem en periode på 1 år, fra d. 1. august 1985 til d. 1. august 1986. Der har ikke været midler til et meget detaljeret måleprogram med dataloggerudstyr o.l., men inden for det begrænsede budget der har været til rådighed, er der alligevel søgt gennemført målinger, som giver et billede af de overordnede energistrømme for systemet. Desuden er der vha. detaljerede temperaturmålinger gennem repræsentative korte perioder også indhøstet mere kvalitative informationer om systemets funktion.

Der er indbygget i alt 3 Joulemålere i forbindelse med solvarmeanlægget, alle joulemålere er blevet kalibreret på Lab. for Var-meisolering inden opsætning. 2 joulemålere er indbygget i solfangerkredsen til måling af solvarmeproduktionen for hver solfangerdel (Clorius-måler type EV-50). Og en joulemåler er indbygget i forbindelse med den solopvarmede brugsvandsbeholder og måler her størrelsen af den tappede energi og varmtvandforbruget (Clorius måler type EV-1000). Begge joulemålere er kort præsenteret i figur 5.1. Det er muligt at bruge energimåleren, EV-50, op til en flowmængde på 3 m³/h. Desuden er der indbygget ialt 40 temperaturfølere (modstandsfølere med 1°C nøjagtighed), forskellige steder i solvarmesystemet. På figur 5.2 er angivet temperaturfølere placeret i selve solfangeren.

Joulemålerne er blevet aflæst 1 gang om ugen i måleåret. Desuden er der gennemført timevise aflæsninger af både Joulemålere og temperaturer for 5-6 repræsentative dage i måleperioden. Aflæsningen af temperaturer sker på en måletavle med lysdioder som vist på figur 5.3. Denne løsning har været hensigtsmæssig både som funktionskontrol og i demonstrationssammenhænge.

På figur 5.4 er vist diagram over solvarmesystemet med de vigtigste energistrømme indtegnet.

EV 1000

Karakteristika

- Energi- og flowmåler baseret på Faraday-princippet
- Ingen bevægelige dele
- Pt 100 temperaturfølere
- Lille tryktab
- Opfylder PTB og SP's normkrav

Anvendelse

Combimeter type EV 1000 er en elektronisk energi- og flowmåler til måling af varme- og varmtvandsforbruget i større ejendomme, institutioner og industrikomplekser, hvor varmemediet er vand. Målerens flowmåleprincip er baseret på Faraday's lov om induktion, hvorved flowmålingen foretages helt uden bevægelige dele i måleren.

Måleren består af 5 enheder:

- 1) Flowenhed
- 2) Varmetæller RV 82 (jfr. datablad 6.8.01)
- 3) Strømforsyningsenhed
- 4) Fremløbsføler
- 5) Returløbsføler

Virkemåde

Flowenheden måler den gennemstrømmende vandmængde og videregiver måleresultatet til varmetælleren i form af pulser.

Varmetælleren beregner forbruget i m³, der vises på varmetællerenes tælleværk. 2 temperaturfølere måler henholdsvis fremløbs- og returløbstemperaturen af den gennemstrømmende vandmængde og videregiver resultatet til varmetælleren.

Varmetælleren beregner energiforbruget, der vises på varmetællerenes tælleværk i MWh.

Strømforsyningsenheden forsyner flowenheden og varmetælleren med spænding.

I strømforsyningsenheden findes en tæller til registrering af antallet af driftstimer.

Karakteristika

- Energi- og flowmåler baseret på Faraday-princippet
- Ingen bevægelige dele
- Pt 100 temperaturfølere
- Lille tryktab.

type E 50

Anvendelse

Clorius Combimeter er en fuldelektronisk energimåler til måling af varme- og varmtvandsforbruget i lejligheder samt én- og tofamiliehuse, hvor varmemediet er vand.

Flowmåleprincippet er baseret på Faraday's lov om induktion, hvorved flowmålingen kan foretages helt uden bevægelige dele.

Måleren består af 3 enheder:

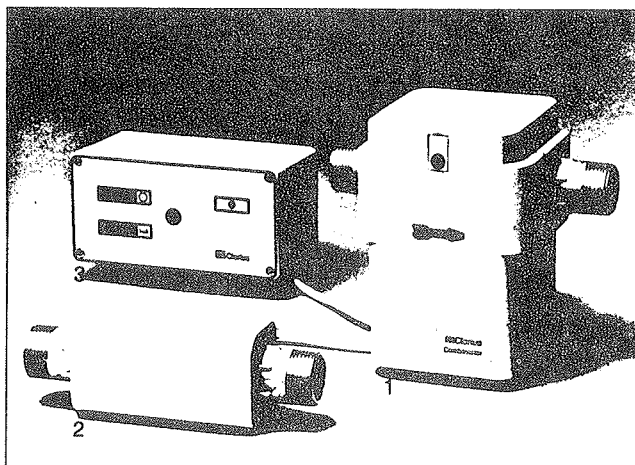
- 1) Hovedenhed med returløbsføler,
- 2) Fremløbsføler,
- 3) Aflæsningsenhed.

Virkemåde

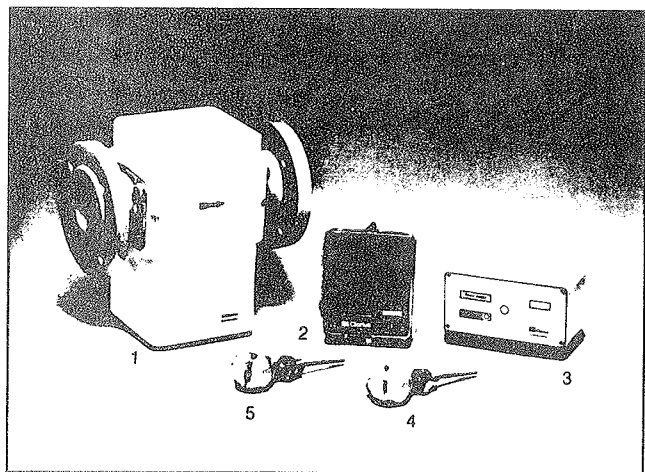
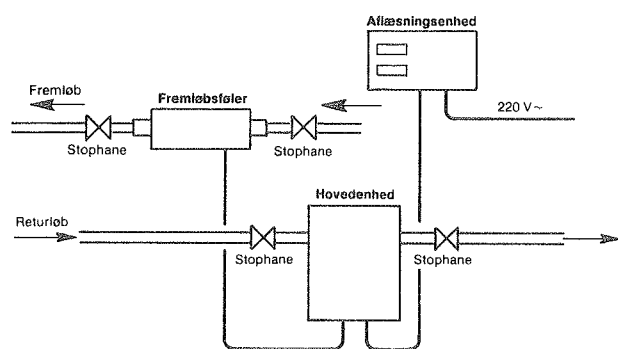
Flowsignalet multipliceres direkte med temperatursignalerne i en speciel brokobling, og resultatet integreres og registreres i kWh på aflæsningsenheden.

En lysindikator viser til stadighed gennem kortvarige glimt, at måleren fungerer, medens en driftstimetæller afslører, om måleren eventuelt i perioder har været ude af drift.

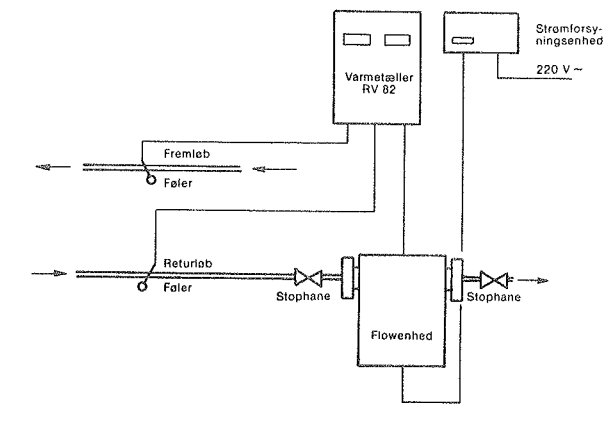
Energiforsyningen sker over en i aflæsningsenheden indbygget nettransformator (220 V~/15 V~).



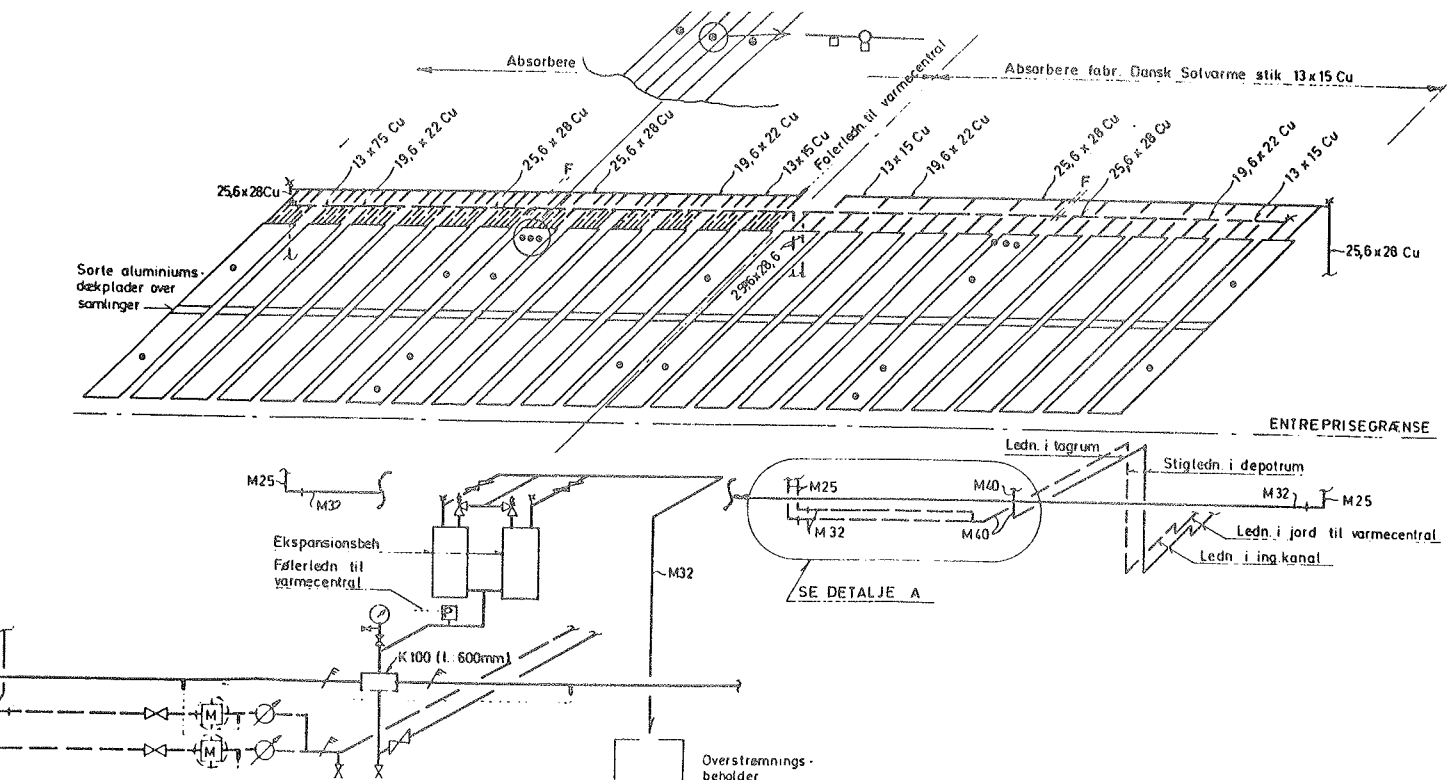
Eksempel på installation af E 50



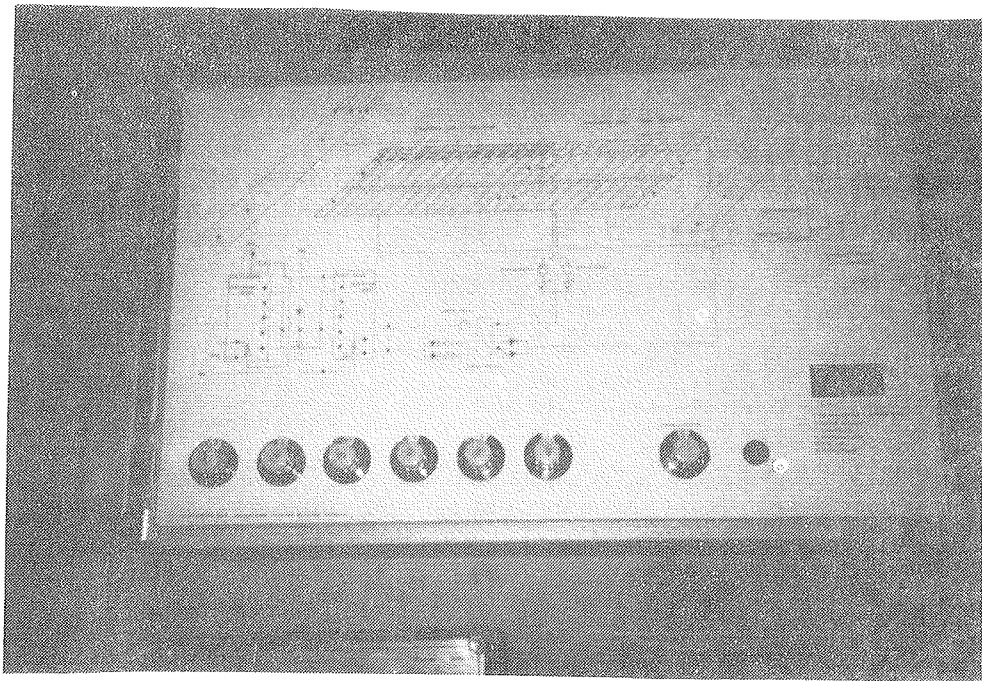
Eksempel på installation af EV 1000.



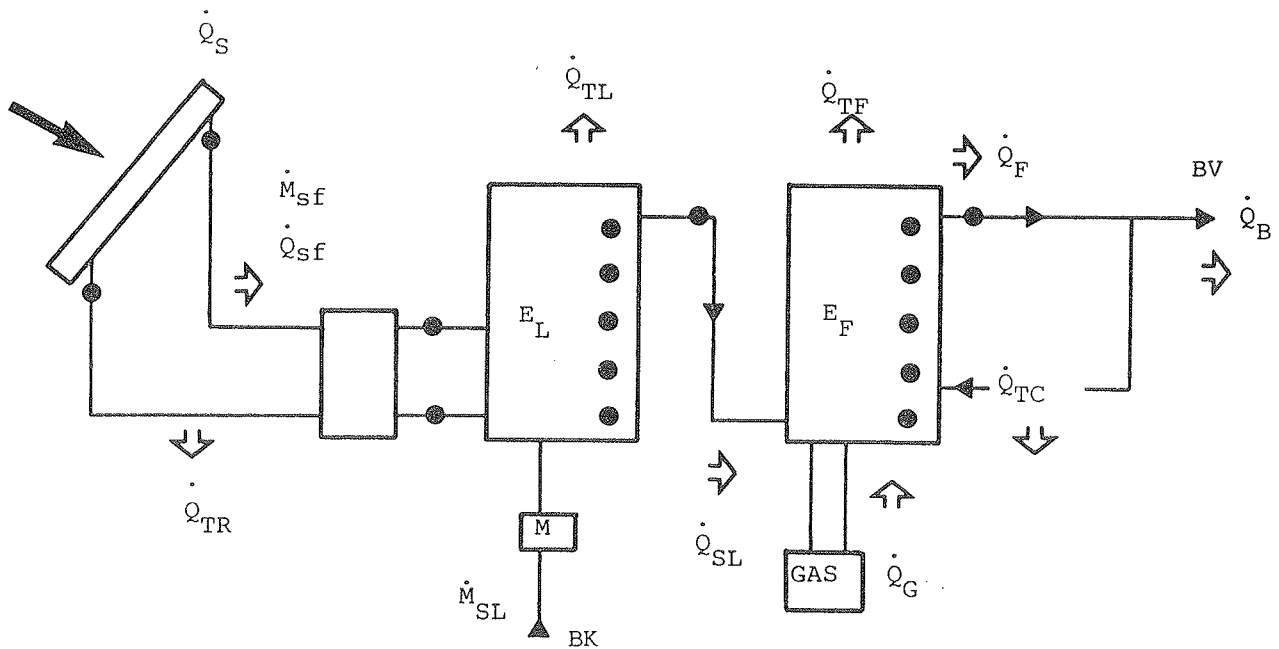
Figur 5.1. Kort beskrivelse af de to anvendte joulemålere (Clorius Combimeter type EV-50 og EV-1000). Der er tale om en såkaldt magnetisk energi- og flowmåler uden bevægelige dele. Flowmåling sker ved Faradays lov om induktion, og der anvendes Pt 100 følere. Tekniske data er angivet.



Figur 5.2. Temperaturfølerplacering i solfanger.



Figur 5.3. Måletavle i varmecentral. 40 temperaturmålepunkter for solvarmesystemet kan aflæses ved brug af de viste potentiometre. En lysdiode på systemdiagram angiver hvilken temperatur der aktuelt måles. Ved hjælp af 6 potentiometre kan man på displayet få vist alle de målte temperaturer.



$\dot{Q}_S$ Energi der rammer solfanger, dagværdier.

$\dot{Q}_{sf}$ Energi der føres væk fra solfanger, måles med Joulemåler.

$\dot{M}_{sf}$ Flow i to solfangerkredse måles.

E_L Energiindhold i lagerbeholder.

E_F Energiindhold i gasfyret beholder.

$\dot{Q}_{SL}$ Energi til gasfyret beholder

$$= \dot{Q}_{SF} - \dot{Q}_{TL} - \dot{Q}_{TR}$$

$\dot{M}_{SL}$ = Varmt vandsforbrug måles.

$\dot{Q}_F$ Energi fra gasfyret beholder. $\dot{Q}_G$ Energi fra gasfyr, måles om sommeren.

$$= \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_G - \dot{Q}_{TF}$$

$\dot{Q}_B$ Energiforbrug til varmt vand, måles.

$\dot{Q}_{TC}$ Cirkulations tab. $\dot{Q}_{TR}, \dot{Q}_{TL}, \dot{Q}_{TF}$, rør- og lagertab.

$$= \dot{Q}_F - \dot{Q}_B$$

Figur 5.4. Diagram over solvarmesystem i Egebjergvang med de vigtigste energistrømme indtegnet. Målte størrelser er understreget.

6. MÅLERESULTATER OG EVALUERING AF ANLÆG

6.1 Resultater fra måling i et år, fra 1/8-1985 til 1/8-1986

Der er gennemført løbende aflæsninger af to joulemålere for hver af de to solfangerkredse i fælleshuset og af joulemåler i varmecentralen, der måler solvarmeydelsen og varmtvandsforbruget. I det første halvår var aflæsningerne mere spredte, mens der i det sidste halvår blev aflæst fast to gange om ugen. Desuden blev der på nogle dage foretaget timevise aflæsninger af temperaturforhold for 40 udvalgte punkter i systemet, som kan aflæses i et måleskab i varmecentralen.

Solvarmeanlægget har kørt uden problemer i det første år, efter det blev sat i drift i marts 1985. Det ses af målingerne, at driften er blevet forringet fra maj 1986. Dette skyldes sandsynligvis utilstrækkelig pasning, som nærmere omtalt i afsnit 6.2. Som anlægget er udført, skal der udluftes nogle enkelte steder, og det vurderes som sandsynligt, at luft opsamlet over en længere periode har ført til nedsættelse af flowet i solfangerkredsen. Det kan bl.a. ud fra erfaringer rapporteret i Mikelsen (1988) fx være at der over lang tid er opsamlet luft ved den forkeret placerede rørfortykning i forbindelse med ekspansionssystemet. Denne luft som antagelig først er opsamlet i solfangerens øverste manifoldrør kan også være revet med videre ned til varmeveksleren og pumperne. Luftproblemet har så ført til en nedsættelse af væskestrømningen gennem solfangeren. Herved bliver temperaturstigningen på solrige dage større over solfangeren, så man fx i den danske del kommer over 100°C. Eventuelt kan der være tale om et yderligere trykfald på grund af en mindre utæthed i systemet. Den samlede effekt kan så være at kogningsgrænsen måske ikke er 110°C som normalt, men noget mindre, så kogning startes.

Normalt vil solvarmeanlægget køre med et overtryk på solfangerkredsen, så man skal noget over 100°C før der sker kogning. Og i dette solvarmesystem vil temperaturerne i solvarmelagerbehol-

deren næsten aldrig overstige 80°C pga. det store daglige varmtvandsforbrug. Ved problemfri drift vil der således ikke opnås temperaturer ud af solfangeren på over 100°C . Problemet med kogning har i maj 1985 været størst for den danske solfangerdel, hvor man nåede temperaturer på nær 120°C . Efter væskepåfyldning i juni 1986 har anlægget kørt i nogle måneder. Men i efteråret 1986 var der problemer igen. Solfangermontøren blev herefter tilkaldt og fik anlægget til at køre stabilt igen.

Figur 6.1 og 6.2 viser flow og ydelse for de to solfangerdele. Den danske solfanger med absorber fra Dansk Solvarme måles med Joulemåler 3 (jm-3), og den svenske solfanger med absorber fra Teknoterm måles med Joulemåler 2 (jm-2). Det ses at der normalt er en merydelse fra den danske solfangerdel. Forskellen er på årsbasis omkring 20% og er noget større end forventet. I maj 1986 er ydelsen fra de to solfangerdele næsten ens, men dette skyldes de dårlige driftsforhold med luft i solfangeren, som især ramte den danske solfanger. Af fig. 6.2 ses at flowet i den danske solfanger er væsentligt forringet i maj 1986, mens det er tilsvarende øget i den svenske solfangerdel. Årsydelsen af de to solfangerdele og det samlede solvarmeanlæg fremgår af tabel 6.1. Og tabel 6.2 viser det målte solvarmeudbytte for hele solvarmeanlægget på månedsbasis og på årsbasis.

Måling af ydelse fra de to solfangere

Joulemåler for
svensk solfanger:

$$\begin{array}{r}
 49.740 \text{ kWh} \\
 - 5.933 \text{ kWh} \\
 \hline
 43.807 \times 0,8692 \\
 = 38.077 \text{ kWh} \\
 \hline
 \end{array}$$

m³-måler; svensk solfanger:

$$\begin{array}{r}
 4629 \text{ m}^3 \\
 - 1158 \text{ m}^3 \\
 \hline
 3571 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Joulemåler for
dansk solfanger:

$$\begin{array}{r}
 72.063 \text{ kWh} \\
 - 19.650 \\
 \hline
 52.413 \times 0,8692 \\
 = 45.599 \text{ kWh} \\
 \hline
 \end{array}$$

m³-måler; dansk solfanger:

$$\begin{array}{r}
 3896 \\
 987 \\
 \hline
 2909 \text{ m}^3 \\
 \hline
 \end{array}$$

Soludbytte ialt:

$$\begin{array}{r}
 45.599 \text{ kWh} \\
 + 38.077 \text{ kWh} \\
 \hline
 83.676 \text{ kWh} \\
 \hline
 \end{array}$$

Tabel 6.1. Målt solfangerudbytte ligesom i figur 6.1 og 6.2 korrigeret for, at der er glycol i kredsen i stedet for vand med en faktor 0.8692 svarende til 35% polypropylenglycol. Beregningsgrundlaget for korrektionsfaktoren er angivet i tabel 6.3.

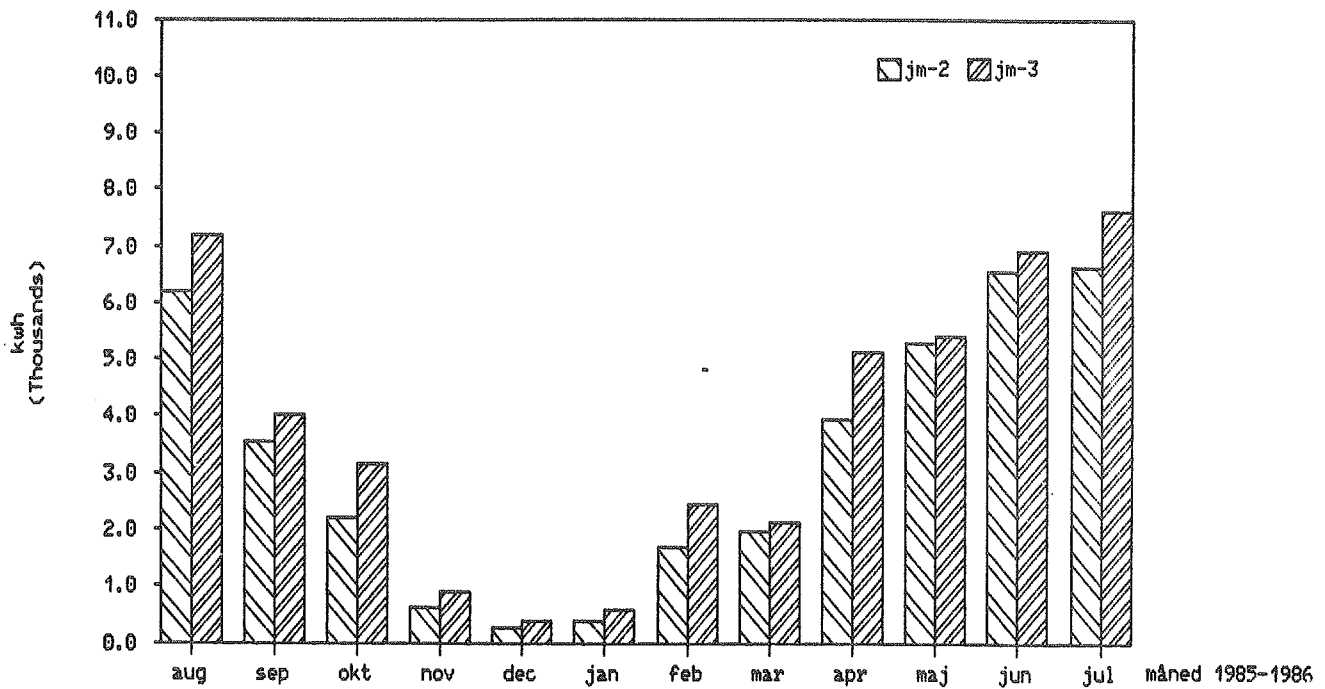
		solindstråling (kWh)		målt sol- udbytte kWh	system- effektivitet %
		pr. m2	156 m2		
1985	AUG	144	22.464	11.103	49
	SEP	97	15.132	6.672	44
	OKT	70	10.970	4.876	45
	NOV	42	6.552	1.291	20
	DEC	22	3.432	1.005	29
1986	JAN	34	5.304	1.005	19
	FEB	76	11.856	3.387	33
	MAR	67	10.452	3.596	34
	APR	113	17.628	7.214	41
	MAJ	150	23.400	8.384	36
	JUN	166	25.896	11.406	44
	JUL	153	23.868	11.575	48
1 ÅR		1134	176.904	71.514	40.4

Tabel 6.2. Solindstråling og soludbytte som månedsværdier og årsværdi. Desuden er angivet systemeffektiviteten. Af tabel 6.1. fremgår, at der er et solfangerudbytte på 83.676 kWh. Det giver et samlet tab i rørsystem og for brugsvandsbeholder på 12.162 kWh eller 33.3 kWh pr. dag. Dette ligger ca. 50% over det forventede, når der sammenlignes med energien, som er målt tappet ud af solvarmebeholderen i varmecentralen, 71.514 kWh på årsbasis. En del af forklaringen herpå kan være ekstra varmetab fra uisolerede ventiler, vandmålere og lignende enkeltkomponenter.

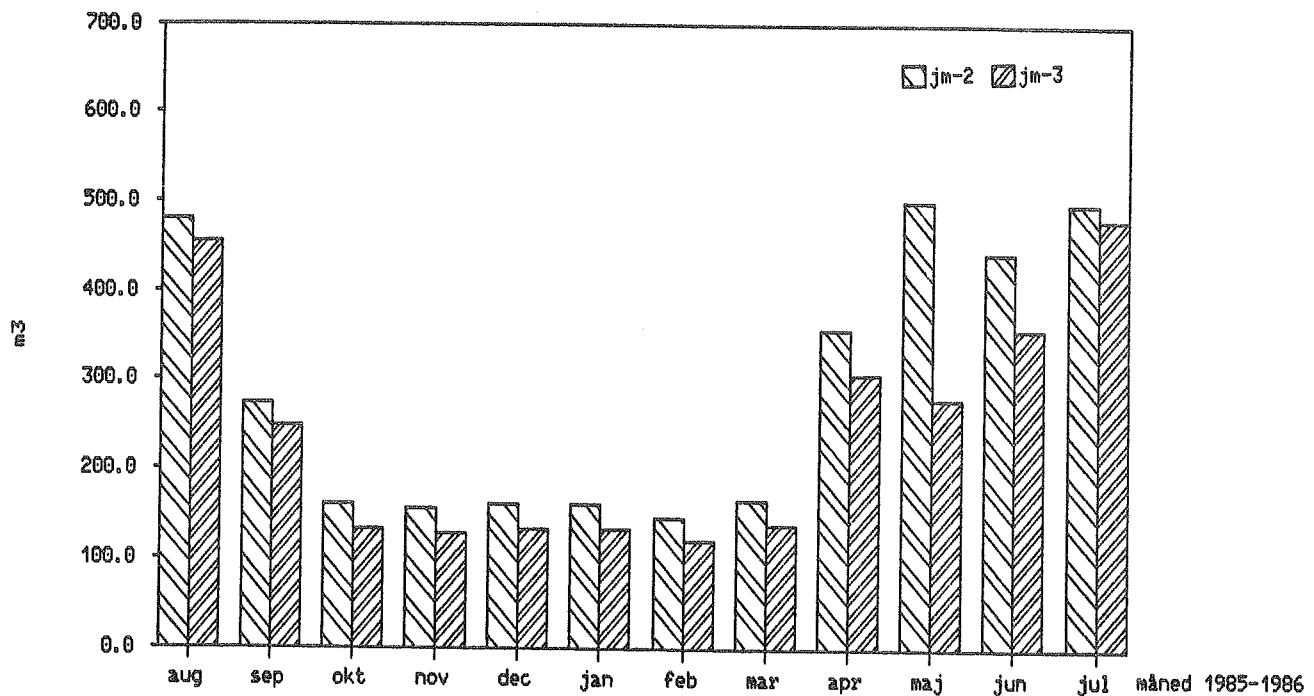
Det årligt leverede solvarmebidrag fra den solopvarmede brugsvandsbeholder til brugsvandsforbruget er som nævnt målt med en Joulemåler type Clorius EV 1000 og er if. tabel 6.2 71.514 kWh. Med en solindstråling i måleåret på 176.904 kWh udnyttedes hermed 40,4% af solenergien. Med en målt solfangerydelse på 83.678 kWh er varmetabet i rørsystem og for brugsvandsbeholder 12.168 kWh, ca. 50% større end forventet. Solfangerkredsens rørsystem på bl.a. 2 x 50 m rør i jord og en del uisolerede målere, ventiler og lign. i varmecentralen samt den solopvarmede brugsvandsbeholder uden bundisolering er grunden til størstedelen af dette varmetab, som udgør omkring 15% af den leverede solvarme fra solfangeren. Årsydelsen er 468 kWh pr. m² solfanger og må vurderes som tilfredsstillende i betragtning af den lidt forringede drift omkring maj 1986 og at solindstrålingen er 4% mindre end i referenceåret.

På figur 6.3 vises i et histogram de i tabel 6.2 angivne månedsydelser for solvarmeanlægget, og i figur 6.4 er vist varmtvandsforbruget på månedsbasis.

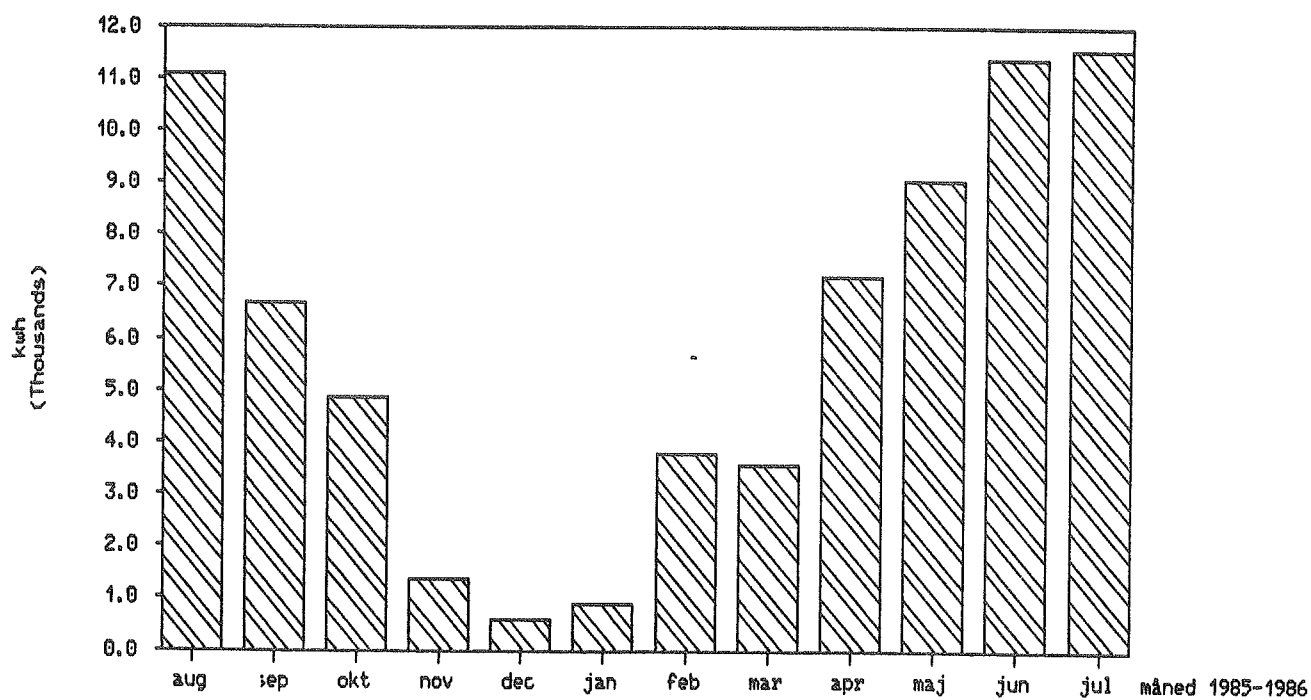
Figur 6.5 viser systemeffektiviteten for solvarmeanlægget i Ballerup på månedsbasis. Systemeffektiviteten er lig med forholdet mellem solindstråling og soludbytte og ligger fra april til oktober på mellem 40 og 50%, med maj som undtagelse, hvor den er 35%. Om vinteren fra november til marts svinger systemeffektiviteten mellem 18 og 32%. Årsværdien af systemeffektiviteten er 40% og må betegnes som absolut tilfredsstillende. På figur 6.6 er optegnet en forventet systemeffektivitet uden det nævnte driftsproblem i foråret 1986. Med udgangspunkt i denne kurve ville årsydelsen uden driftsproblemet i maj stige 6437 kWh til i alt 77.951 kWh svarende til 500 kWh pr. m² solfanger. Hvis der også kompenseres for det lidt lavere solindfald i forhold til referenceåret, bliver årsydelsen 526 kWh pr. m² solfanger.



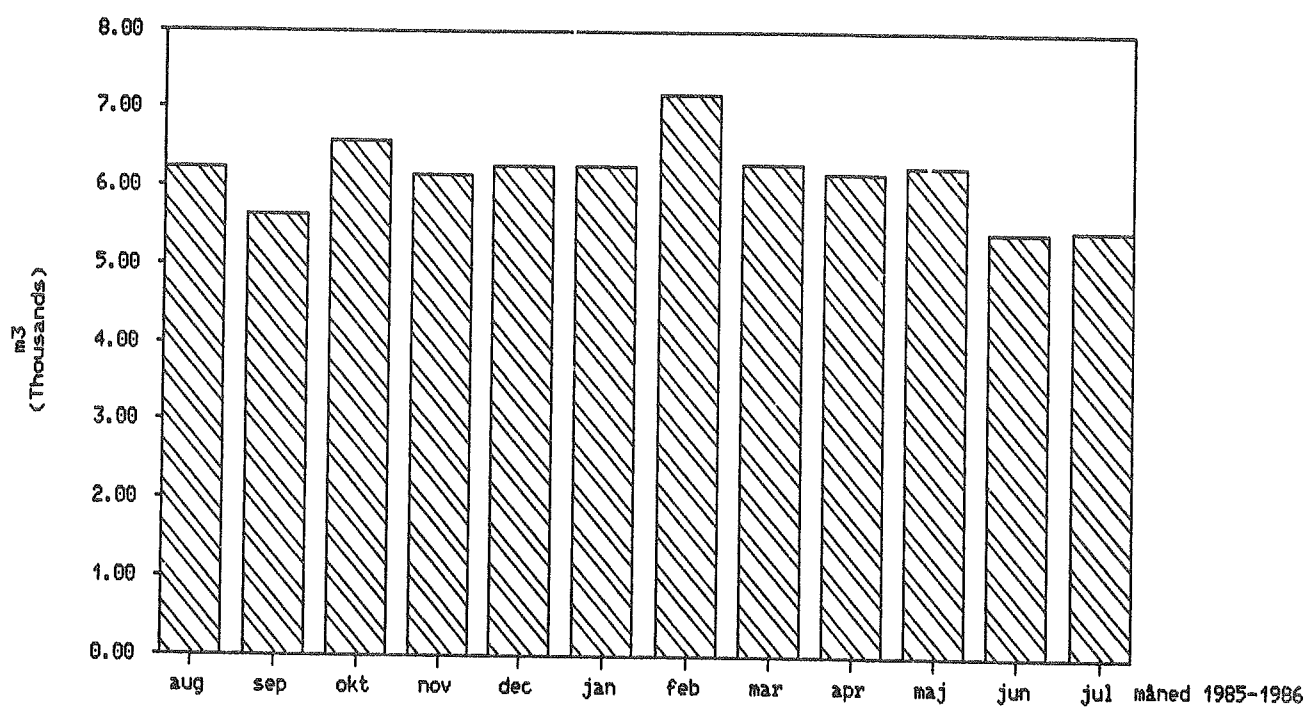
Figur 6.1. Målt ydelse af dansk og svensk solfangerdel illustreret ved jm-3 og jm-2.



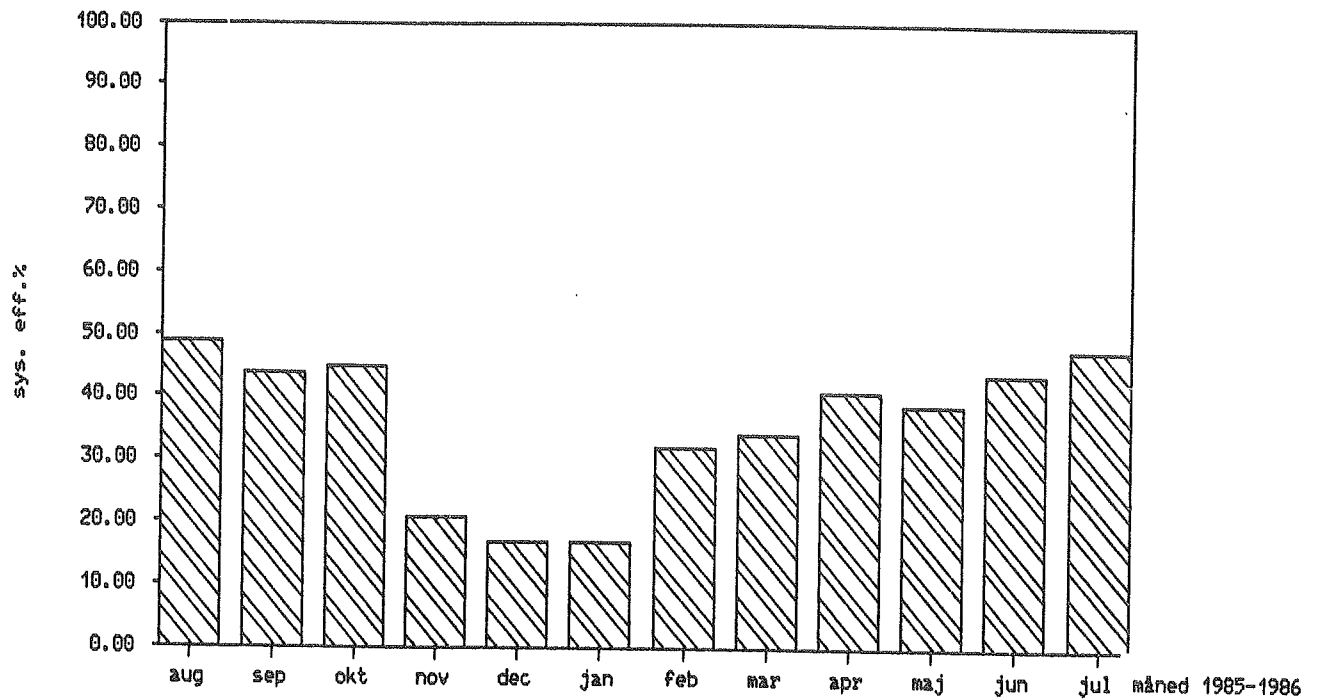
Figur 6.2. Målt, samlet flow i dansk og svensk solfangerdel illustreret ved jm-3 og jm-2. Driftsproblemet i maj 1986 ses som en tydelig forskydning af flowene.



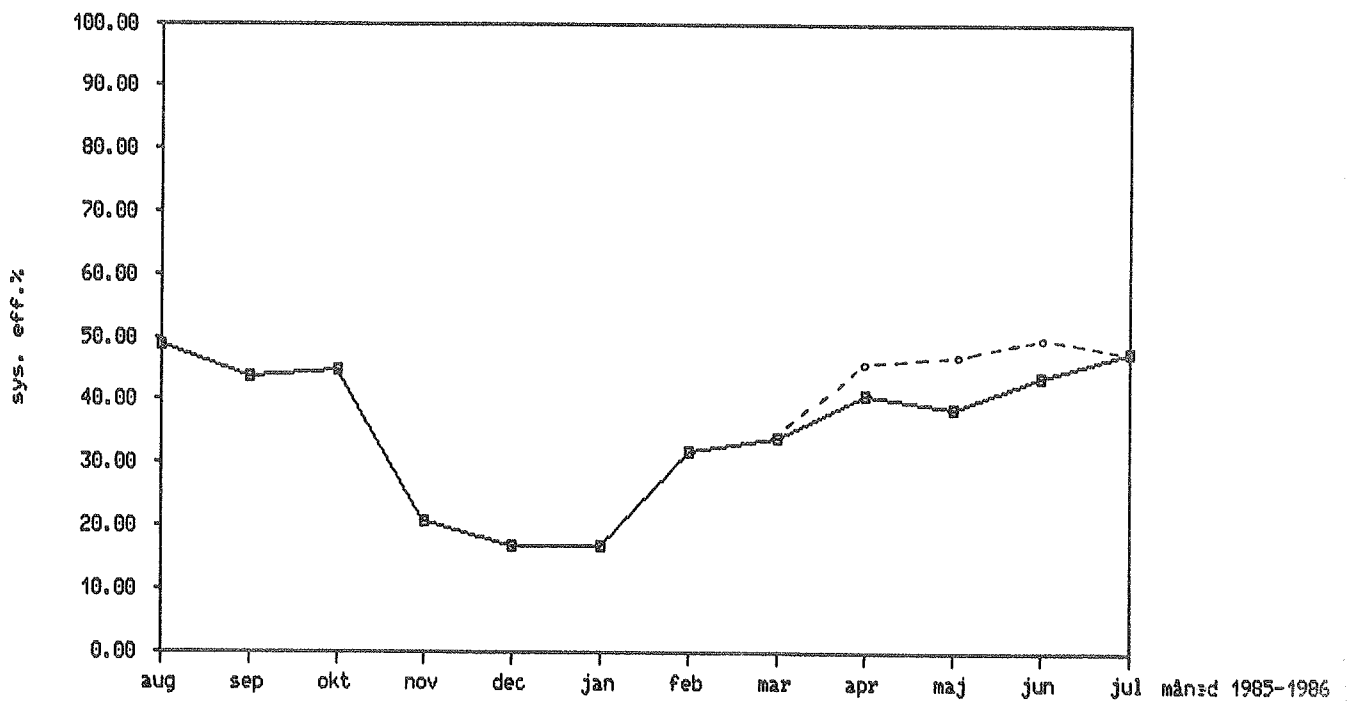
Figur 6.3. Målt solfangerydelse i Egebjergvang, Ballerup.



Figur 6.4. Målt vandforbrug i Egebjergvang, Ballerup.

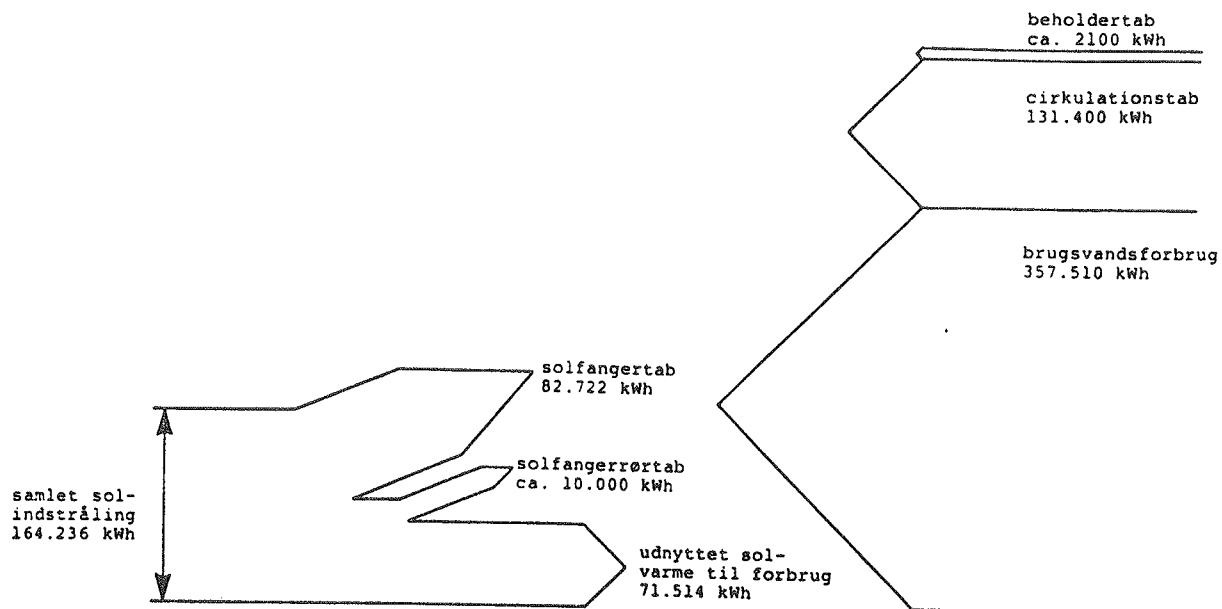


Figur 6.5. Systemeffektivitet i Egebjergvang, Ballerup. Som årsmiddel udnyttedes lidt over 40% af solindstrålingen.



Figur 6.6. Systemeffektivitet i Egebjergvang, Ballerup, med angivelse af et realistisk niveau, hvis der ikke havde været luft i anlægget i foråret 1986.

I figur 6.7 er vist et sankey-diagram for solvarmeanlægget i Egebjergvang, hvor der er angivet sammenhængen mellem energibehov til varmt brugsvand, målt solvarmedækning og solindstråling samt diverse tab.



Figur 6.7. Diagram der viser sammenhæng mellem energibehov til varmt brugsvand, målt solvarmedækning og solindstråling samt diverse tab.

På figur 6.8 er der for d. 27/6-86, en god soldag, øverst vist lagertemperaturerne i 5 lag for den solopvarmede brugsvandsbeholder. Disse er nogle af de højest registrerede i måleperioden. Nederst er vist temperaturer for kedelfremløb, brugsvand m.v. den samme dag. Princippet med at overføre cirkulationens retur til den solopvarmede beholder virkede ikke d. 27/6-86, dette ses af figur 6.9 øverst. På figur 6.9 nederst er vist driftsforhold omkring varmeveksleren d. 8/5-1985, en dag med god sol frem til kl. 13.00. Det ses at den ønskede varmevekslereffektivitet på 80% ikke holder. På figur 6.10 er vist driftsforhold for d. 2/7-1985, det ses at de to solfangere kører med ens absorbertemperatur, og at varmevekslerdriften er ligesom i figur 6.9. I figur 6.11 er vist lignende driftsforhold for d. 3/5-1986, her ses hvorledes absorbertemperaturen for Dansk Solvarme solfangeren stiger voldsomt midt på dagen pga. kogning.

I august 1985 er der over 17 dage lavet en sammenligning mellem naturgasforbrug, solvarmeproduktion og varmebehov. Der er i denne periode leveret 17,12 MWh til opvarmning af brugsvand. Med et vurderet cirkulationstab på 4,28 MWh svarende til 25% er totalforbruget 21,40 MWh. Solvarmeanlægget har i perioden leveret 7,88 MWh og naturgassen 24,45 MWh, således at der samlet aftages 32,44 MWh. Naturgassen dækker et behov, der svarer til $21,40 - 7,99 = 13,41$ MWh. Så naturgassen udnyttes kun 55% i denne periode, og resten er tab.

På figur 6.12 er vist kurver med timevise aflæsninger af flow og energistrøm for den danske og svenske solfangerdel d. 19/3, 3/5 og 27/6 1986. Disse viser at der er en tydelig reduktion i solfangerflowet især for den danske solfangerdel d. 3/5.

6.2 Evaluering af anlæggets drift

Solvarmeanlægget har fungeret uden problemer det første år til halvandet. Siden har der været driftsproblemer i mindre perioder med en nedsættelse af flowet i solfangerkredsen på grund af luft i anlægget, især i den danske del. I den forbindelse er der også opstået tilfælde af kogning i anlægget. Årsagen til at der er opstået problemer skyldes formentlig to ting. For det første blev der i forbindelse med anlæggets etablering begået en fejl mht. placering af ekspansionen i systemet, en fejl der var svær at få udbedret uden problemer. Dette betød at man har måttet leve med at udluftningspotten har siddet for højt i forhold til ekspansionen, og at man dermed var afhængig af en løbende manuel udluftning på dette sted. Herved er vi henne ved det andet problem der har været uheldigt. Det tog alt for lang tid at få udarbejdet drift- og vedligeholdelsesvejledning for anlægget, bl.a. fordi der var tale om et demonstrationsanlæg, og da der ingen problemer var det første år, blev arbejdet med denne skudt ud og hovedsagelig klaret med mundtlige instrukser. Desuden mente man at varmemesteren på længere sigt skulle kunne klare opsynet med anlægget alene, og bla. kontrollere frostsikringsevnen i solfangervæsken ved hjælp af en medleveret flydevægt. Anbefalingen i dag må være at der afholdes mindst en

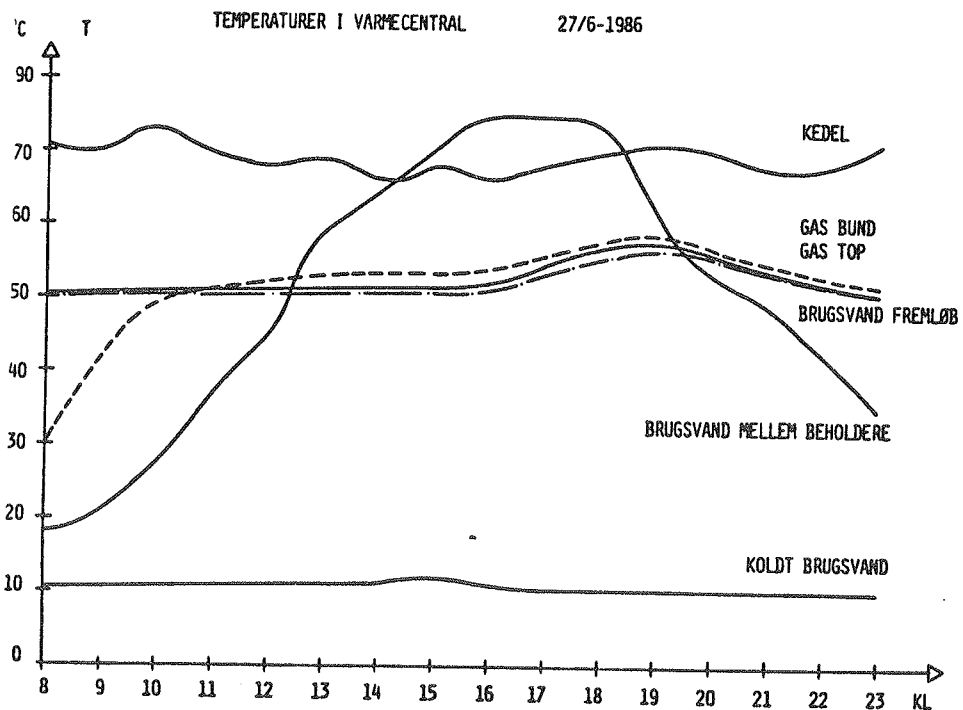
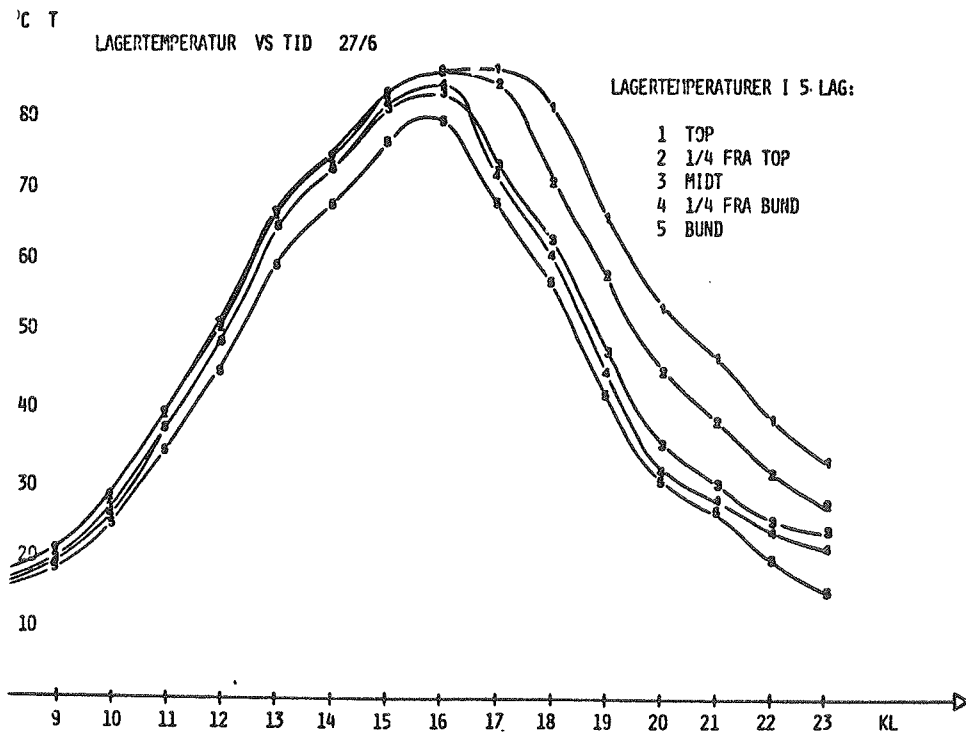
årlig gennemgang af solvarmeanlægget ved en kvalificeret solvarmemontør. Her bør også solfangervæsken kontrolleres og evt. efterfyldes.

Der er i løbet af foråret 1988 sket en flytning af den nævnte luftpotte så det oprindelige princip skulle kunne virke. Midlerne hertil er taget fra den almindelige vedligeholdelse. Desuden er der taget initiativ til en vedligeholdelsesaftale vedrørende anlægget med et grundigt eftersyn 1 gang om året og en tilkaldeordning. Drift og vedligeholdelsesvejledningen er også klar.

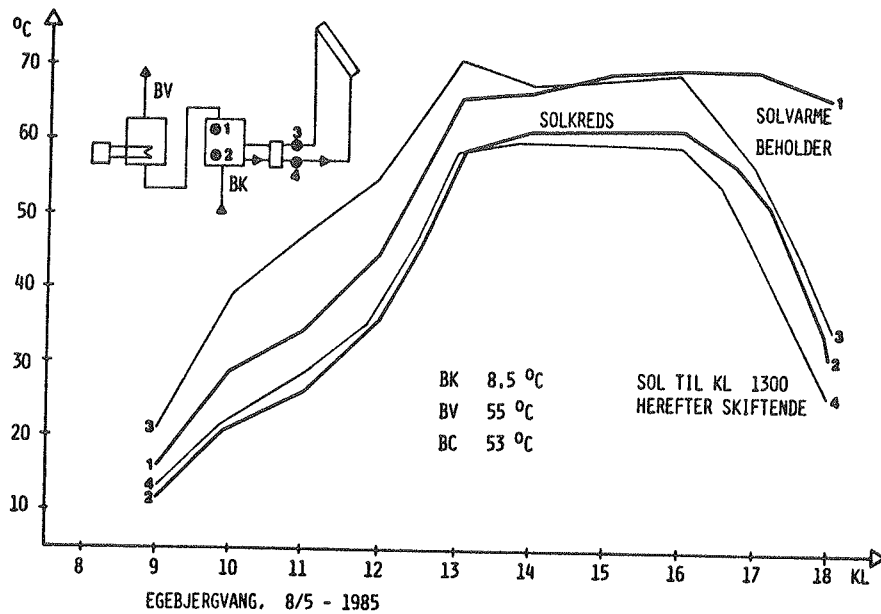
Udgiften til det årlige eftersyn er på omkring 10% af den årlige besparelse. Dette er en god investering, hvis det kan sikre at der ikke igen opstår problemer med luft og kogning og dermed ingen eller reduceret solvarmeproduktion i perioder.

Med en årlig solvarmeydelse på 80 MWh spares der ca. 40.000 DKK på gasforbruget. Blot nogle få måneders dårlig drift kan dermed give et stort tab.

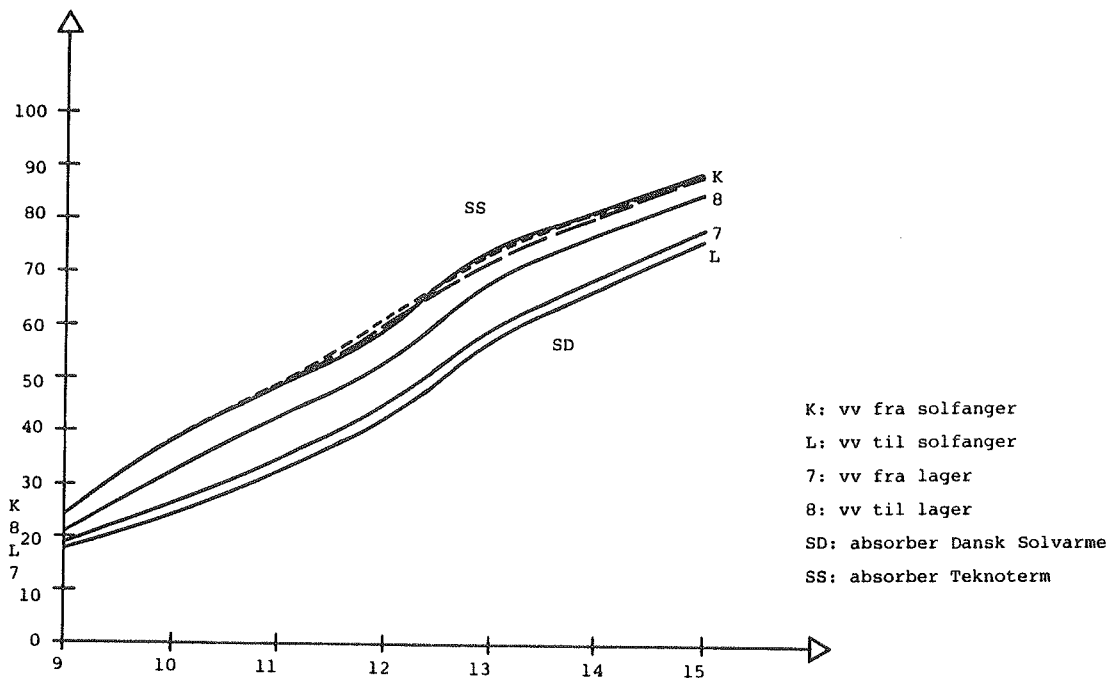
I figur 6.13 er vist to udformninger af solvarmeanlæg baseret på den viden der eksisterer i dag. Den ene løsning er den der blev anvendt i Egebjergvang med halvåben ekspansion, og den anden er den der er mest almindelig i Danmark med trykeksansion i systemet.



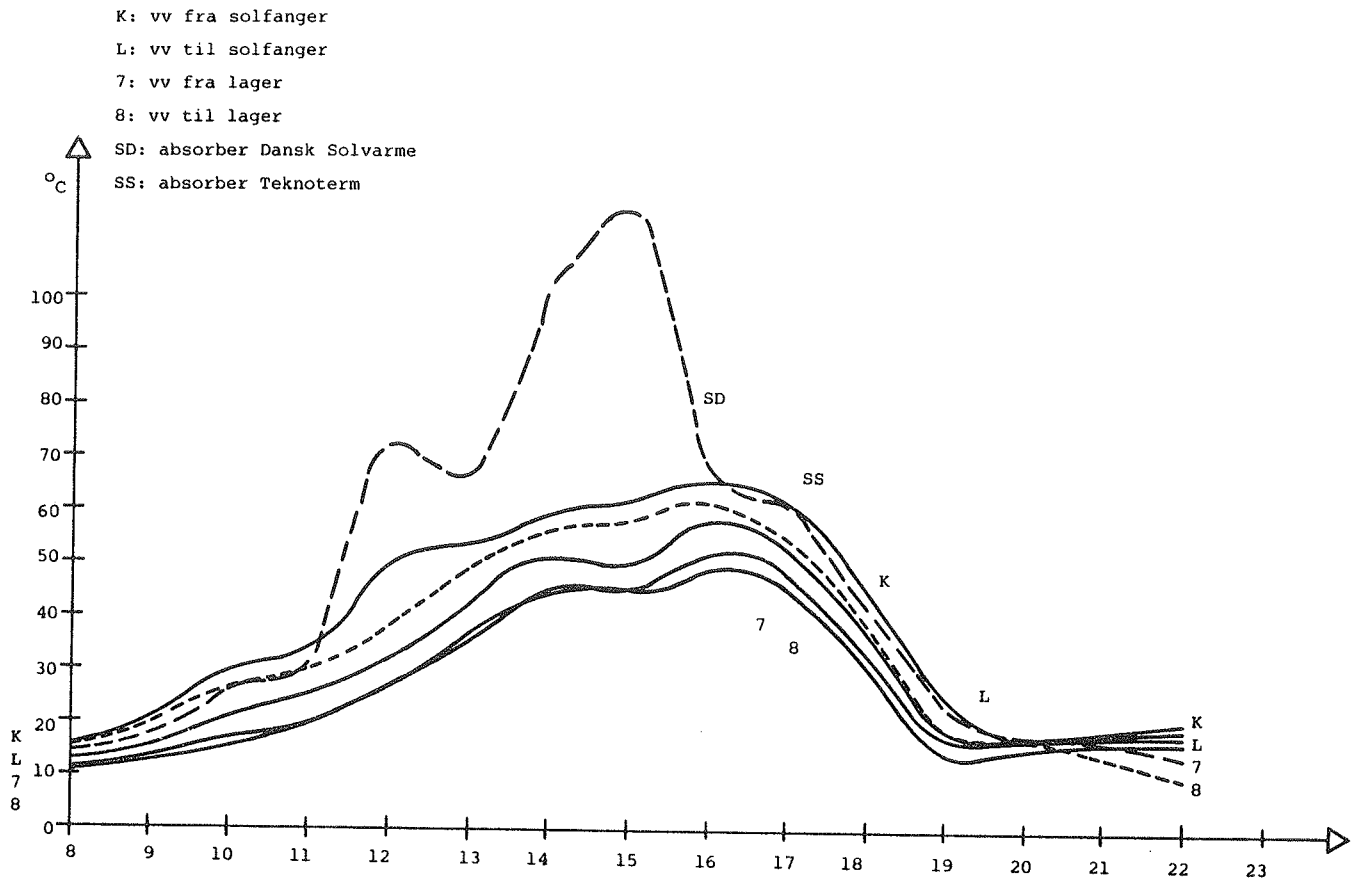
Figur 6.8. Øverst er for d. 27/6-86, en god soldag, vist temperaturer i 5 lag af den solopvarmede 3.2 m³ brugsvandsbeholder, hvor forvarmning sker. Desuden er nederst vist temperaturer for kedelfremløb, brugsvand m.v. forskellige steder i varmecentralen.



Figur 6.9. Her illustreres driftsforhold omkring pladevarmeveksleren d. 8/5-1985. Den ønskede temperaturvirkningsgrad på 80% holder ikke helt.



Figur 6.10. Driftsforhold for solfangerabsorbere og varmeveksler d. 2/7-1985.



Figur 6.11. Driftsforhold omkring solfangerabsorbere og varmeveksler d. 3/5-1986, en periode med nedsat flow og problem med kogning. Især i den danske solfanger er der problem med kogning.

Justering af målte varmeoverførsler i solfangerkredsen

Beregning af varmfylde og vægtfylde, C_{p_g} og ρ_g , for blanding af vand og polypropylenglycol, x , er koncentration i vægt%, her 35%. Temperaturen, t , sættes til 35°C . Formler er fra Østergaard Jensen (1984) og stemmer også rimeligt overens med diagrammer i Ashrae Handbook of Fundamentals.

$$\begin{aligned} C_{p_g} &= (4255,5 - 958,5 \cdot 10^{-2} \cdot x - 941,7 \cdot 10^{-4} \cdot x^2) \\ &\quad + (-168,9 + 843,5 \cdot 10^{-2} \cdot x - 35,0 \cdot 10^{-4} \cdot x^2) \cdot 10^{-2} \cdot t \\ &\quad + (146,5 - 79,3 \cdot 10^{-2} \cdot x - 85,3 \cdot 10^{-4} \cdot x^2) \cdot 10^{-4} \cdot t^2 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \\ &= \underline{3860,6 \text{ J/kg }^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_g &= (996,5 + 152,3 \cdot 10^{-2} \cdot x - 96,6 \cdot 10^{-4} \cdot x^2) \\ &\quad + (-1,7 - 146,1 \cdot 10^{-2} \cdot x + 76,7 \cdot 10^{-4} \cdot x^2) \cdot 10^{-2} \cdot t \\ &\quad + (-38,4 + 62,1 \cdot 10^{-2} \cdot x - 30,8 \cdot 10^{-4} \cdot x^2) \cdot 10^{-4} \cdot t^2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= \underline{935,5 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

Beregnet varmeoverførsel i en time kan ved vand findes ud fra

$$C_{p_{\text{vand}}} = 4178,6 \text{ J/kg}^\circ\text{C}, \quad \text{vand} = 994 \text{ kg/m}^3:$$

$$\begin{aligned} (1) \quad Q_{\text{vand}} &= V \cdot \rho_{\text{vand}} \cdot C_{p_{\text{vand}}} \cdot \Delta T = 994 \cdot 4,1786 \cdot V \cdot \Delta T \\ &= \underline{4,154 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (V \cdot \Delta T)} \end{aligned}$$

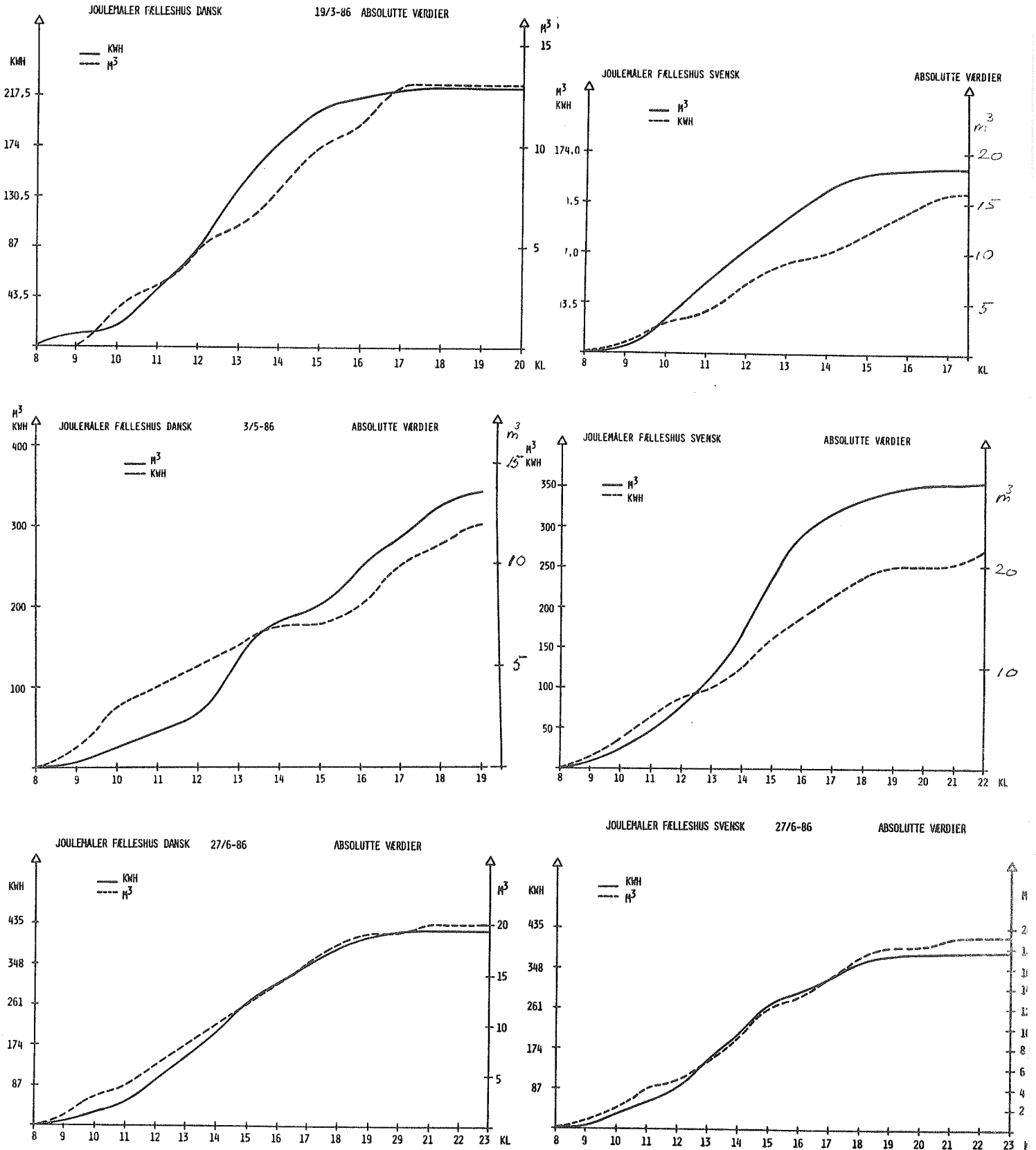
For glycol/vand blanding fås:

$$\begin{aligned} (2) \quad Q_{\text{glycol}} &= V \cdot \rho_g \cdot C_{p_g} \cdot T = 935,5 \cdot 3,8606 \cdot V \cdot \Delta T \\ &= \underline{3,612 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (V \cdot \Delta T)} \end{aligned}$$

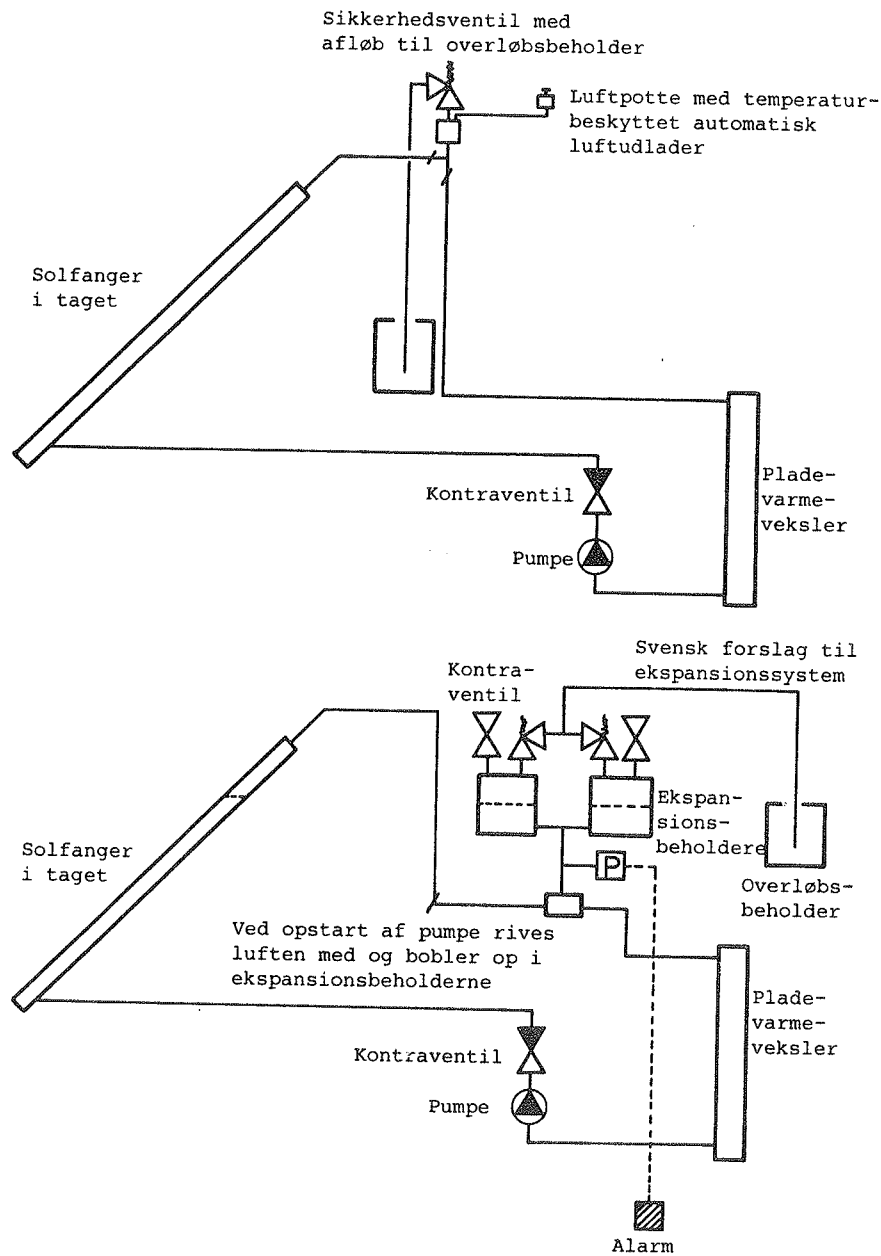
Ved en målt volumenstrøm, V , og temperaturforskelle, ΔT , vil joulemåleren beregne varmeoverførslen efter formel (1) hvor (2) er den rigtige. Målingen skal derfor multipliceres med

$$\frac{Q_{\text{glycol}}}{Q_{\text{vand}}} = \frac{3,612}{4,154} = \underline{0,8692}$$

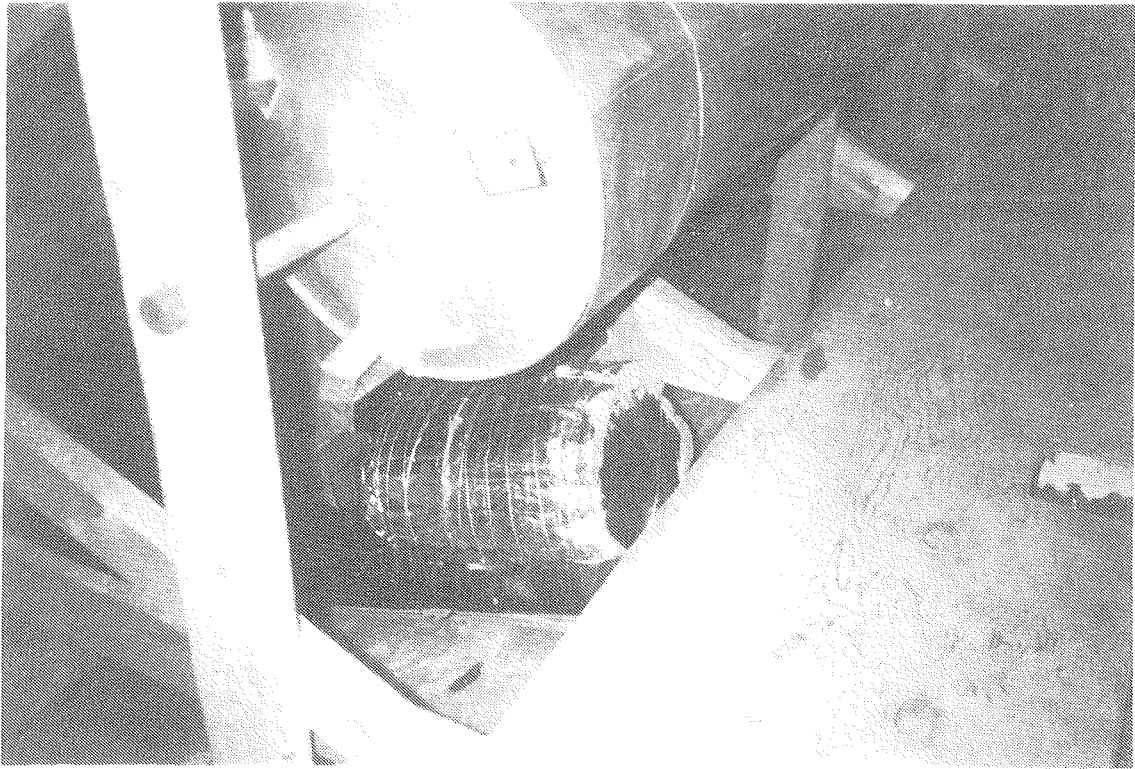
Tabel 6.3. Her er angivet grundlaget for justering af de med joulemålere målte varmeoverførsler i solfangerkredsen i Egebjergvang, Ballerup.



Figur 6.12. Timevise aflæsninger af jourlemålere for de to solfangerdele, den danske og svenske. Her fra d. 19/3, 3/5 og 27/6 1986. Der ses en tydelig reduktion i flowet for den danske del d. 3/5 hvor der var luftproblemer.



Figur 6.13. Forslag til to udformninger af solfangerkredse baseret på erfaringer ifm. det nordiske demonstrationsanlæg i Ballerup. Nærmere beskrivelse i teksten.



Figur 6.14. Fotos af ny placering af udluftningspote i solfan-
geranlægget, således at den sidder under ekspansi-
onsbeholderne.

7. VURDERING AF ØKONOMI FOR NORDISK SOLVARMEDEMONSTRATIONSANLÆG I BALLERUP

Der skal i det følgende angives vurderinger af økonomi, både for det aktuelle solvarmeanlæg i Ballerup og for fremtidige løsninger under mere "normale" forhold, bla. under forudsætning af at man har bestemt sig for at anvende solvarme på et tidligt tidspunkt så solvarmeløsningen kan indpasses i den almindelige bygge-projektering.

Afsnit 7.1 er skrevet af ingeniør Max Kjellerup fra Dominia A/S.

7.1 Præsentation af økonomi baseret på tal fra bygherrens rågiver, Dominia A/S

De første overslag til anlægsbudgetter for solvarmeanlægget i Egebjerg blev udført i december 1983. Boligbyggeriet var på daværende tidspunkt under opførelse, dvs. at lagertanke til det traditionelle brugsvandstilberedningsanlæg var leveret til varmecentralen, ligesom også placeringen af fælleshuset i forhold til varmecentralen var fastlagt. Fælleshuset var dog endnu ikke opført, men projekteret uden solfanger.

Anlægsøkonomisk betød centralens og lagertankens placering her en meromkostning i forhold til et solvarmeanlæg, hvor solfanger og varmecentral var beliggende i samme bygning.

I centralen skulle reserveres plads til automatik- og pumpearangementer, pladevarmeveksler og tømmebeholdere for solvarmeanlægget på et tidspunkt, hvor de øvrige komponentplaceringer i centralen var besluttet. Dette medførte naturligvis nogle vanskeligheder og en mere kompliceret rørføring end normalt og fordyrede derved projektet.

Solfangerens placering i tagkonstruktionen nødvendiggjorde en omprojektering af denne mht. inddækninger, undertag mv. Da tagbelægningen (teglsten) kunne undværes på sydsiden af taget hvor solfangeren skulle placeres, fremkom herved en besparelse.

Indbygning af følere og målere til forsøgene nødvendiggjorde også en ekstraprojektering og fordyrede derved projektet.

Ved en vurdering af anlægsbudgetterne og tilbudspriser i det følgende er det vigtigt at ovennævnte forudsætninger indgår for at få et reelt billede af anlægsudgiften til solvarmeanlægget.

Budgetter og prisindhentning (170 m² solfanger).

Beløb inkl. moms.

Overslag pr. 20.12.1984 til bygherren:

Anlægsudgift i alt inkl. projektering	<u>kr. 425.000</u>
Max tilskud 50%	kr. 212.000
Energibesparelse pr. år	kr. 28.000

Overslag pr. 16.04.1984 til bygherren:

Anlægsudgift i alt inkl. projektering	<u>kr. 500.000</u>
---------------------------------------	--------------------

Anlægsudgiften er forøget i forbindelse med ansøgning om tilskud, hvilket er en normal procedure for at sikre maksimalt tilskud (30%), såfremt den budgetterede anlægspris (kr. 425.000) bliver større end antaget.

Anlægsudgiften fordelt på solvarmeanlæggets hovedkomponenter:

Solfangere	kr. 300.000
Rørsystem mv.	kr. 80.000
Automatik	kr. 15.000
Måleudstyr	kr. 40.000
Projektering	<u>kr. 65.000</u>

I alt	<u>kr. 500.000</u>
-------	--------------------

Prisindhentning pr. september 1984

Entreprise A, arbejder i varmecentral, rør i jord mv.	kr. 146.403
Entreprise B, solfangere mv.	kr. 310.812
Entreprise C, El- og automatikarbejde	kr. 25.892
Gravearbejde ifm. rør i jord mv.	kr. 17.148
Undertag, levering og montering	<u>kr. 25.326</u>

Håndværkerudgifter i alt	kr. 525.586
Dekort for tagbelægning (teglsten)	<u>kr. 40.260</u>
I alt	kr. 485,326
Teknikerhonorar	<u>kr. 46.000</u>
Anlægsudgift i alt	<u>kr. 531.326</u> <u>=====</u>

Statstilskud

Energistyrelsen: 30% à kr. 500.000	kr. 150.000
Energistyrelsen: Energiøkonomisk enkeltprojekt	<u>kr. 50.000</u>
Statstilskud i alt	<u>kr. 200.000</u>

Konklusion

I forhold til den budgetterede udgift til solvarmeanlæggets etablering blev den faktiske anlægspris ca. 25% større.

Årsagerne til denne overskridelse af den budgetterede anlægsudgift skyldes primært:

- 1) Den dansk-producerede solfanger viste sig at være væsentlig dyrere i anskaffelse end antaget (ca. 50% dyrere end den svenske solfanger).
- 2) Teknikken ved monteringen af acryldækplader, solfangere og rørsystem var ukendt for de tilbudsgivende, derfor var tilbudspriserne højere end oplyst fra vore svenske samarbejdspartnere.
- 3) VVS-arbejderne blev dyrere end antaget, specielt arbejderne i varmecentralen fordyrede projektet på grund af de eksisterende installationer og pladsforholdene i øvrigt.

7.2 Vurdering af økonomi for fremtidige solvarmeanlæg baseret på erfaringerne fra solvarmeanlæg i Egebjergvang

Af tallene fra Dominia kan man finde udgifterne til en række deludgifter som i flere tilfælde må vurderes at være unødvendige i fremtidige anlæg (U) eller dyre (D), i dette tilfælde bla. fordi solvarme blev besluttet sent i projekteringsforløbet.

Priser uden
moms

Påfyldningspumpe (Grundfoss)	(D) kr. 8.000
Solfangerstyring (Danfoss)	(D) kr. 4.500
Prærør i jord og gravning (50 m)	(U,D) kr. 32.800
Pladevarmeveksler	kr. 20.600
Arbejde i varmecentral	(D) kr. 53.300
Isolering	kr. 9.000
Solfangervæske	kr. 8.000
Regulering af brugsvandsretur	(U) kr. 6.700
El-arbejder	(D) kr. 19.000

For fremtidige solvarmeanlæg vurderes det at disse udgifter kan reduceres til i alt 100.000 kr.

Med hensyn til solfangerentreprisen var den også dyrere end nødvendigt, primært fordi der blev anvendt to solfangerabsorbere, hvor den ene viste sig at være meget dyrere end oprindeligt vurderet, og fordi det var første gang det nye afdækningssystem blev anvendt. Solfangerentreprisen kom til at koste kr. 249.800, en løsning med Sunstrib-absorber for hele solfangeren blev i den forbindelse tilbudt af solvarmemontøren for kr. 202.740, mens et svensk firma (Scandinavian Solar) tilbød at levere solfangeren for kr. 186.000, alle priser uden moms. På grundlag af ovenstående vurderes det som rimeligt at regne med en solfangerpris på kr. 227.000, inkl. moms som en pris der sandsynligvis kunne være opnået i Ballerup (1400 kr. pr. m² solfanger). Herved ville den samlede anlægspris blive kr. 327.000, inkl. moms og inkl. 14% til projektering ville den blive kr. 367.000.

Med en fremtidig rationalisering af løsningerne vurderes det endvidere at være realistisk med en yderligere prisreduktion til kr. 320.000 (1986 priser). Baseret herpå er der i tabel 7.1 opstillet en vurdering af fremtidig økonomi for store solfangersystemer til varmt brugsvand i nybyggeri. I figur 7.1 er angivet pris- og ydelsesudviklingen for større solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Danmark frem til demonstrationsanlægget i Ballerup. En yderligere vurdering af perspektiverne for denne type solvarmeanlæg er angivet i kapitel 8.

ØKONOMI FOR STORE SOLFANGERSYSTEMER TIL VARMT BRUGSVAND I NYBYGGERI

EKSEMPEL: 160 M² TAGINTEGRERET SOLFANGER

ANLÆGSOMKOSTNINGER:	KR. 320.000
PROJEKTERINGSOMKOSTNINGER:	KR. 48.000
TOTALUDGIFT:	KR. 368.000
30% TILSKUD TIL VEDVARENDE ENERGI:	KR. 110.000
	KR. 258.000
BESPARELSE I TAGKONSTRUKTIONEN:	KR. 36.000
TOTAL OMKOSTNING FOR BYGHERRE:	<u>KR. 222.000</u>

SOLVARMEBESPARELSE ARLIGT:

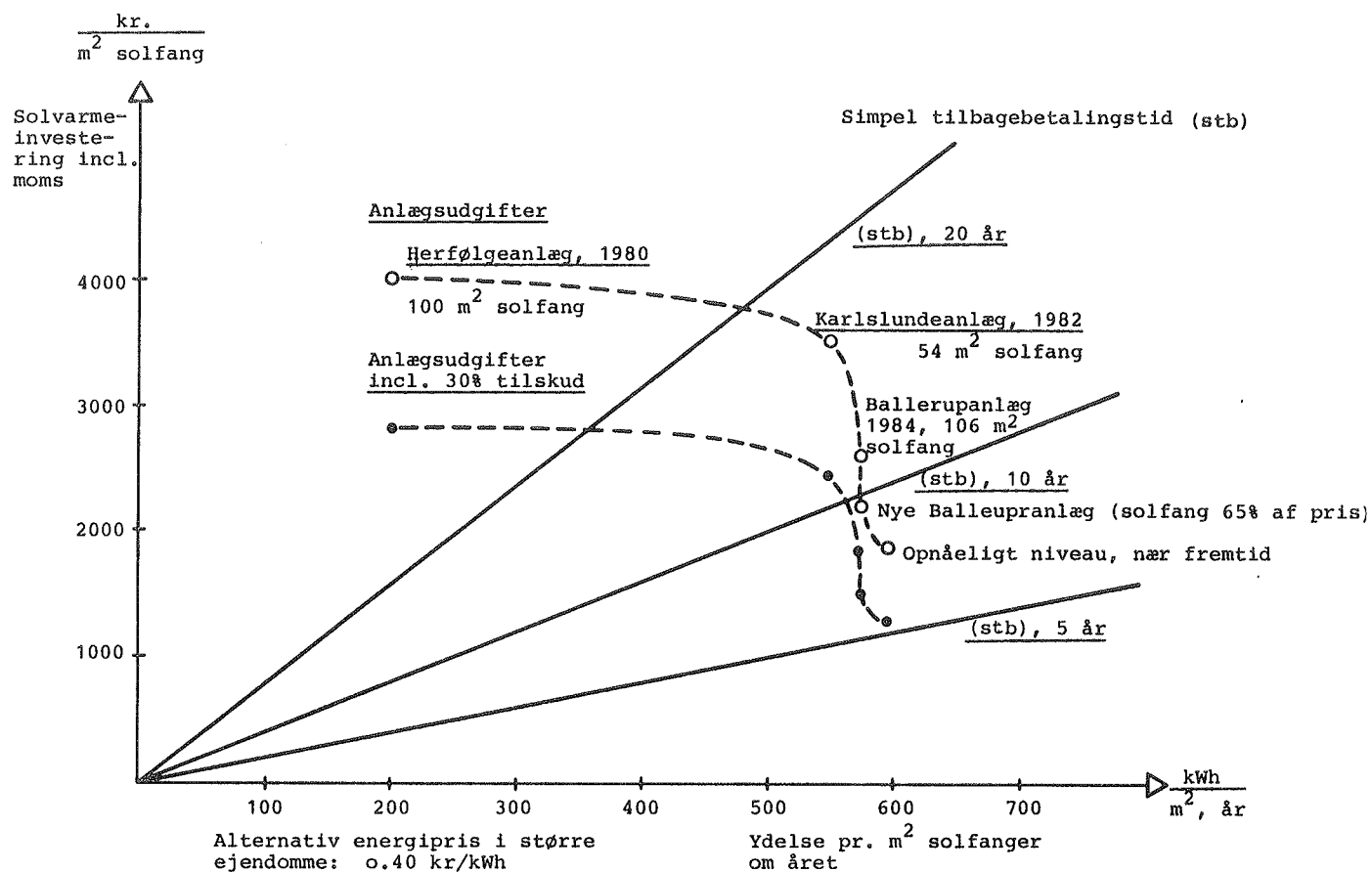
$$160 \text{ M}^2 \times 550 \frac{\text{KWH}}{\text{M}^2} \times 0.40 \frac{\text{KR}}{\text{KWH}} (\text{GAS}): \quad \underline{\underline{\text{KR. 35.000}}}$$

$$\text{SIMPEL TILBAGEBETALINGSTID: } \frac{220.000}{35.000} = \underline{\underline{6 - 7 \text{ AR}}}$$

FINANSIERINGSOMKOSTNINGER FOR BOLIGSELSKAB:

INDEKSLAN, ARLIGE OMKOSTNINGER:	KR. 8.200
5% HENLÆGGEELSE FOR VVS-DEL:	KR. 13.500
VEDLIGEHOELDELSE:	<u>KR. 2.000</u>
TOTALE ARLIGE OMKOSTNINGER:	<u>KR. 23.700</u>

Tabel 7.1. Økonomivurdering for store solfangersystemer til varmt brugsvand i nybyggeri. Denne opstilling er udarbejdet i 1986 af Dominia A/S efter demonstration-projektet i Egebjergvang var gennemført. Det er interessant at kapitaludgifterne for nerinvesteringen kun udgør 25-30% af den årlige solvarmebesparelse, således at der inkl. henlæggelser til reparation og vedligeholdelse bliver et betragteligt overskud allerede fra 1. år. Selv for det aktuelle projekt i Egebjergvang, som var ca. 50% dyrere end det her antagne, er der overskud fra 1. driftsår.



Figur 7.1. Illustration af skønnet sammenhæng mellem solvarmeinvestering og målt ydelse for større danske solvarmeanlæg til varmt brugsvand i perioden 1980-1985.

8. DET VIDERE ARBEJDE MED ANVENDELSE AF STORE SOLFANGERAREALER I BOLIGBYGGERIET

8.1 Generelt om mulighederne

Bl.a. på baggrund af de positive erfaringer med det nordiske demonstrationsprojekt i Ballerup har der været interesse hos flere boligselskaber for mere anvendelse af solvarme i både nye og gamle boligbebyggelser.

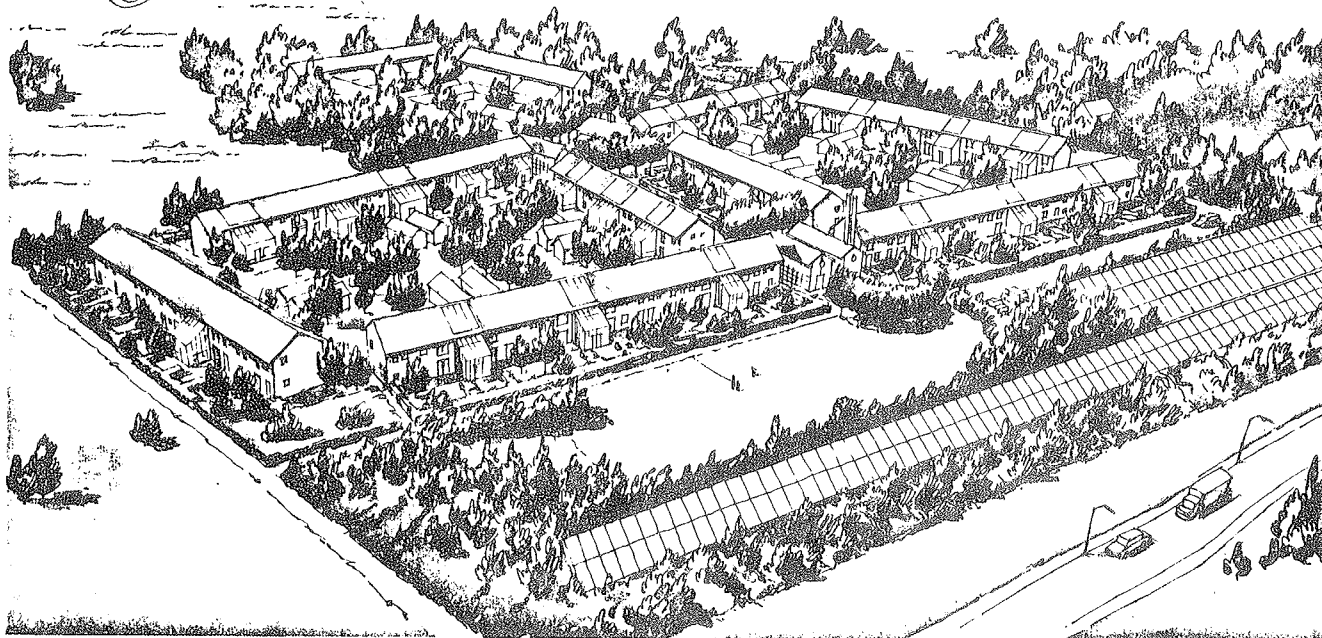
Der har i den forbindelse været interesse for at finde økonomiske løsninger med en større dækningsgrad end for Ballerup-anlægget. Her anvendes som nævnt kun ca. 1 m² solfanger pr. bolig, men der opnås samtidig et billigt anlæg og en høj solfangerydelse.

Solvarmeløsninger med høje ydelser og relativt lave årsdækningsgrader, (under 20-50%), er grundigt undersøgt i Danmark i forbindelse med en række udredningsprojekter Balslev-Olesen (1984), Birch & Krogboe (1985) og Lange (1985 og 1987), og man har her især peget på en rentabel anvendelse hos offentlige brugere med et fast stort dagligt vandforbrug. Senere undersøgelser peger på, at man faktisk ofte kan gå ret højt op mht. solfangerareal og dækningsgrad (op til 60%) uden af pris-ydelses-forholdet bliver ringere, se næste afsnit angående dette.

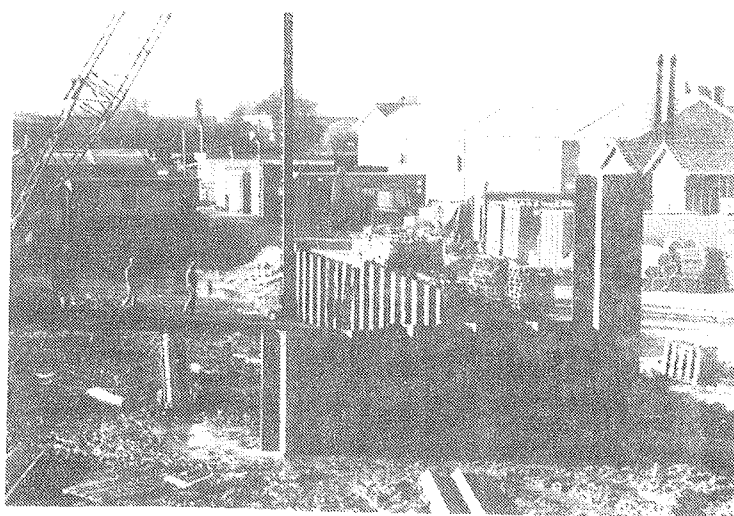
Når man nærmer sig årsdækningsgrader på 60%, bliver solvarmeløsningerne ofte meget mere attraktive, fordi man her får sommerdækninger på 80-90%. I et almennyttigt byggeri vil en solfangerstørrelse på 3-4 m² pr. bolig normalt være nok til at sikre dette. Herved kan det i mange tilfælde være økonomisk at kombinere solvarmeløsningen med el-back-up, hvorved tomgangstab enten i kedler eller rørrnet kan spares. Sådanne løsninger har hidtil været mest almindelige for villasolvarmeanlæg, men der er i Danmark taget initiativ til nye demonstrationsanlæg, hvor solvarmeanlæg til flere boliger med fordel udnytter en kombination af sol og el om sommeren. Især i nybyggeri er der mange

fordele, bl.a. er det her muligt at placere el-supplementet i lokale vandvarmere i boligerne.

TUBBERUPVÆNGE



Figur 8.1. Bebyggelsen Tubberupvænge II med 92 boliger etableres i 1989 i Herlev vest for København af boligselskabet, KAB, og Herlev Kommunes Boligselskab. Ved lavenergiløsninger og lokale bloksolvarmeanlæg halveres varmebruget. Ca. 60% af det resterende varmebehov dækkes fra et solopvarmet sæsonvarmelager placeret under den brede del af det centrale solfangerfelt. Nederst ses billede fra byggepladsen fra november 1989.

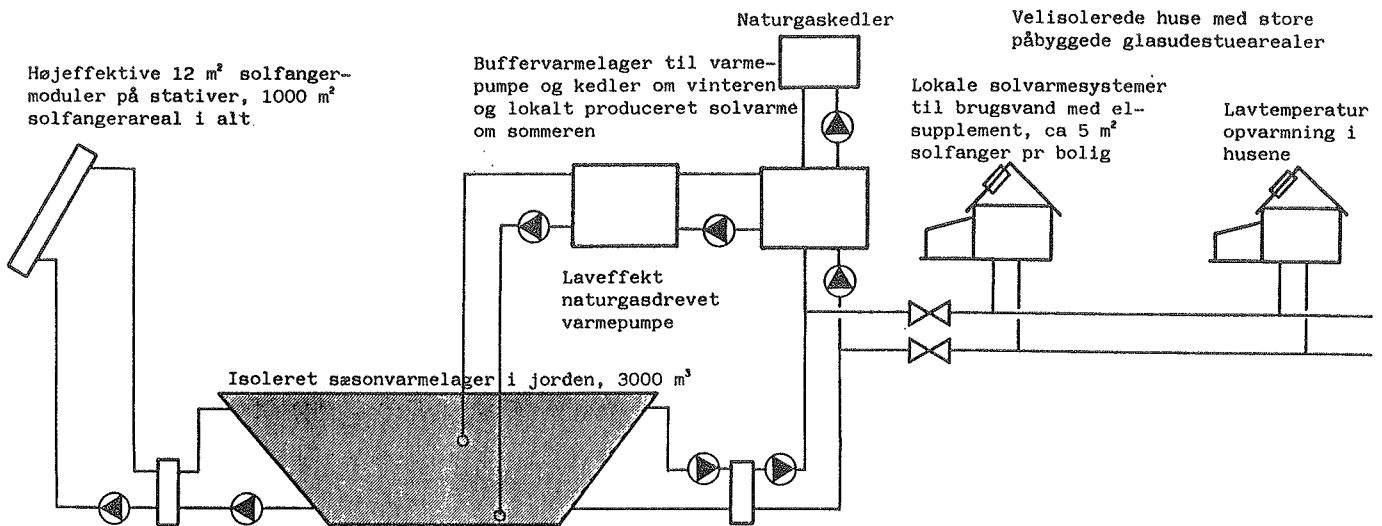


Man kan også overveje at anvende op til 4-7 m² solfanger pr. bolig og et større varmelager med en buffereffekt, som kan sikre at man dækker næsten 100% af sommermånedernes varmebehov både til brugsvand og cirkulationstab. Herved kan tomgangstab i varmecentralen spares i en lang periode og behovet for el-supple-

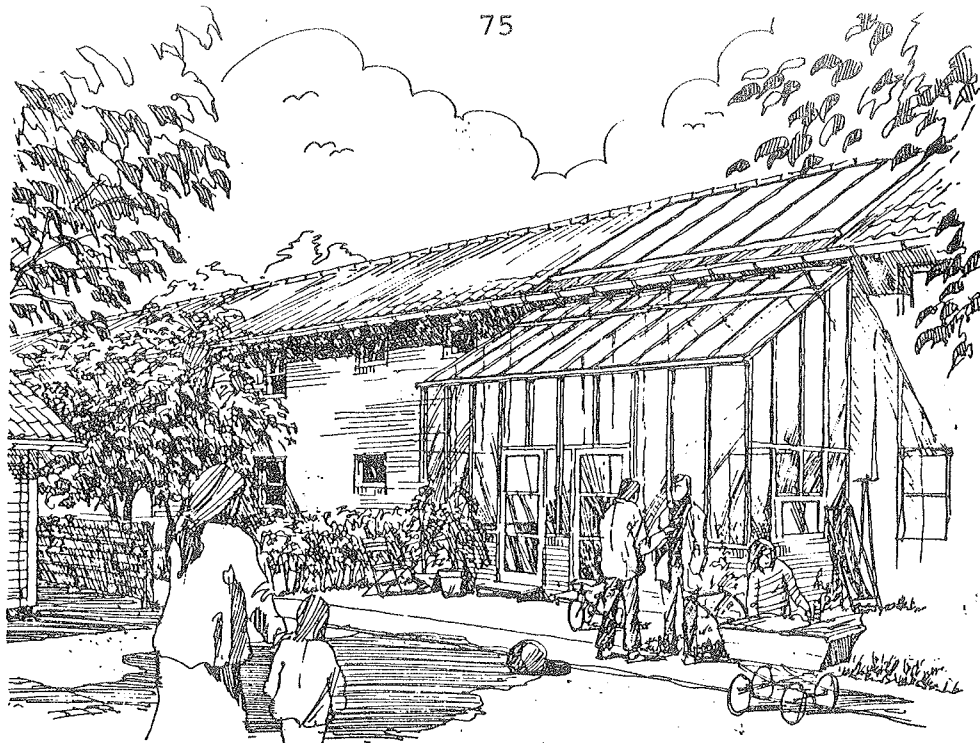
ment holdes på et minimum. Der skal i Danmark realiseres et projekt af denne type i samarbejde med Dominia A/S og Roskilde Boligselskab.

Og man kan endelig gå et skridt videre som det sker i det EF-støttede totalenergisystem i Herlev (Tubberupvænge II), som ligesom Egebjergvang i Ballerup har KAB som koordinator for bygherren, her Herlev Kommunes Boligselskab. I Herlev anvendes for 92 boliger omkring 15 m² solfanger pr. bolig for at opnå en virkelig høj dækningsgrad med solvarme også til rumopvarmning. Dette kræver udnyttelse af et såkaldt sæsonvarmelager, så man kan producere solvarme om sommeren og gemme den i flere måneder til brug for opvarmning om vinteren. Målsætningen for totalenergisystemet i Herlev er at reducere det årlige energiforbrug til varme og varmt vand til 20% af det normale for tæt-lavt byggeri. Der udnyttes her både lavenergiløsninger, passiv solvarme, decentrale solvarmeanlæg til brugsvand og et stort centralt solvarmeanlæg med 1000 m² højeffektive solfangere i kombination med et isoleret sæsonvarmelager i jord på 3000 m³. Figur 8.1 viser øverst en tegning af Tubberupvænge II i Herlev med både lokale og centrale solfangere indtegnet. Nederst ses et foto fra etableringen i efteråret 1989. Man kan her se arbejdet med spunsjern der skal udgøre sæsonvarmelagerets vægge. Det centrale solfangerfelt (fa. Scancon) placeres for en stor del oven på sæsonvarmelageret, og det indgår samtidig som en del af et støjvoldsområde ud mod en befærdet vej. I figur 8.2 er vist principdiagram for solvarmecentralen i Tubberupvænge II, og i figur 8.3 er vist principdiagram for de lokale bloksolvarmeanlæg. Som det kan ses på figur 8.1 er en del af de lokale solfangere i øvrigt orienteret mod øst eller vest pga. bebyggelsesplanens udformning. Edb-analyser viser at denne ringere solorientering kun fører til en meget begrænset ydelsesreduktion i sommermånederne, hvor man ønsker en høj ydelse for at kunne lukke det fælles varmforsyningsnet ned. Økonomien for bloksolvarmeanlæg som hovedsagelig skal dække behovet for varmt brugsvand, er under alle omstændigheder meget bedre end for små individuelle solvarmeanlæg. Disse er normalt dyrere pr. m² solfanger, både i anlægs- og i driftsfasen. Og de store svingnin-

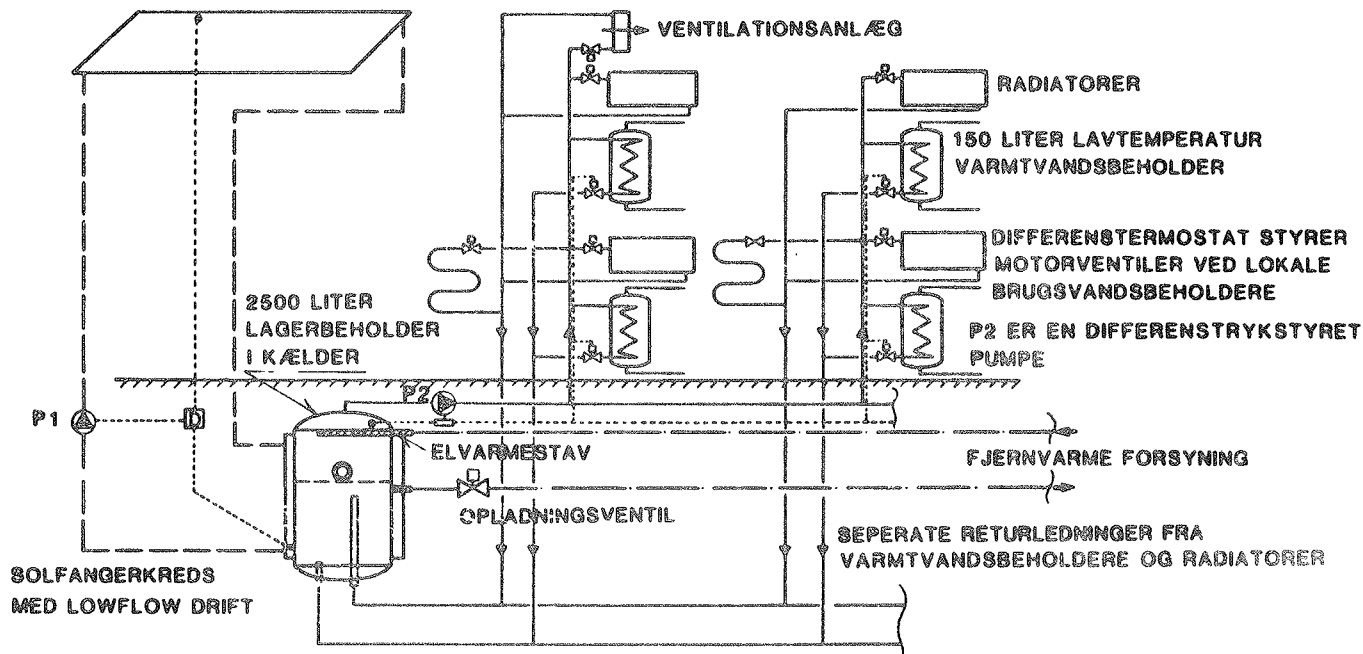
ger i forbruget af varmt vand betyder at det ikke kan undgås at man opnår en lav solvarmeydelse for de boliger der har et lavt varmtvandsforbrug. Mørck et al. (1985).



Figur 8.2. Principdiagram for solvarmecentral med sæsonvarmelager på 3000 m³ til bebyggelsen Tubberupvænge II, der etableres med 92 boliger af Herlev Kommunes Boligselskab/v KAB med indflytning foråret 1990. Der er her tale om den første praktiske anvendelse af et solopvarmet sæsonvarmelager i Danmark. Den anvendte løsning baserer sig på erfaringer fra Sverige og fra et mindre prototype damvarmelager der blev opført på DTH i 1982 (Vejsig Pedersen 1989). 1050 m² højeffektive solfangere opvarmer frem til september sæsonlageret til 85°C. Frem til november-december klares den samlede opvarmning i bebyggelsen herfra. Når temperaturen i sæsonlageret er under 50°C, presses den resterende varmemængde ud af lageret ved hjælp af en gasmotordrevet varmepumpe som køler lageret ned til omkring 10°C i marts-april måned.



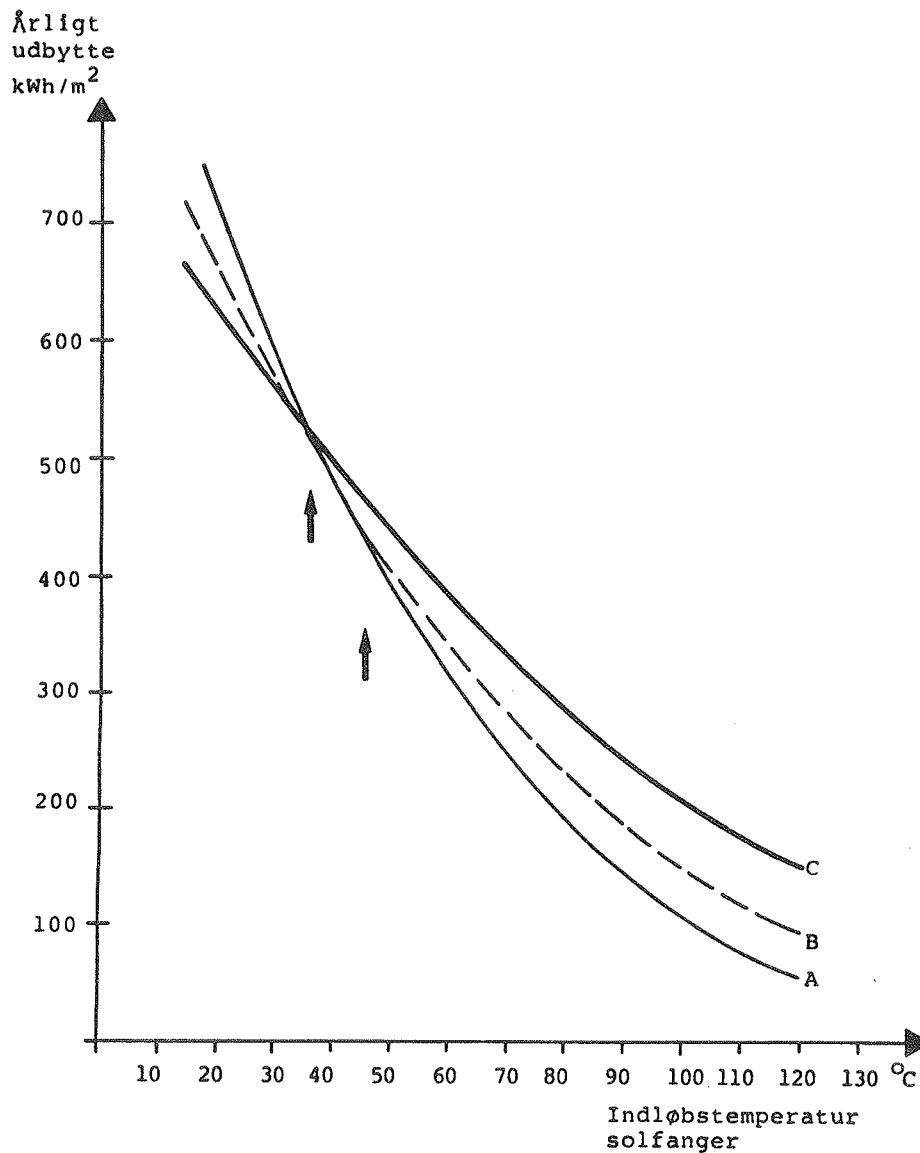
40 - 45 m² SOLFANGER
PR. BOLIGBLOK



Princip for 8 lokale bloksolvarmeanlæg i Tubberupvænge II i Herlev.

Figur 8.3. Bebyggelsen Tubberupvænge II med 92 boliger etableres i 1989 i Herlev Kommune af boligselskabet KAB og Herlev Kommunes Boligselskab. Der anvendes her en 40-45 m² solfanger samt et mindre varmelager til hver af de 8 boligblokke med hver ca. 12 boliger. Boligerne har hver en 150 liter varmtvandsbeholder med vekslerspiral der forsynes med varme fra solvarmelageret, der også har indbygget el-supplement så man kan dække 100% af varmebehovet om sommeren. Herved kan varmforsyningsnettet stoppes om sommeren med store sparede varmetab til følge. Anvendelsen af et fælles varmelager for hver boligblok mindsker samtidig betydningen af de erfaringsmæssigt store forskelle i varmtvandsforbrug, og det muliggør også en dækning af rumvarmebehov forår og efterår med solvarme.

Ved indpasning af solvarme i byggeriet er det vigtigt at kunne vurdere hvilke solfangertyper som er mest velegnede til boligbyggeri. I forbindelse med et projekt udført for Teknologirådet i Danmark, Lawaetz og Vejsig (1986), er der lavet en beregning af årsydelsen af forskellige solfangere ved forskellige indløbs-temperaturer. Solfangerne er alle med selektiv absorber og glas- eller acrylafdækning, men anvender i to tilfælde også et eller to lag teflonfolie, som er velegnet til højtemperaturdrift. Disse solfangere er bedst ved temperaturer over 35-40 °C og er dermed hensigtsmæssige i systemer med store dækningsgrader, hvor der anvendes større varmelagre, som det fx er tilfældet i Herlevprojektet. I fremtidige projekter af denne type er det en stor fordel hvis så meget af solfangerarealet som muligt kan placeres i tagfladerne, fordi det er her, der er bedst plads. Det kræver dog flere undersøgelser af konstruktioner og driftsmuligheder for højtemperatursolfangere integreret i taget før det er realistisk at anvende disse i større stil. I figur 8.4. er vist beregnede ydelser for solfangere med og uden teflonfolie som funktion af indløbstemperaturen.



Figur 8.4. Beregnede solfangerydelser baseret på referenceåret for Danmark, Lawaetz (1986), beregningsmodel udviklet på Teknologisk Institut i Danmark.

- A. Solfanger med dæklag
 $\eta = 0.80 - 5.0 \times T/I$
- B. Solfanger med dæklag og 1 lag teflon, bedre end A fra 45°C
 $\eta = 0.77 - 4.0 \times T/I$
- C. Solfanger med dæklag og 2 lag teflon, bedre end A fra 35°C
 $\eta = 0.75 - 3.0 \times T/I$

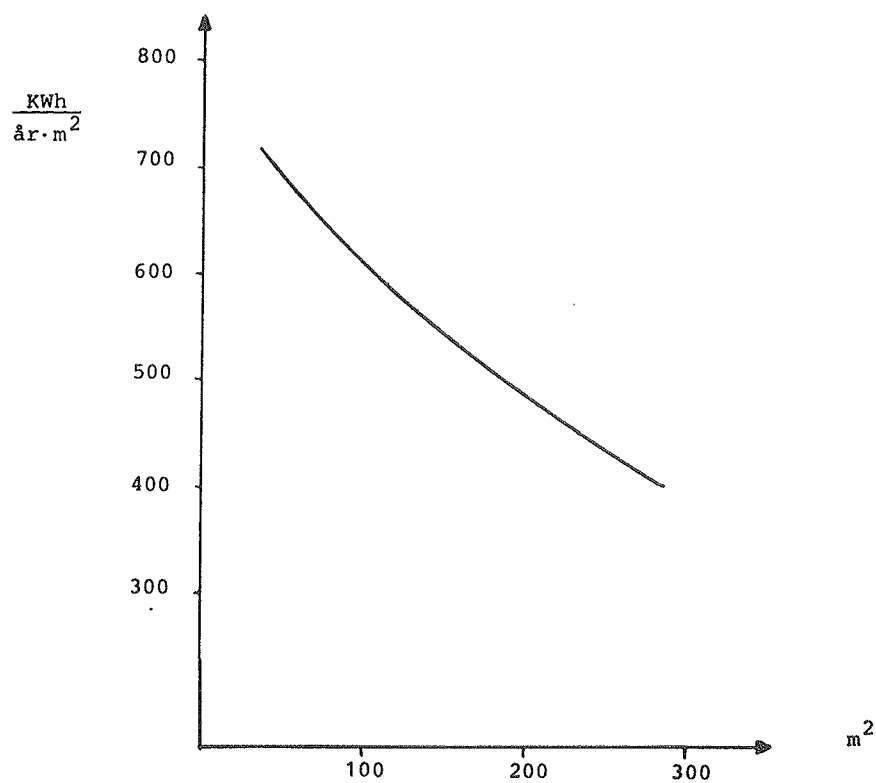
Da beregningsmodellen er for dæklag af glas, skal resultatet taget med et vist forbehold, specielt ved 2 lag folie.

8.2 Solvarmeanlæg med høj dækningsgrad

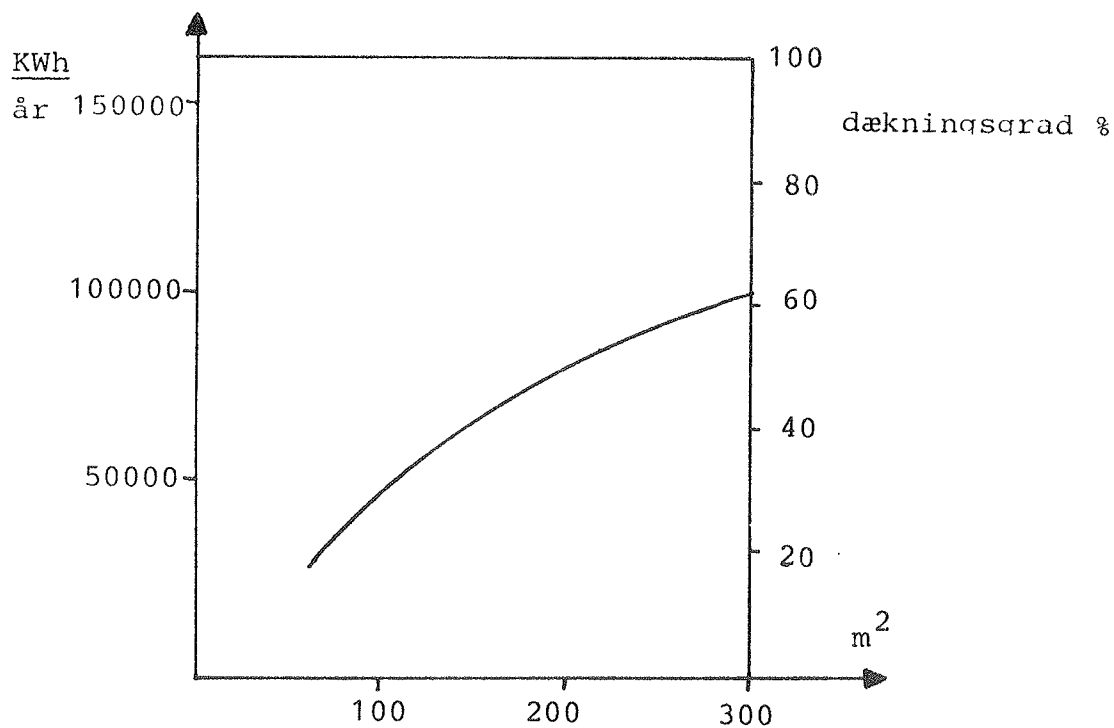
I det følgende gennemgås resultaterne fra en undersøgelse af økonomi for store solvarmeanlæg som funktion af solfangerareal, dagligt brugsvandsforbrug og størrelse af cirkulationstab: Denne undersøgelse er udført som led i projektet "Projekteringsvejledning for store tagintegrerede solfangere", støttet af Energiministeriets Forskningsprogram. Undersøgelsen er udført på baggrund af resultater i Birch & Krogboe (1985) hvor der på Laboratoriet for Varmeisolering er udført beregninger til det rådgivende ingeniørfirma Birck & Krogboes projekt om "Solvarme til offentlige bygninger". Der tages her udgangspunkt i et dagligt forbrug af varmt brugsvand på $10 \text{ m}^3/\text{dag}$ som opvarmes fra 12°C til 50°C . Der anvendes et varmelager på 40-50 liter pr. m^2 solfanger.

Til sammenligning kan nævnes at forbruget af varmt brugsvand for det nordiske demonstrationsanlæg i Ballerup med 150 boliger var ca. 130 liter pr. dag, således at de nævnte $10 \text{ m}^3/\text{dag}$ vil være et typisk varmtvandsforbrug for omkring 75 boliger. Dette betyder så at en variation i solfangerareal pr. bolig mellem 75 og 250 m^2 vil dække et område mellem 1 til $3,5 \text{ m}^2$ solfanger pr. bolig.

I figur 8.5 er optegnet den årlige solvarmeydelse og dækningsgrad som funktion af solfangerarealet. I figur 8.6 er optegnet det samme, men som funktion af varierende dagligt varmtvandsforbrug mellem 5 og $15 \text{ m}^3/\text{dag}$ og ved henholdsvis 0% og 100% cirkulationstab for brugsvandet. Det ses at man ved 200 m^2 solfanger og et varmtvandsforbrug på ca. $7 \text{ m}^3/\text{dag}$ kan dække 70% af behovet for varmt brugsvand når cirkulationstab ikke regnes med. Ved for eksempel 20% cirkulationstab vil en dækning på 60-65% fås under samme forhold, og ved 100% reduceres dækningen til 40%. Figur 8.7 viser estimerede priser for et samlet større solvarmeanlæg til varmt brugsvand på grundlag af interview med solfangerfabrikanter i Danmark.



Årlig solvarmeydelse pr. m^2 solfanger som funktion af solfangerarealet.

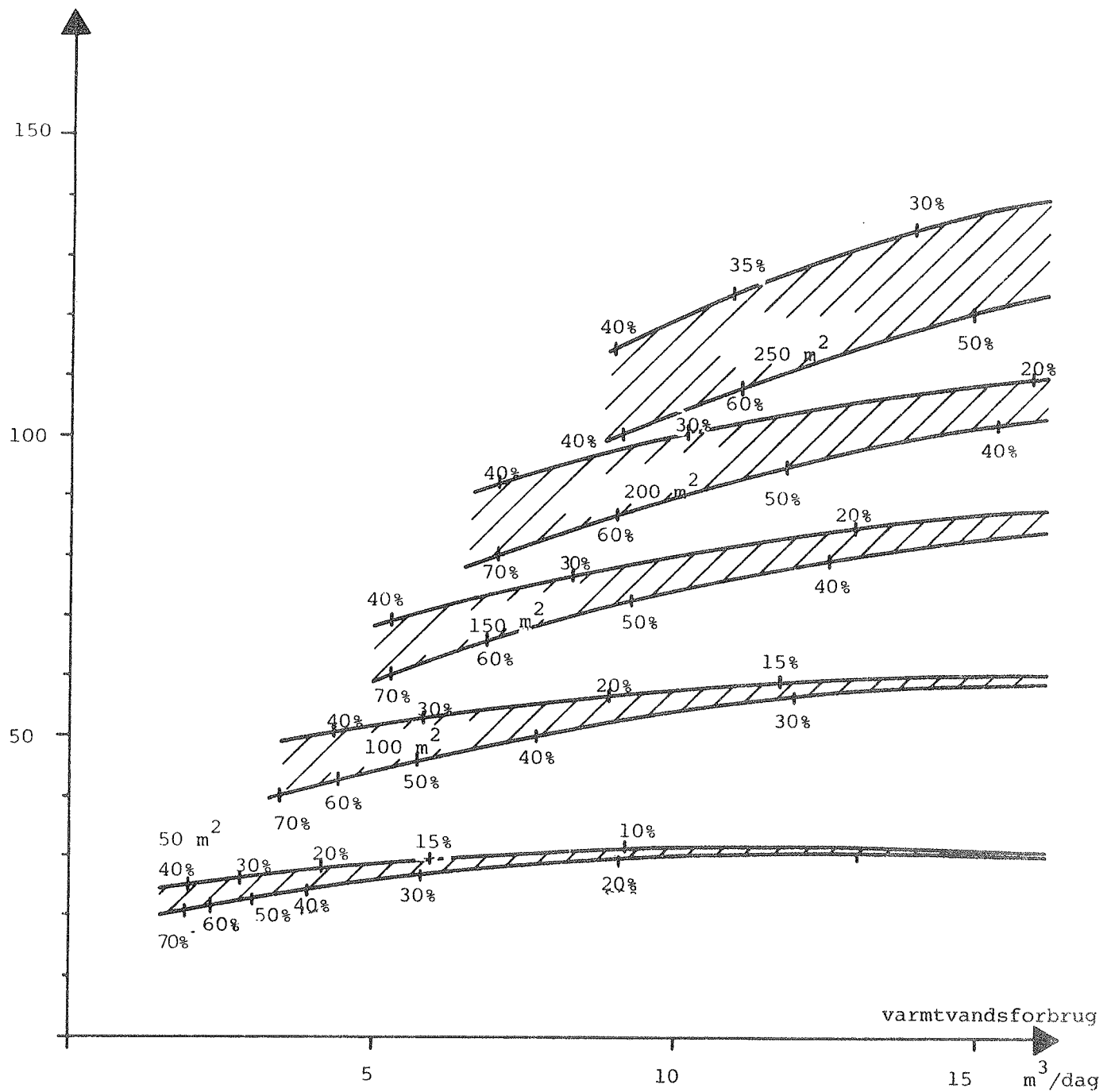


Total solvarmeydelse og dækningsgrad som funktion af solfangerareal.

Figur 8.5. Solvarmeydelser og dækningsgrad som funktion af solfangerareal (fra Birch & Krogboe (1985)). Varmtvandsforbrug $10 m^3/\text{dag}$, opvarmning fra $12^\circ C$ til $50^\circ C$. Beholderstørrelse $40 l/m^2$ solfanger.

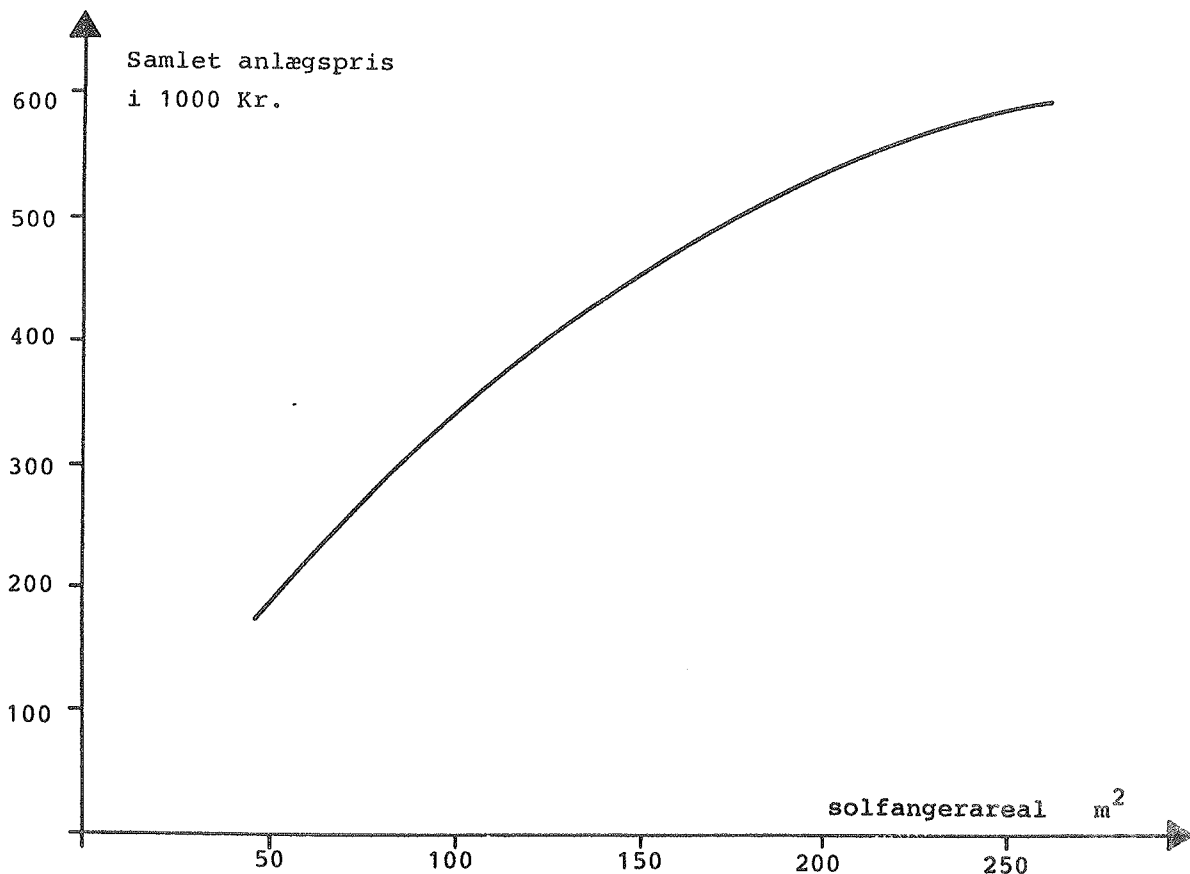
Solvarmeydelse

MWh



Figur 8.6. Solvarmeanlæggets ydelse som funktion af varmtvandsforbruget og solfangerarealet (50 til 250 m² solfanger). Nederste kurve gælder hvor cirkulationstabet er 0% af varmtvandsforbruget, mens øverste kurve gælder hvor cirkulationstabet er lige så stort som varmtvandsforbruget. De små tal langs kurverne angiver solvarmedækningsgraden i procent.

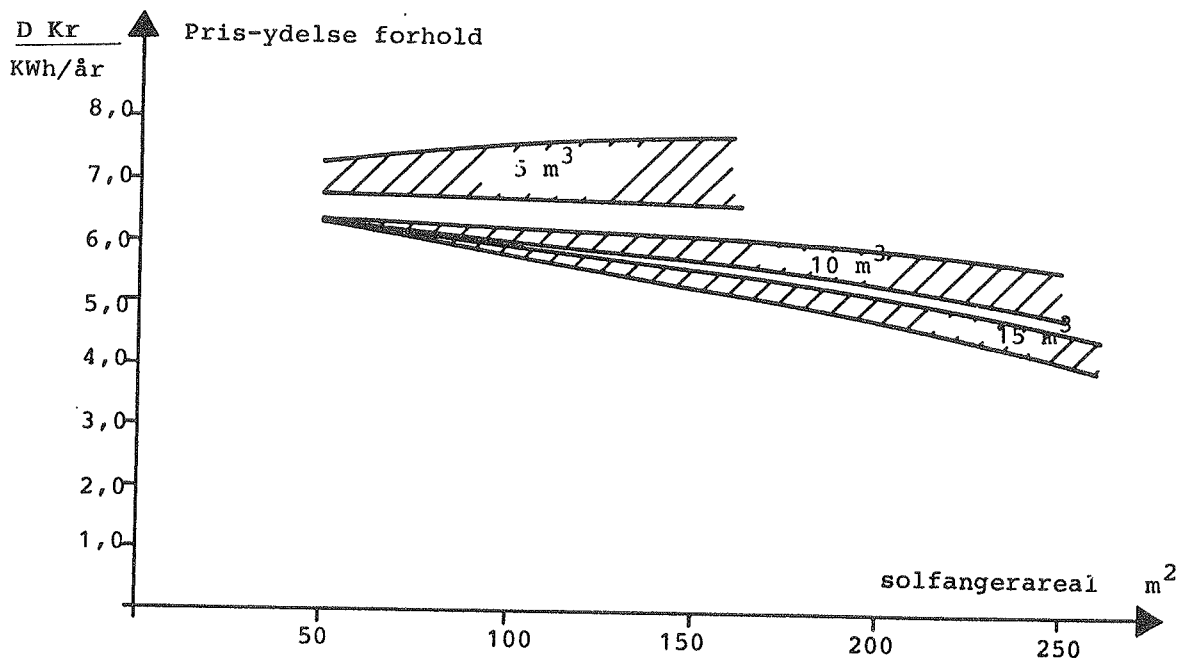
I figur 8.8 angives som følge af ovenstående et pris-ydelsesforhold i danske kr. pr. produceret kWh pr. år, også her angivet som funktion af solfangerarealet, det daglige varmtvandsforbrug og cirkulationstabets størrelse. Det ses, måske nok lidt overraskende, at pris-ydelsesforholdet, især ved de højere daglige brugsvandsforbrug, faktisk forbedres ved anvendelse af større solfangerareal og dermed større solvarmedækningsgrad. Denne konklusion er selvfølgelig helt afhængig af de valgte forudsæt-



Figur 8.7. Samlet anlægspris som funktion af solfangerarealet. Pris lig $4158 - 7.3 \times (\text{solfangerareal})$ (kr/ m^2 solfanger). $50 m^2 < \text{Solfangerareal} < 300 m^2$.

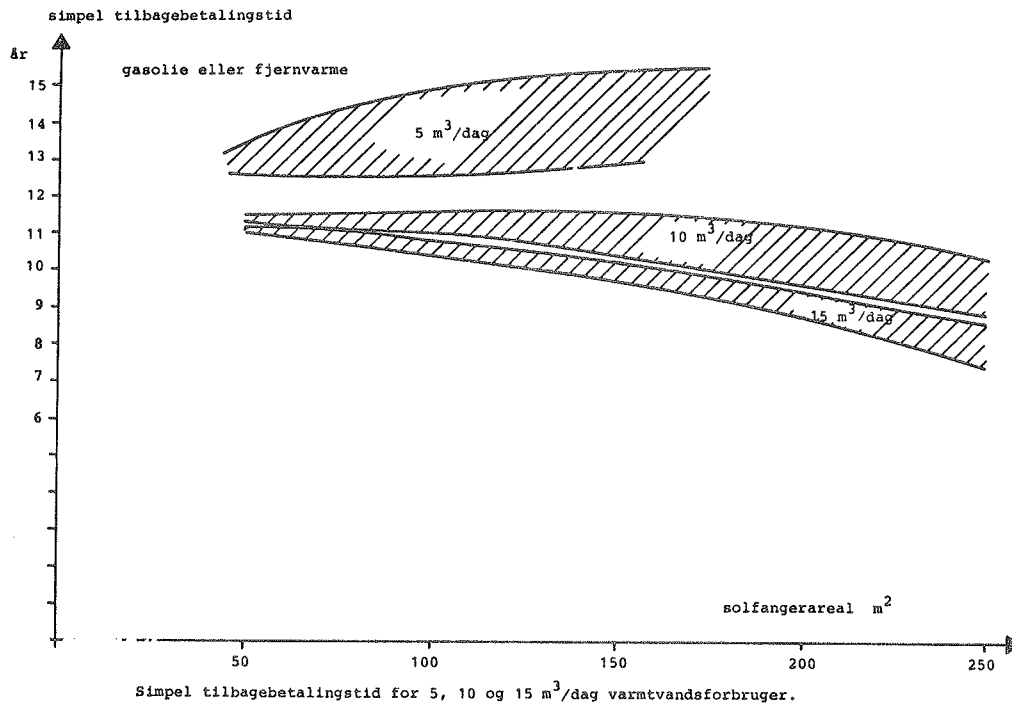
ninger, især med hensyn til priskurven i figur 8.7. Men meget tyder i hvert fald på at der ikke er nogen økonomisk grund til at nøjes med lave dækningsgrader for større solvarmeanlæg. Da en mulig høj dækningsgrad om sommeren giver en god mulighed for at stoppe centralvarmekedler i en længere periode og derved spare tomgangstab, er der endda mulighed for at forbedre økonomien yderligere. I figur 8.9 er angivet den simple tilbagebetalingstid under de samme forhold som i figur 8.8. Det ses, at

mellem 8-10 år simpel tilbagebetalingstid er realistisk. I figur 8.10 vises endelig den reelle besparelse i danske kr. pr. år som funktion af varmtvandsforbruget opstillet på samme måde som for figur 8.6.

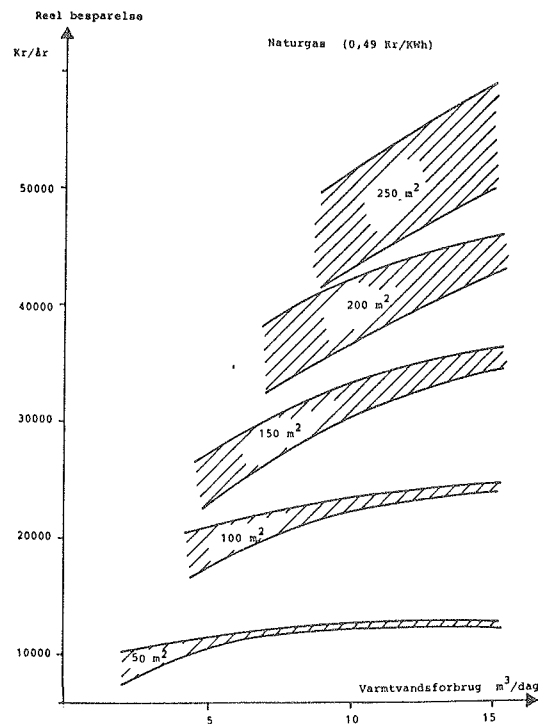


Figur 8.8. Pris-/ydelseforhold for 5, 10 og 15 m³/dag varmtvandsforbrug som funktion af solfangerarealet. Øverste kurve bruges hvor cirkulationstabet er 100% af varmtvandsforbruget, og nederste ved 0%.

Det kan ud fra de nævnte beregninger konkluderes at det nok ikke er økonomisk optimalt at begrænse sig til kun 1-2 m² solfanger pr. bolig for større solvarmeanlæg. Ved større solfangerarealer falder ydelsen pr. m² noget, men dette opvejes af en billigere pris, og der er desuden mulighed for ekstra sidegevinster, fx. ved at kunne slukke et evt. kedelanlæg i en periode.



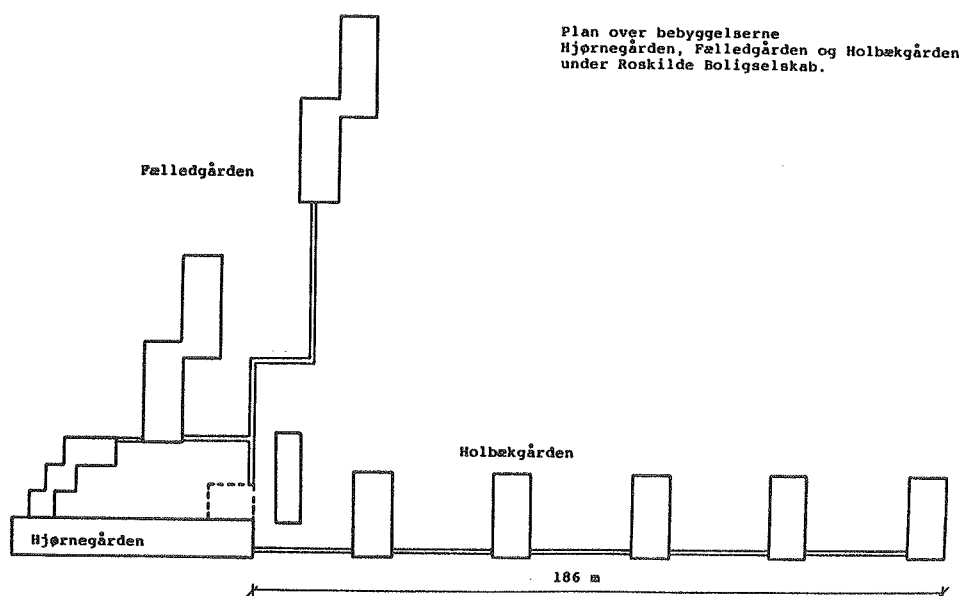
Figur 8.9. Simple tilbagebetalingstid for 5, 10 og $15 m^3/dag$ varmtvandsforbrug, som funktion af solfangerarealet. Øverste kurve bruges hvor cirkulationstab er 100% af varmtvandsforbruget, og nederste ved 0%.



Figur 8.10. Reel årlig besparelse som funktion af varmtvandsforbruget og solfangerstørrelse. Øverste kurve bruges hvor cirkulationstab er 100% af varmtvandsforbruget, og nederste ved 0%.

8.3 Solvarmeanlæg med bufferlager

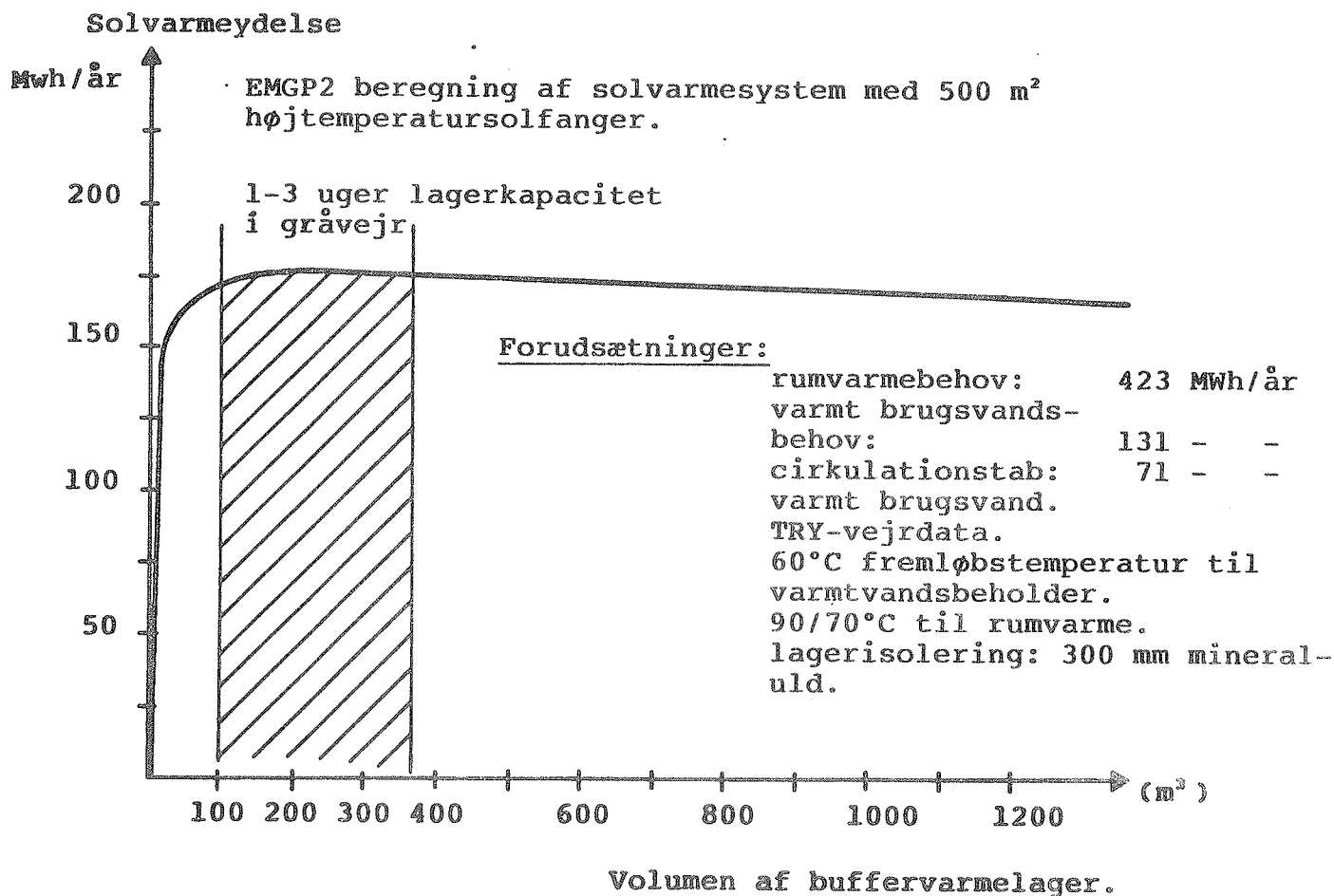
I figur 8.11 er vist en plantegning over 8 boligblokke fra 1940'erne med 170 lejligheder, tilhørende Roskilde Boligselskab. Det er besluttet her at etablere solvarme i forbindelse med at der skal udføres tagrenovering samt renovering af fjernvarmeforsynet varmecentral. Det er hensigten for dette byggeri at etablere et solvarmesystem med 4-6 m² solfanger pr. bolig, således at man med et mindre el-supplement til varmt vand kan dække behovet for varme og varmt vand i sommermånederne med solvarme.



Figur 8.11. Plantegning over 8 boligblokke fra 1940'erne tilhørende Roskilde Boligselskab. Her skal anvendes solvarme i forbindelse med at der sker renovering af tage og varmecentral.

Det var oprindelig tanken at forsøge at udjævne fjernvarmeforsyningen ved at installere én stor buffertank i Hjørnegårdens gamle kulkælder, hvorved spidsbelastningen kunne nedsættes med ca. 30%, hvilket dengang ville medføre en lavere fjernvarmepris. Roskilde Varmeforsyning har imidlertid ændret praksis således at der ikke længere afregnes efter spidsbelastningen, men efter en fast pris pr. m² boligareal, dermed er grundlaget for den oprindelige idé med én stor buffertank bortfaldet.

Solvarmeanlæg med centralt buffervarmelager kan være interessante i andre sammenhænge, fx i kombination med en olie- eller gasfyrret varmecentral. Derfor skal der alligevel gennemgås hovedresultaterne fra en udredning på området som er udført med støtte fra Energiministeriets Forskningsprogram i Danmark. Her tages udgangspunkt i en sydvendt bebyggelse med 72 boliger.



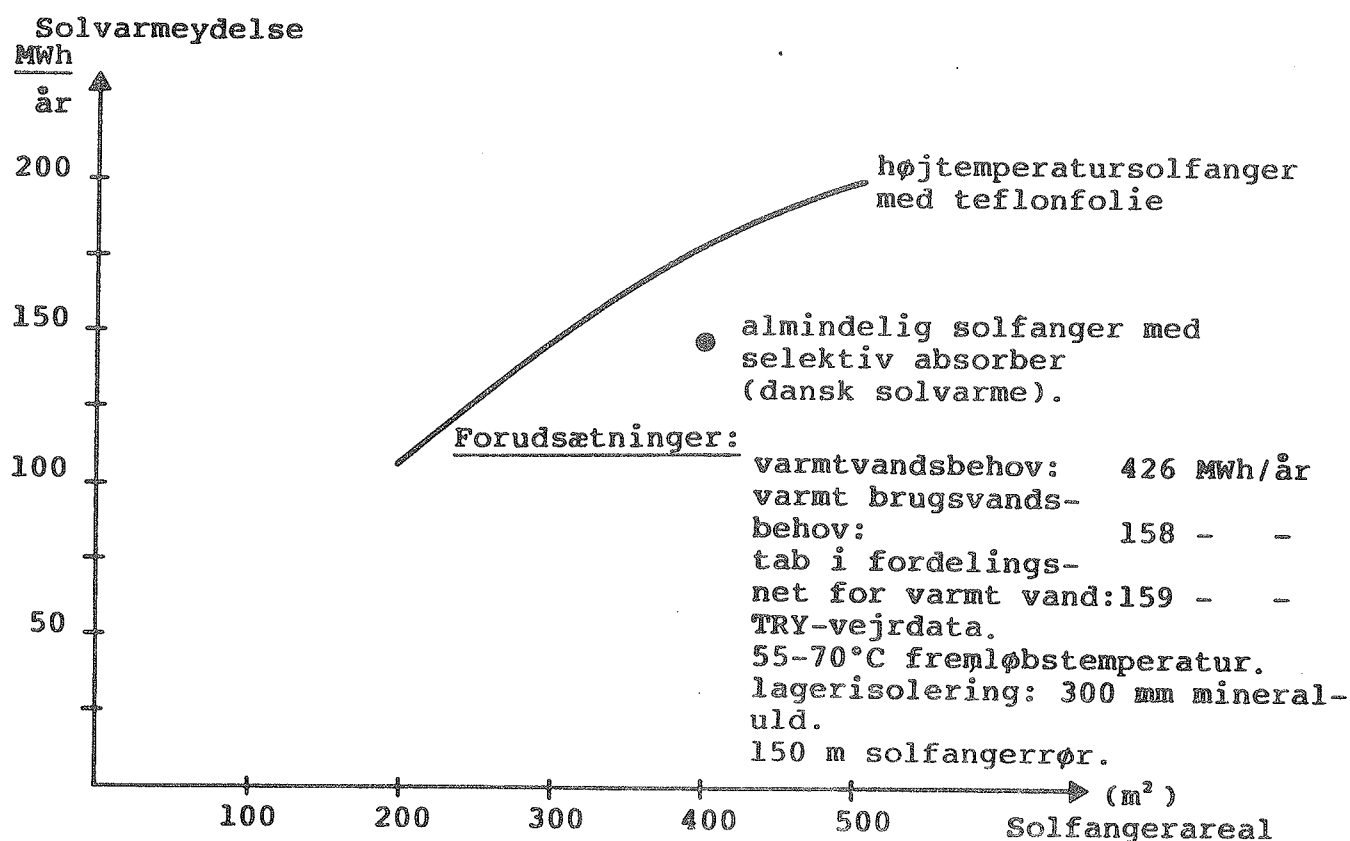
Figur 8.12. Solvarmeanlæg med bufferlager. Diagrammet viser en beregnet sammenhæng mellem årlig solvarmeydelse i MWh/år som funktion af buffervarmelager volumen (m³), for et 500 m² solfangeranlæg til 72 boliger med et samlet årligt varmebehov på 625 MWh. Det ses at solvarmeydelsen ikke øges når lageret bliver større end 100 m³, (svarende til 200 liter pr. m² solfanger). Ved en større lagerkapacitet end 100 m³ kan dog opnås en større solvarmedækning i længere gråvejrperioder og i det tidlige efterår. Der tages udgangspunkt i en højtemperatursolfanger med teflonfolie mellem glas og absorber og TRY-vejrdato for Danmark. Dagligt varmt brugsvandsforbrug er på 100 liter pr. bolig der opvarmes fra 12°C til 55°C.

På figur 8.12 er vist resultatet af en EMGP2-beregning for et solvarmesystem med 500 m² højtemperatur solfanger til 72 boliger. Solvarmeydelsen er her angivet som funktion af forskellige buffervarmelagerstørrelser. Det ses at solvarmeydelsen stort set ikke øges ved lagerstørrelser over 100 m³ svarende til 200 liter varmelager pr. m² solfanger. Det kan dog godt være ønskeligt at øge lagerstørrelsen af andre grunde, enten for at nedsætte effektbehovet for bebyggelsen ved fjernvarmeforsyning, eller for at kunne klare en længere periode med gråvejr om sommeren udelukkende med solvarme, så kedelanlæg kan stoppes helt i sommermånederne.

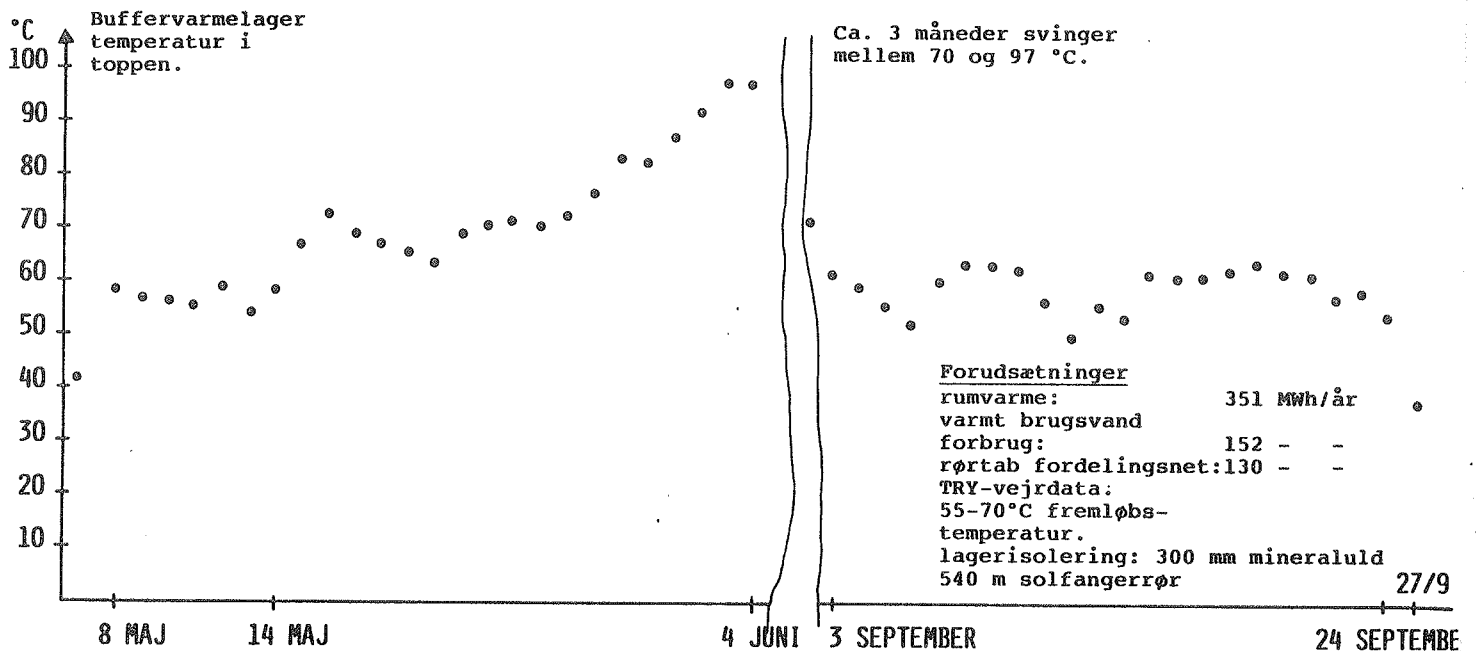
På figur 8.13 er vist solvarmeydelsen som funktion af solfangerarealet ved en buffervarmelagerstørrelse på 100 m³. Denne beregning er udført med MINSUN-beregningsprogrammet der er udviklet til beregning på solvarmesystemer med sæsonvarmelagre som led i samarbejde under det Internationale Energi Agentur.

På figur 8.14 er baseret på MINSUN-beregning angivet variationen om sommeren af toptemperatur for buffervarmelager på 100 m³ når der anvendes 400 m² højtemperatursolfanger. Det ses at der altid er temperaturer over 60°C fra d. 14. maj til d. 3 september.

MINSUN beregning for solvarmesystem med 100 m³ bufferlager



Figur 8.13. Solvarmeanlæg med buffervarmelager. Diagrammet viser en beregnet sammenhæng mellem årlig solvarmeydelse i MWh/år som funktion af solfangerareal (m²), når der anvendes et buffervarmelager på 100 m³ til 72 boliger med samlet årligt varmebehov på 743 MWh. Beregningen er udført med MINSUN-programmet og der tages udgangspunkt i højtemperatursolfanger og TRY-vejrdato for Danmark. Fremløbstemperatur for rumvarme varierer mellem 70°C og 55°C. Det ses at ved 400 m² solfanger falder årsydelsen med 15% hvis der bruges en almindelig solfanger med selektiv absorber (henholdsvis 430 kWh pr. m² solfanger og 370 kWh pr. m² solfanger).

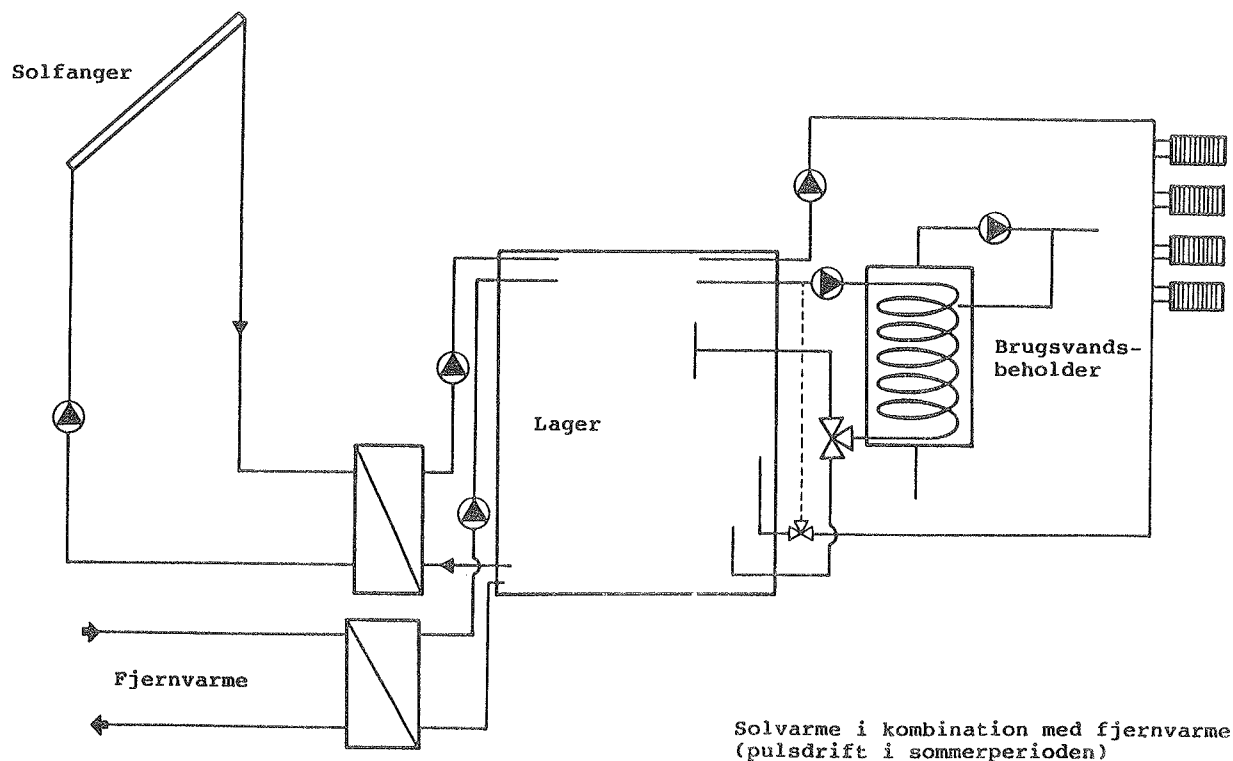
MINSUN BEREGNING FOR 400 M² HØJTEMPERATURSOLFANGER OG 100 M³ BUFFERVARMELAGER

Figur 8.14. Solvarmeanlæg med buffervarmelager. Diagrammet er udført for en løsning med 400 m² højtemperatursolfanger og et 100 m³ buffervarmelager til 72 boliger. Temperaturen i toppen af buffervarmelager som resultat af MINSUN-beregning er angivet for sommermånederne (8. maj til 24. september).

Det ses at temperaturen altid er over 60°C fra d. 14/5 og til d. 3/9, med maksimum på 97°C. Frem til d. 24/9 er der altid over 50°C i lageret. Der regnes her med et dagligt varmt brugsvandsforbrug på 80 liter pr. bolig og et cirkulationstab på 50% heraf.

De 3 boligafdelinger Hjørnegården, Fælledgården og Holbækgården forsynes i dag med fjernvarme fra samme stikledning ved Hjørnegården, hvorefter fjernvarme og brugsvand føres i ledninger til henholdsvis Fælledgården og Holbækgården med meget store varmetab til jord. Det store varmetab er en følge af mange rør med meget store rørdimensioner, samt en alt for ringe isolering. Hvis det gamle rørnet erstattes af en fjernvarmeledning med lille dimension, samtidig med at der etableres bufferlagertanke og brugsvandsbeholdere i de 8 blokkes kælderrum, vil der kunne spares en stor del af varmetabet i ledningsnettet. Samtidig er der et godt grundlag for lokale solvarmeanlæg i hver boligblok idet bufferlageret kan bruges som lagertank.

Der foreslås installeret solvarmeanlæg på de enkelte ejendomme som vist på figur 8.15. Solfangerarealet og lagertanken vil variere i størrelse i forhold til den enkelte ejendoms varmebehov og orientering.



Figur 8.15. Principdiagram for lokale solvarmeanlæg i Roskilde med lagertank i kælderen som kombineret solvarmelager og bufferlagertank for fjernvarme.

Den overordnede idé for solvarmesystemet går ud på en næsten 100% solvarmeforsyning i sommermånederne maj-august, hvorved der kan lukkes for fjernvarmecirkulationen. Buffervarmelagrene i de enkelte ejendomme skal så holde på varmen til perioder hvor solen ikke er tilstrækkelig til at opfylde varmebehovet.

Af pladsmæssige og økonomiske grunde er det ikke rimeligt at installere så store lagertanke at man kan vide sig 100% sikker på at kunne imødekomme enhver vejr-situation. Så der er regnet med at buffertankene skal fyldes med fjernvarme i perioder med ringe eller ingen sol.

Som solfanger tænkes anvendt tagintegrerede højtemperatursolfangere med et samlet areal på 680 m². De udmærker sig ved en høj effektivitet ved høje absorbertemperaturer, hvilket er ønskeligt i forbindelse med fjernvarme. Samtidig bliver der tale om en arkitektonisk attraktiv løsning.

Lagertankene har en størrelse på 7-20 m³ og udføres sandsynligvis som en på stedet opbygget tank efter svensk mønster og placeres i et egnet kælderrum. I stedet for en cylindrisk beholder, der optager meget plads, kan lageret udføres som en aflang firkantet boks, der placeres op til et hjørne og isoleres med 20 cm rockwool. I nærheden af tanken installeres 2 varmevekslere samt varmtvandsbeholderen. I alt kan arealkravet i kælderen for Fælledegården og Holbækgården opgøres til ca. 22 m² og 15 m².

REFERENCER

O. Balslev-Olesen og Sten Melson. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse, Laboratoriet for Varmeisolering 1984.

Søren Østergaard Jensen. Varmeovergang for varmevekslerspiraler neddykket i vand. Laboratoriet for Varmeisolering, Rapport 84-10, 1984.

P. Vejsig Pedersen. Svensk solfangerløsning i Ballerup. Ingeniøren nr. 10, marts 1984.

H. Lawaetz og P. Vejsig Pedersen. Effektive Økonomiske Solfangere. Teknologisk Instituts Forlag 1986.

ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1985.

Birch & Krogboe. Solvarmebrugsvandsanlæg i større bygninger, demonstration. Statusrapport, maj 1985.

Mads Lange. Solvarme i offentlige bygninger, demonstration. 1 års måling på materielgården i Karlslunde. Teknologisk Institut 1985.

Mads Lange. Solvarme i offentlige bygninger, demonstration. 1 års måling på materielgården i Rødovre. Teknologisk Institut 1987.

Svend Erik Mikkelsen. Projektering af større solfangeranlæg. Meddelelse nr. 194, Laboratoriet for Varmeisolering, 1988.

Prøvestationen for Solvarme. Teknologisk Institut i Tåstrup.

W.L. Dutré. A European Transient Simulation Model for Thermal Solar Systems - EMGP2. Solar Energy R&D in The European Community series A vol. 5. Solar Energy Applications to Dwellings. 1985.

O. Mørck, P. Vejsig Pedersen, J. Andersen, J.E. Christensen. IEA-projektet Smakkebo, meddelelse nr. 207, Laboratoriet for Varmeisolering, maj 1989.

P. Vejsig Pedersen, artikler om Tubberupvænge II i Herlev i "Store Lagre". Slutrapport fra projekt med udvikling af et optimalt 3.000-10.000 m³ betonelementvarmelager og etablering af et 500 m³ forsøgslager for verifikation af arbejdsmetoder. Udført for Industri & Handelsstyrelsen, 1989.

P. Vejsig Pedersen. Totalenergiprojekt med solopvarmet sæsonlager. Teknisk Beskrivelse af Forsøgsbyggeri med energibesparelser og solvarme i Herlev. Rapport forventes færdig foråret 1990, Laboratoriet for Varmeisolering.

Cenergia Aps., Nellesmann A/S. Lokale solvarmeanlæg i tæt lavt boligbyggeri i kombination med fælles varmforsyning. November 1988.

ASHRAE - Active Solar Heating Systems Design Manual, 1989.

