

Solvarmeanlæg til brugsvands- og rumopvarmning

Glostrup Boligselskab afd. 8

Bjarne Svendsen, Danakon a/s

Peter Fagerlund Carlsson, Laboratoriet for Varmeisolering



Danakon a/s
Rådgivende ingeniører F.R.I.



Meddelelse 277. Juli 1995
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet

Forord

Denne rapport afslutter projektet "Low flow solvarme". Projektet er finansieret af Energi-styrelsen og har J.nr. 51181/92-0012.

Rapporten er udarbejdet af Danakon a/s og Laboratoriet for Varmeisolering. Projektet blev påbegyndt i efteråret 1992 og er afsluttet i juli 1995.

Der rettes en tak til Glostrup Boligselskab, hvis positive og imødekommende holdning, har været en vigtig forudsætning for den vellykkede gennemførelse af projektet.

Indholdsfortegnelse

	Side
Resumé	1
Summary	2
1. Indledning	3
1.1 Projektets formål	3
2. Solvarmeanlægget	5
2.1 Beskrivelse af bebyggelsen	5
2.2 Projektforløbet	6
2.3 Anlægsopbygning	7
2.3.1 Solfangerfeltet	7
2.3.2 Varmelageret	8
2.3.3 Rørsystemet	9
2.3.4 Solvarmeanlægget	9
2.4 Priser	11
3. Måleresultater	13
3.1 Målesystem	13
3.2 Måleresultater	14
3.2.1 Detaljerede målinger	14
3.2.2 Månedsværdier	19
4. Sammenligning mellem målinger og edb-beregninger	25
4.1 Edb-programmet	25
4.2 Sammenligning for lageret	25
4.3 Sammenligning for solfangerkredsen	27
4.4 Sammenligning for anlæg	29
4.5 Beregning af årsydelsen	29
5. Driftserfaringer og anlæggets rentabilitet	31
5.1 Driftserfaringer	31
5.2 Anlæggets rentabilitet	32
5.3 Forbedringsforslag til anlægsopbygning	32
6. Konklusion	33
Referencer	35

Resumé

I foråret 1994 blev der installeret et 78 m^2 stort solvarmeanlæg hos Glostrup Boligselskab. Solvarmeanlægget leverer primært varmt brugsvand og sekundært rumopvarmning til de 67 lejligheder og 15 mindre erhvervsmål i ejendommen.

Solvarmeanlægget er opbygget efter low flow princippet, hvor væsken i solfangerkredsen cirkulerer med en volumenstrøm på ca. $0,2 \text{ l/min pr. m}^2$ solfanger. Den lille volumenstrøm medfører en stor temperaturlagdeling i lagerbeholderen.

Lagerbeholderen er på $3,2 \text{ m}^3$, som svarer til det daglige varmtvandsforbrug i bebyggelsen. Indløbene til lageret er udformet således, at temperaturlagdelingen opretholdes.

Solvarmeanlægget kostede 335.000 kr. inkl. moms (4.300 kr/m^2), når et tilskud på 135.000 kr. fra Energistyrelsen er fratrukket.

Fra 1. juli 1994 og frem til 30. juni 1995 er der foretaget detaljerede målinger på solvarmeanlægget. Målingerne er anvendt til sammenligning med edb-beregninger og bestemmelse af solvarmeanlæggets årsydelse.

Solvarmeanlægget har fungeret yderst tilfredsstillende, dog har der været tekniske problemer med brugsvandspumpen, der er placeret på brugsvandssiden af solvarmeveksleren. Det viste sig, at pumpen hurtigt tilkalkede, hvorved pumpens kapacitet blev nedsat. Der er nu installeret en luftkølet pumpe, som ifølge pumpefabrikanten ikke vil få samme tilkalkningsproblemer.

Årsydelsen for solvarmeanlægget er målt 32.000 kWh eller 410 kWh/m^2 . Det vurderes ud fra edb-beregninger, at solvarmeanlægget vil yde ca. 500 kWh/m^2 uden driftsproblemer. Tilbagebetalingstiden for anlægget vurderes til at blive ca. 15 år. Ca. 10 % af solenergien er anvendt til rumopvarmning.

De detaljerede målinger er anvendt til sammenligning med et beregningsprogram udviklet på Laboratoriet for Varmeisolering. Sammenligningen har både omfattet lageret, solfangerkredsen og hele anlægget. Sammenligningerne udviser god overensstemmelse mellem målinger og beregninger. Det kan derfor konkluderes, at beregningsmodellen regner præcist, og programmet kan derfor anvendes ved projektering af fremtidige mellemstore solvarmeanlæg.

Projektet viser, at ydelsen for mellemstore solvarmeanlæg kan være tilfredsstillende, når de er udført efter low flow princippet. Projektet viser desuden, at det er muligt at opbygge et varmelager, der opretholder en stor temperaturlagdeling.

Summary

In the spring of 1994 a 78 m² solar heating system was installed with Glostrup Boligselskab (Glostrup Building Society). The solar heating system primarily supplies hot domestic water and secondarily room heating to the 67 flats and 15 minor business premises of the house.

The solar heating system is built up according to the low flow principle where the fluid in the solar collector loop circulates with a volume flow rate of about 0.2 l/min. per m² solar collector. The small volume flow rate causes a large temperature stratification in the storage tank.

The storage tank is of 3.2 m³ equivalent to the daily hot water consumption in the building. The inlets to the storage is worked out in such a way that the temperature stratification is preserved.

The solar heating system cost 335,000 DKK incl. VAT (4,300 DKK/m²), after a subsidy of 135,000 DKK from The Danish Energy Agency had been deducted.

From 1st July 1994 to 30th June 1995 detailed measurements were carried out on the solar heating system. The measurements have been used for comparison with computer calculations and for the determination of the annual performance of the solar heating system.

The solar heating system has worked very satisfactorily though there have been some technical problems with the domestic water pump which is placed on the domestic water side of the solar heat exchanger. It turned out that the pump was quickly blocked up with lime which resulted in a reduction of the capacity of the pump. An air-cooled pump has now been installed and according to the pump manufacturer this will solve the problems.

The annual performance for the solar heating system is measured to be 32,000 kWh or 410 kWh/m². Computer calculations estimate that the solar heating system will yield about 500 kWh/m² without working problems. The repayment time for the system is estimated to be about 15 years. Approximately 10% of the solar energy have been used for room heating.

The detailed measurements have been used for comparison with a calculation program developed at the Thermal Insulation Laboratory. The comparison has included the storage tank, the solar collector loop as well as the whole system. The comparisons show that measurements and calculations harmonize well. The conclusion can therefore be drawn that the calculation model calculates accurately and consequently the program can be used at the projecting of future medium-sized solar heating systems.

The project shows that the performance of medium-sized solar heating systems can be satisfactory when they are made in accordance with the low flow principle. Further, the project shows that it is possible to build a heat storage tank that preserves a large temperature stratification.

1. Indledning

I foråret 1994 blev der installeret et mellemstort solvarmeanlæg hos Glostrup Boligselskab. Solvarmeanlægget skal primært levere varmt brugsvand og sekundært rumopvarmning til de 67 lejligheder og 15 mindre erhvervsmål i ejendommen.

1.1 Projektet formål

Formålet med projektet er at etablere et højtydende mellemstort solvarmeanlæg til brugsvands- og rumopvarmning. Detaljerede målinger på anlægget vil efterfølgende blive anvendt til bestemmelse af ydelsen og til sammenligning med edb-beregninger.

Solvarmeanlægget skal udføres efter low flow princippet, hvor væsken i solfangerkredsen cirkulerer med en volumenstrøm på ca. 0,2 l/min pr. m² solfanger. Den lille volumenstrøm medfører en stor temperaturlagdeling i lagerbeholderen. For mindre solvarmeanlæg er det påvist, at ydelsen for low flow solvarmeanlæg er større end ydelsen for traditionelt opbyggede solvarmeanlæg.

Den store temperaturlagdeling i lagerbeholderen vil i perioder med rumopvarmningsbehov blive udnyttet til at overføre varme til centralvarmekredsen, således at solvarmen også vil være et supplement til rumopvarmningen.

Solvarmeanlægget er projekteret af det rådgivende ingeniørfirma Danakon a/s og målingerne er foretaget af Laboratoriet for Varmeisolering, DTU.

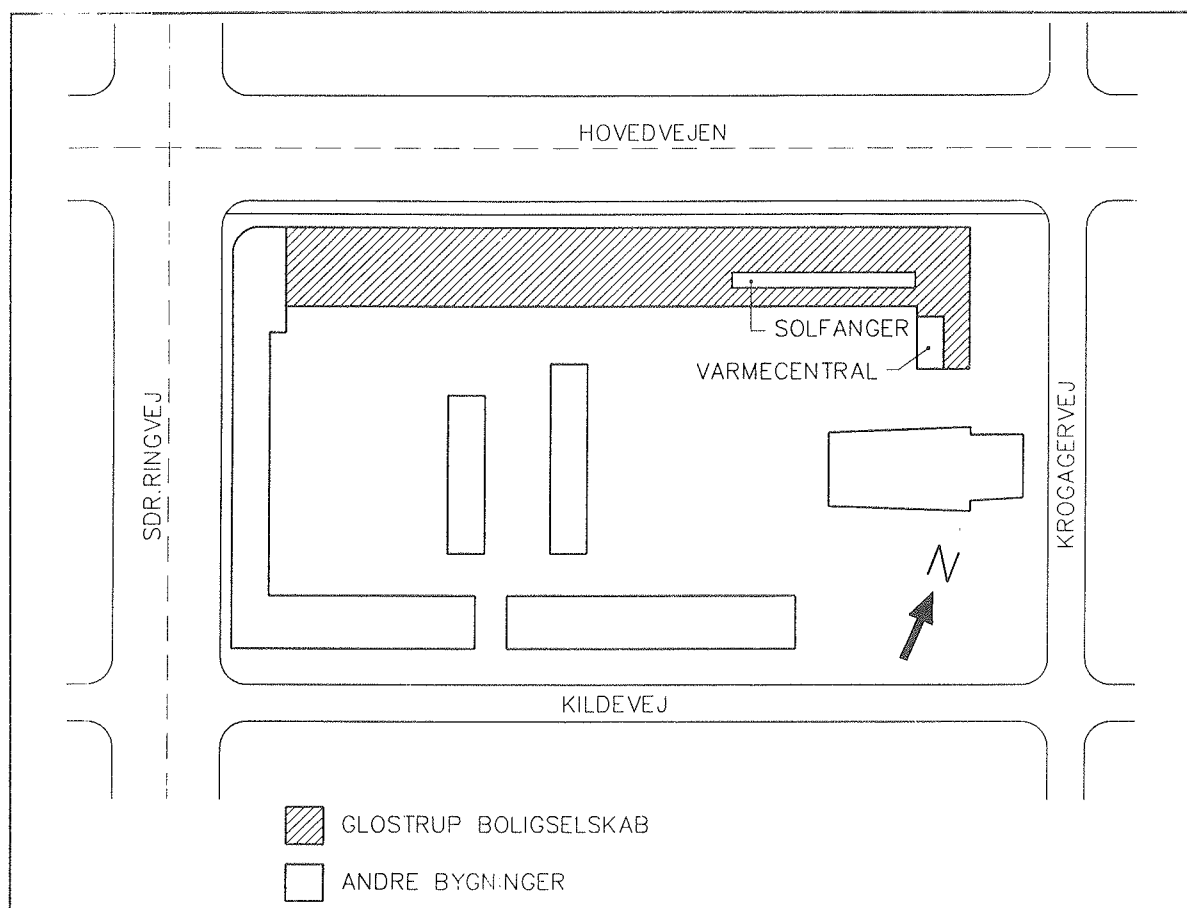
Projektet forventes at inspirere rådgivende ingeniører, arkitekter og bygherrer til at foreslå denne type solvarmeanlæg i fremtiden.

2. Solvarmeanlægget

Ved udformningen af solvarmeanlægget er der taget hensyn til bebyggelsens størrelse og udformning, anvendelsesmuligheder for solvarmen og ønsket solvarmedækningsgrad. Disse forhold skal tilgodeses således, at solvarmeanlæggets tilbagebetalingstid bliver kortest mulig.

2.1 Beskrivelse af bebyggelsen

Glostrup Boligselskab afd. 8 ligger på Hovedvejen 121 i Glostrup. Ejendommen er på fire etager og har en velegnet 45° hældende tagflade, der vender imod syd sydøst. Tagfladen er dækket med tegl og er næsten skyggefri. Situationsplanen for ejendommen er vist på figur 2.1.



Figur 2.1 Situationsplan for ejendommen Hovedvejen 121 i Glostrup. Målforhold 1:1000.

Ejendommen er bygget i vinkel (skraveret på figur 2.1) og har et totalt areal på 6800 m^2 . De 67 lejligheder i ejendommen har et totalt areal på 4600 m^2 og er fordelt som følger:

1 værelses:	20 stk.	3 værelses:	39 stk.
2 værelses:	3 stk.	4 værelses:	5 stk.

I ejendommen er der 15 mindre erhvervsmål med et totalt areal på 2200 m².

Placeringen af solfangerfeltet og varmecentralen er ligeledes vist på figur 2.1. Solfangerfeltet er placeret øverst på tagfladen og i den ende der ligger tættest på varmecentralen. Varmecentralen er placeret i kælderen, hvor varmtvandsproduktionen også foregår.

I ejendommen er der et varmtvandsforbrug på ca. 3,5 m³/døgn, svarende til ca. 170 kWh/døgn. Varmtvandsforbruget varierer over året med størst forbrug i vinterhalvåret og lavest forbrug i sommermånederne. Varmetabet fra brugsvandssystemets cirkulationsledning er ca. 20 kW, svarende til ca. 500 kWh/døgn. Det er derfor et ønske at solvarmen også dækker en del af dette varmetab.

Ejendommen opvarmes med 2 stk. 500 kW gaskedler. Centralvarmeanlægget er et etstrengsanlæg og fremløbstemperaturen styres med vejrkompensator og natsækning. I bebyggelsen lukkes der ikke for centralvarmen om sommeren.

2.2 Projektforløbet

Projektet blev påbegyndt i efteråret 1992 og er afsluttet i juni 1995. Projektet kan inddeles i følgende hovedaktiviteter:

Aktivitet	Periode
Udvælge velegnet ejendom og interesseret bygherre	Efteråret 1992
Projektering af anlæg	Foråret 1993
Licitation	Juni 1993
VVS-arbejde vedrørende solvarmelageret	April 1994
Opbygning af solfangerfelt og solfangerkreds	Maj 1994
Detaljerede målinger på solvarmeanlægget	Juli 1994 til juni 1995

Første del af projektforløbet gik med at finde en velegnet ejendom, hvor det var muligt at opføre et solvarmeanlæg med en tilfredsstillende tilbagebetalingstid. Valget faldt på Glostrup ejendommen fordi både tagbelægningen og varmtvandsbeholderen stod overfor en total renovering. Ejendommen havde desuden en tagflade med en god orientering. Prisoverslag viste, at tilbagebetalingstiden på anlægget ville være ca. 10 år for et brugsvandsanlæg og lidt længere når solvarmen også anvendes til rumopvarmning.

Den indledende projektering af anlægget blev indledt med edb-beregninger og prisoverslag således, at den optimale udformning af anlægget kunne bestemmes. Derefter foretog Dana-kon a/s en detailprojektering af solvarmeanlægget.

Arbejdet på tagrenoveringen startede i marts 1994. I april blev VVS-arbejdet vedrørende solvarmelageret udført og opbygning af solfangerfelt og solfangerkreds foregik i maj.

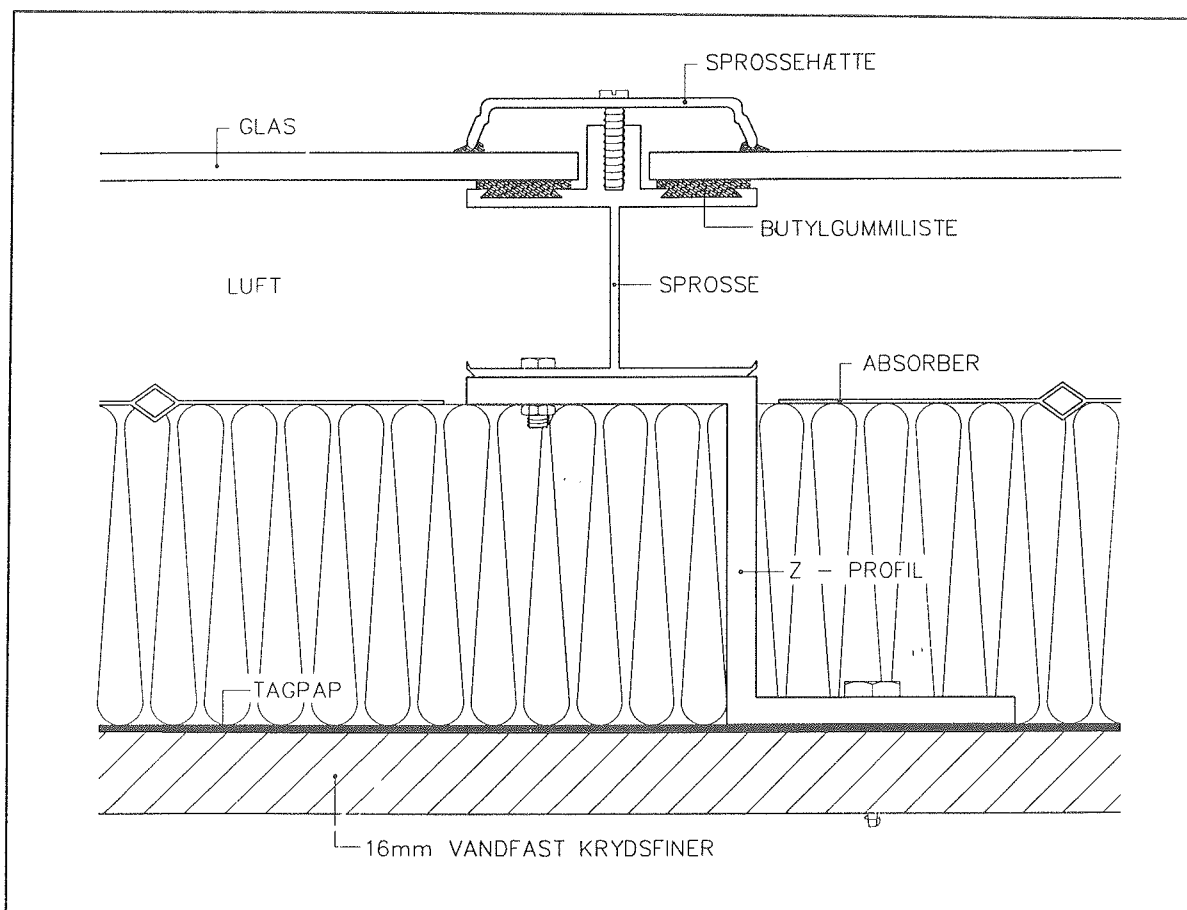
I begyndelsen af juni blev solvarmeanlægget sat i drift og 1. juli 1994 startede de detaljerede målinger, som blev udført af Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Der er foretaget detaljerede målinger i et år.

2.3 Anlægsopbygning

Solvarmeanlægget er udformet således, at solvarmen anvendes til både brugsvands- og rumopvarmning. Indledende edb-beregninger med EMGP3 /1/ viste, at den optimale udformning af solvarmeanlægget bestod af ca. 80 m² solfanger og ca. 3 m³ varmelager.

2.3.1 Solfangerfeltet

Solfangerne er leveret af solvarmefirmaet Batec A/S. Solfangerfeltet er udført som en tag-integreret løsning der både pris- og designmæssigt viste sig at være den bedste løsning. Solfangerfeltet er opbygget af 36 solfangerelementer, der er placeret ved siden af hinanden. Solfangerelementerne har en bredde på 1,10 m og en højde på 2,05 m. Det transparente areal er 2,16 m², hvilket i alt giver et transparent solfangerareal på 77,8 m². Et lodret snit mellem to solfangerelementer ses på figur 2.2.



Figur 2.2 Lodret snit i overgangen mellem to solfangerelementer.

Solfangeren er opbygget på et undertag af 16 mm vandfast krydsfiner pålagt tagpap. Mellem Sun-Strip absorberen og undertaget ligger 40 mm Rockwool. Solfangerens dæklag er 4 mm hærdet jernfrit glas. Glassene holdes sammen af en sprosse og vandtætheden opnås med en butylgummiliste.

Solfangeren på bebyggelsens tag ses på figur 2.3.



Figur 2.3 Solfangerfeltet under opbygning.

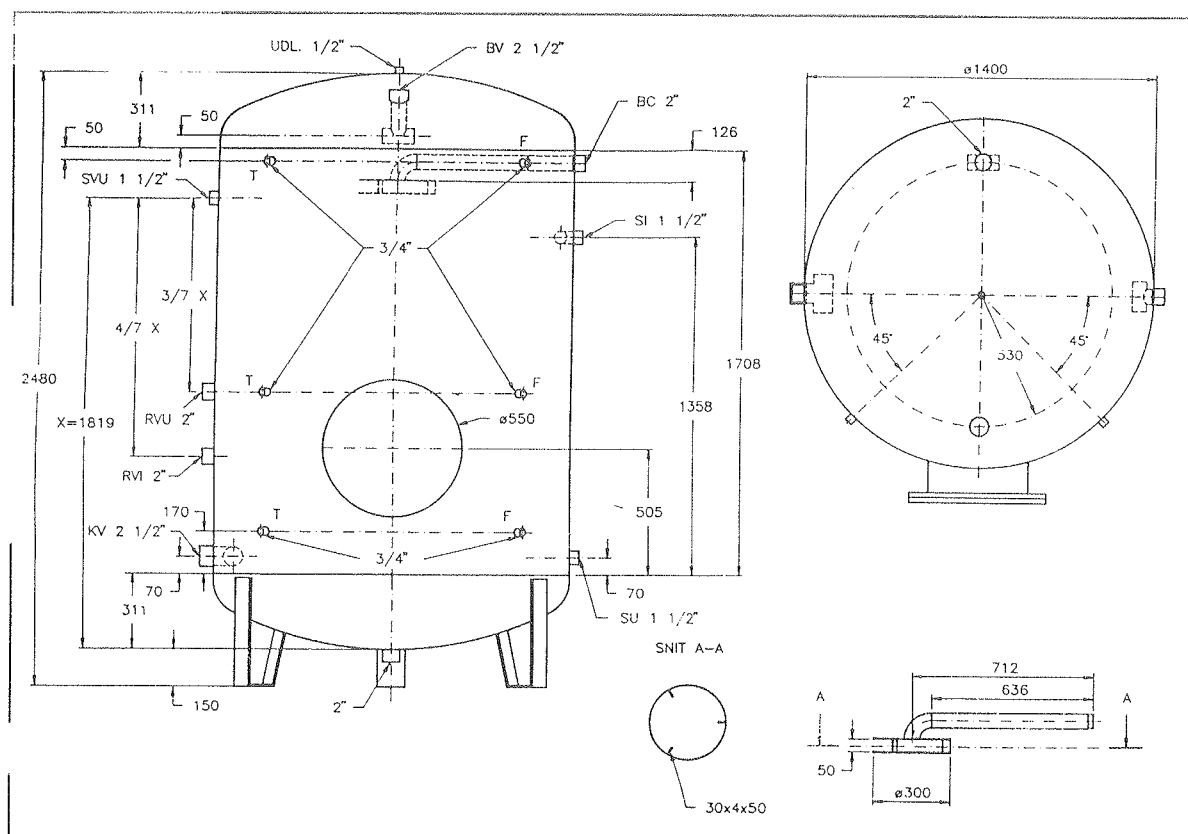
2.3.2 Varmelageret

Varmelageret er leveret af Kähler & Breum Beholder og Maskinfabrik. Lageret er en opretstående forrådsbeholder med et volumen på $3,2 \text{ m}^3$.

Lagerets volumen er fordelt på følgende måde:

Det supplerende opvarmede volumen:	$0,6 \text{ m}^3$	
Det solopvarmede volumen:	$2,2 \text{ m}^3$	(ca. 30 l/m^2 solfanger)
Slamvolumen:	$0,4 \text{ m}^3$	
I alt:	$3,2 \text{ m}^3$	

Detaljeret beholdertegning ses på figur 2.4. Stålbeholderens udvendige diameter er $1,40 \text{ m}$ og højde ekskl. ben er $2,30 \text{ m}$. Lageret er isoleret med $0,10 \text{ m}$ mineraluld.



Figur 2.4 Detaljeret beholdertegning.

I beholderen er der placeret tre følere, mærket F på figur 2.4. Nederste føler anvendes til differenstermostaten i solfangerkredsen. Den midterste føler anvendes til rumopvarmingskredsen og den øverste føler anvendes til styring af den supplerende opvarmning af den øverste del af varmelageret.

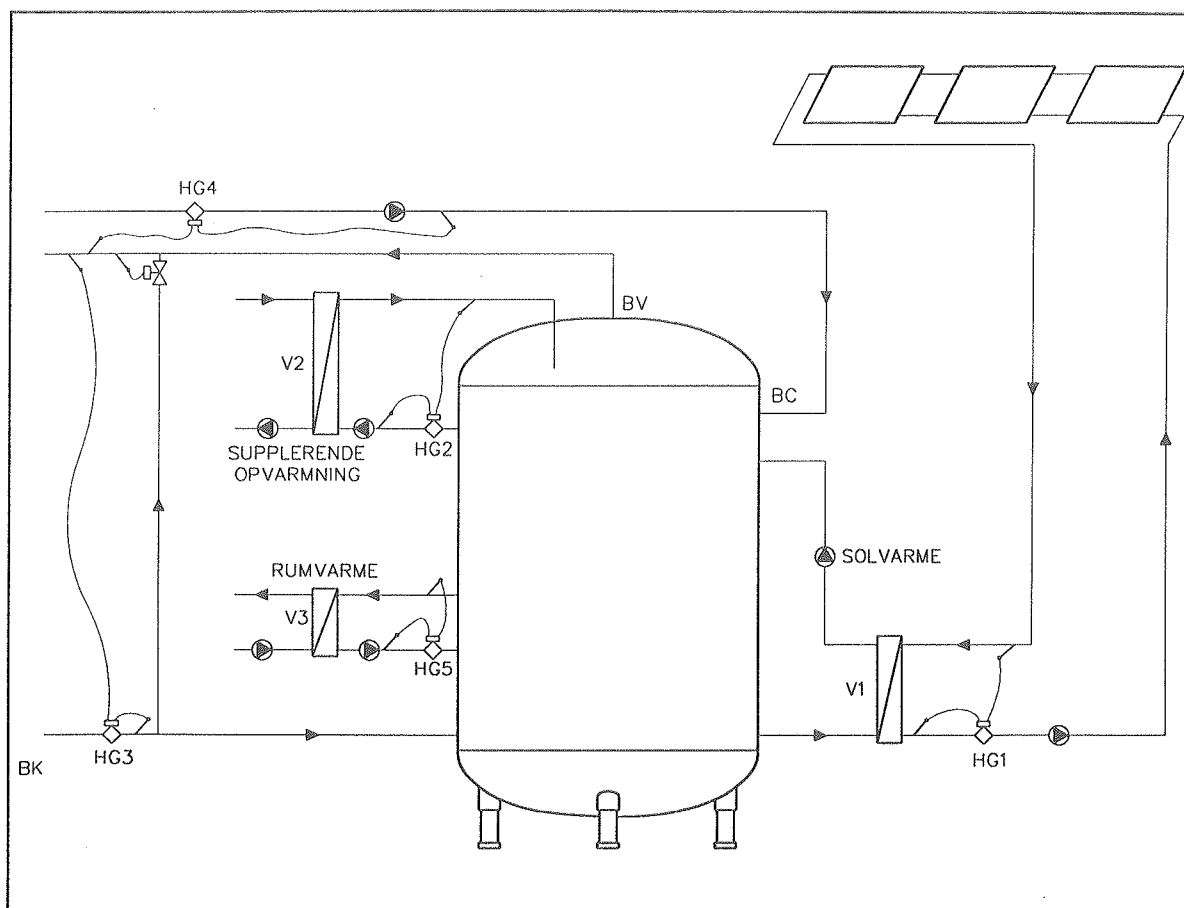
Indløbsudformningerne til lageret er udformet ud fra nyeste viden om opretholdelse af den fordelagtige temperaturlagdeling i lageret, se /2/. Indløb til lageret hvor volumenstrømmen er relativ lille udformes som direkte indløb. Ved middelstore volumenstrømme anvendes T-stykker i passende dimension og ved store volumenstrømme anvendes parallelle plader.

2.3.3 Rørsystemet

I rørsystemet mellem solfangerfeltet og varmelageret er anvendt 28 mm kobberør der er isoleret med 30 mm mineraluld. Rørlængden mellem solfangerfeltet og varmelageret er ca. 40 m og volumenstrømmen er ca. 900 l/h. Som solfangerpumpe er anvendt Grundfos UPS 25-60K og solfangervæsken er en 35 % propylenglykol/vand-blanding der er frostsikker indtil ca. -20 °C.

2.3.4 Solvarmeanlægget

Principopbygningen af solvarmeanlægget ses på figur 2.4. Varmeveksling til lageret foregår via pladevarmevekslerne V1, V2 og V3.



Figur 2.5 Principopbygning af solvarmeanlægget.

Koldt brugsvand (BK) tilføres i bunden af lageret og varmt brugsvand (BV) tappes fra toppen af lageret. Volumenstrømmen i tappekredsen varierer meget over døgnet. For at kunne imødegå selv store tapninger under spidsbelastning er koldtandsstudsens udformet som et 2½" T-stykke.

Solfangerkredsen er dimensioneret til en volumenstrøm på ca. 0,2 l/(min m²) eller ca. 900 l/h. Volumenstrømmen på brugsvandssiden af solvarmeveksleren er ca. 800 l/h. Brugsvandspumpen er type Grundfos UP 20-45 N. Differenstermostaten der styrer solfangerpumperne er Danfoss type SETD. Differensmålingen sker mellem føleren i toppen af solfangeren og nederste føler i lageret. Når temperaturdifferensen er større end ca. 8 K startes solfangerpumperne og pumperne stoppes igen når temperaturdifferensen er under ca. 4 K.

Solvarmeveksleren V1 er dimensioneret til en varmeoverføringsevne på ca. 50 W/K pr m² solfanger. Den anvendte pladevarmeveksler har en hedeflade på 2,3 m² og er isoleret med en isoleringskappe.

Den relativ lille volumenstrøm gennem lageret forårsaget af solopvarmningen medfører valg af 1½" T-stykke ved indløbet til lageret.

2 Volumenet, der opvarmes af den supplerende energikilde, er valgt relativt lille, hvilket medfører volumenstrømme gennem lageret på op til 2500 l/h. Det supplerende volumen opvarmes til ca. 52 °C. Indløbsudformningen er valgt til 2½" T-stykke, som er placeret ved beholdervæggen og leder vandet vandret ud langs beholdervæggen.

En vurdering af varmetabet fra cirkulationsledningen før installation af energimålerne viser, at der med stor sandsynlighed er tale om en betragtelig cirkulerende vandmængde i cirkulationsledningen. Cirkulationsindløbet er derfor valgt som parallelle plader, se figur 2.4.

Rumvarmekredsen er dimensioneret til en volumenstrøm på ca. 1500 l/h. Når temperaturen ved den midterste føler ud for rumvarmeveksleren er større end returtemperaturen i centralvarmekredsen starter pumperne og der overføres varme fra lageret til centralvarmekredsen. Fordi indløbet til lageret skal placeres i nærheden af mandehullet, er det vurderet at et T-stykke kan få en uheldig indflydelse på temperaturlagdelingen i lageret, hvis væskestrømmen gennem T-stykket rammer mandehullet. Derfor er indløbet valgt som 2" direkte indløb.

Der er installeret en skoldningssikring mellem koldt- og varmtvandsledningen, der skal forhindre højere varmtvandstemperaturer end ca. 65 °C. Skoldningssikringen er en Danfoss termostatventil type AVTA 25 (25-65).

Energimålerne er angivet med betegnelserne HG1 til HG5 og anvendes til aktuel volumenstrømsmåling og bestemmelse af månedlig energibalance for lageret.

2.4 Priser

Solvarmeanlægget er delt op i to hovedentrepriser.

1. Solfanger-entreprisen
2. VVS-entreprisen

Solfanger-entreprisen indeholder installering af solfangerfelt og rørsystem til varmecentralen. VVS-entreprisen i varmecentralen indeholder installering af varmelageret inkl. varmevekslere, rør og styring.

Licitationspriser ekskl. moms er som følger:

Solfanger-entreprisen: 164.000 kr.

VVS-entreprisen: 150.000 kr.

I alt: 314.000 kr.

Ingeniørhonoraret er 62.000 kr. ekskl. moms og der er opnået et tilskud fra Energistyrelsen på 108.000 kr. ekskl. moms.

Solvarmeanlæggets pris i alt er 335.000 kr. inkl. moms eller ca. 4.300 kr/m².

Bygherren har sparet et beløb til renovering af tagfladen, hvor solfangerfeltet er placeret. Desuden har bygherren sparet udgiften til en ny varmtvandsbeholder fordi den gamle stod overfor udskiftning.

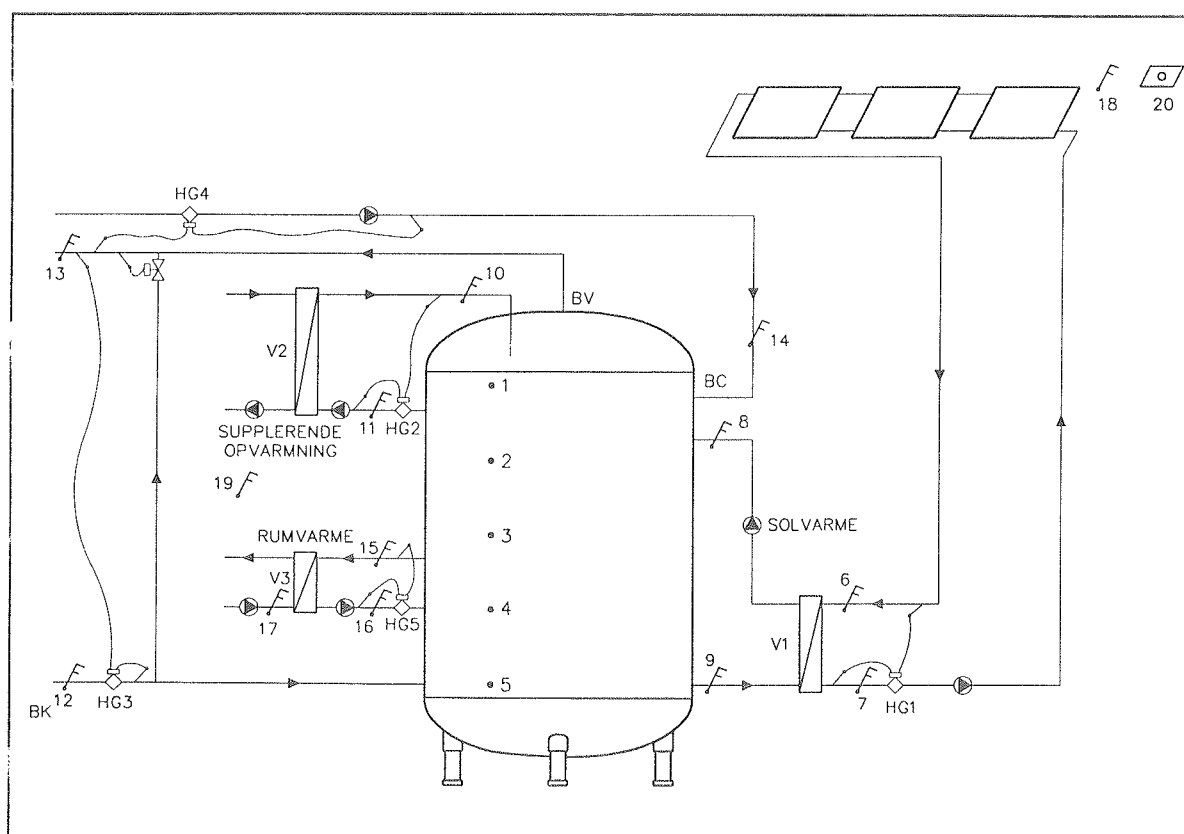
3 Måleresultater

Fra 1. juli 1994 og frem til 30. juni 1995 er der foretaget detaljerede målinger på solvarmeanlægget. På samtlige målekanaler er der målt hvert 20. sekund, og middelværdier over to minutter er gemt i PC'eren. Måleprogrammet foretager desuden middelværdiberegning på time- og døgnbasis. På nær nogle enkelte dage foreligger der detaljerede målinger for hele måleperioden.

3.1 Målesystem

Et avanceret målesystem, der styres af en PC'er, registrerer alle vigtige måledata. Måleudstyret er af fabrikat Schlumberger og består af et stk. analogkort IMP 35951 C og et stk. digitalkort IMP 35952 A. Begge kort har 20 kanaler.

På figur 3.1 er placeringen af målepunkterne og energimålerne vist. Målepunkterne 1-19 er temperaturmålinger og i målepunkt 20 måles den totale solbestrålingsstyrke på solfangerplanet.



Figur 3.1 Principopbygning af solvarmeanlæg og placering af målepunkter og energimålere.

Temperaturmålinger måles med kobber-konstantan termoelementer, type TT.

Energimålerne er af fabrikat HG INSTRUMENTER og er på figur 3.1 angivet med betegnelserne HG1 til HG5.

Energimålerne er kombinerede volumenstrøms- og energimålere og anvendes til bestemmelse af øjeblikkelige volumenstrømme i de enkelte kredse. Af økonomiske hensyn er der ikke installeret en energimåler på brugsvandssiden af solvarmeveksleren, men volumenstrømmen i denne kreds bestemmes ud fra temperaturmåling 8 og 9 samt kendskabet til overført effekt i solvarmeveksleren.

I lageret måles fem temperaturer, som på figur 3.1 er angivet fra 1 til 5. Den indbyrdes afstand mellem lagermålepunkterne er 0,40 m. Lagertemperaturerne måles gennem dyklommer i beholdervæggen. Dyklommerne går 0,1 m ind i lageret.

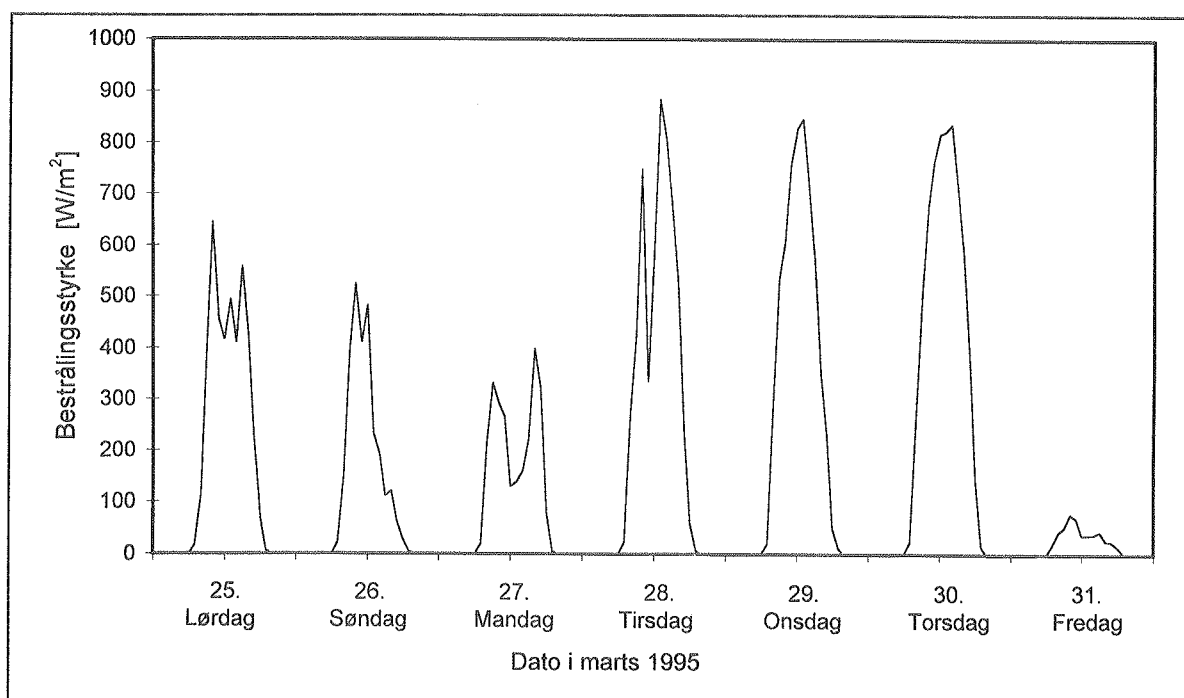
3.2 Måleresultater

I det efterfølgende vises eksempler på detaljerede målinger over korte udvalgte perioder og derefter månedsværdier for hele måleperioden. På de efterfølgende figurer refererer tallene i parentes til målepunkterne på figur 3.1.

3.2.1 Detaljerede målinger

Det er i dette afsnit forsøgt at give nogle ganske få eksempler på de detaljerede målinger. Perioden består af syv døgn fra lørdag den 25. marts 1995 til den fredag den 31. marts 1995. Perioden er udvalgt, fordi den vejræssigt er afvekslende med både dage med overskyet vejr (31. marts), vekslende skydække (25. - 28. marts) og solskin fra en næsten skyfri himmel (29. - 30. marts).

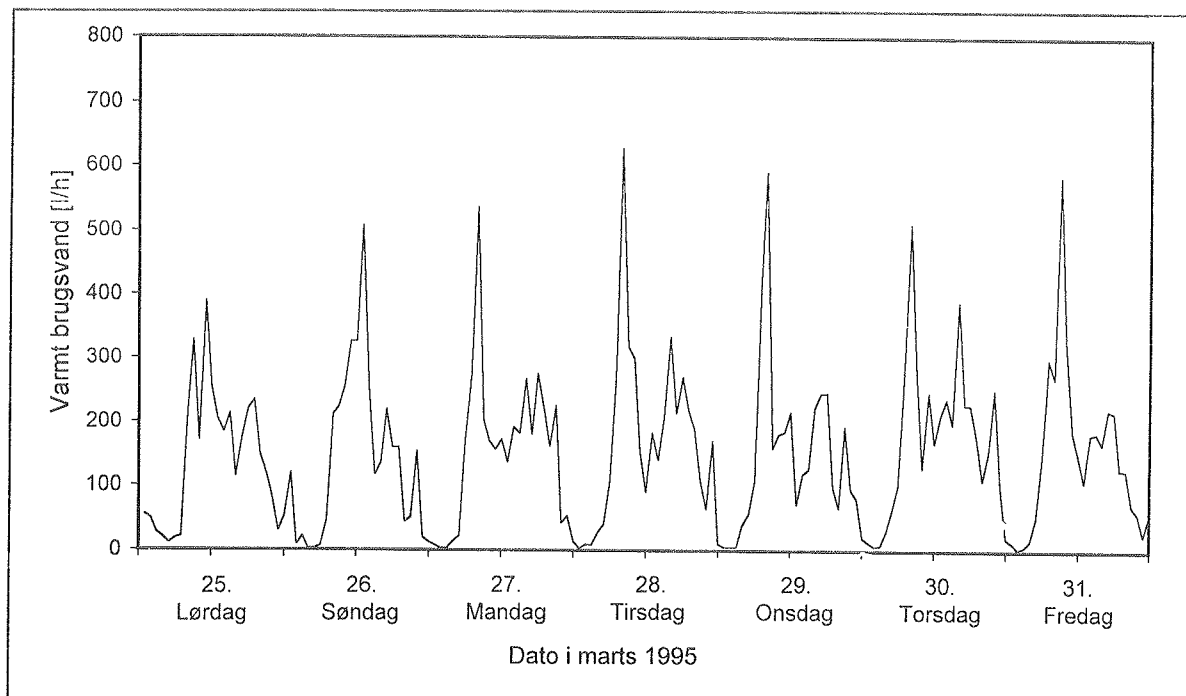
Middelværdier på timebasis af bestrålingsstyrken på solfangerplanet er vist på figur 3.2.



Figur 3.2 Målt bestrålingsstyrke på solfangerplanet fra den 25. marts til den 31. marts 1995

Bestrålingsstyrken er angivet i W/m^2 og største timeværdier forekommer den 28., 29. og 30. marts med en bestrålingsstyrke på ca. 900 W/m^2 . Den 31. marts er det helt overskyet med en bestrålingsstyrke på under 100 W/m^2 .

Varmtvandsforbruget i bebyggelsen varierer over døgnet og middel timeforbrug er vist på figur 3.3. Der er spidsbelastning om morgenen med et middel timeforbrug på ca. 600 l/h. Om natten er der næsten intet forbrug.



Figur 3.3. Varmtvandsforbrug på timebasis i perioden fra den 25. marts til den 31. marts 1995.

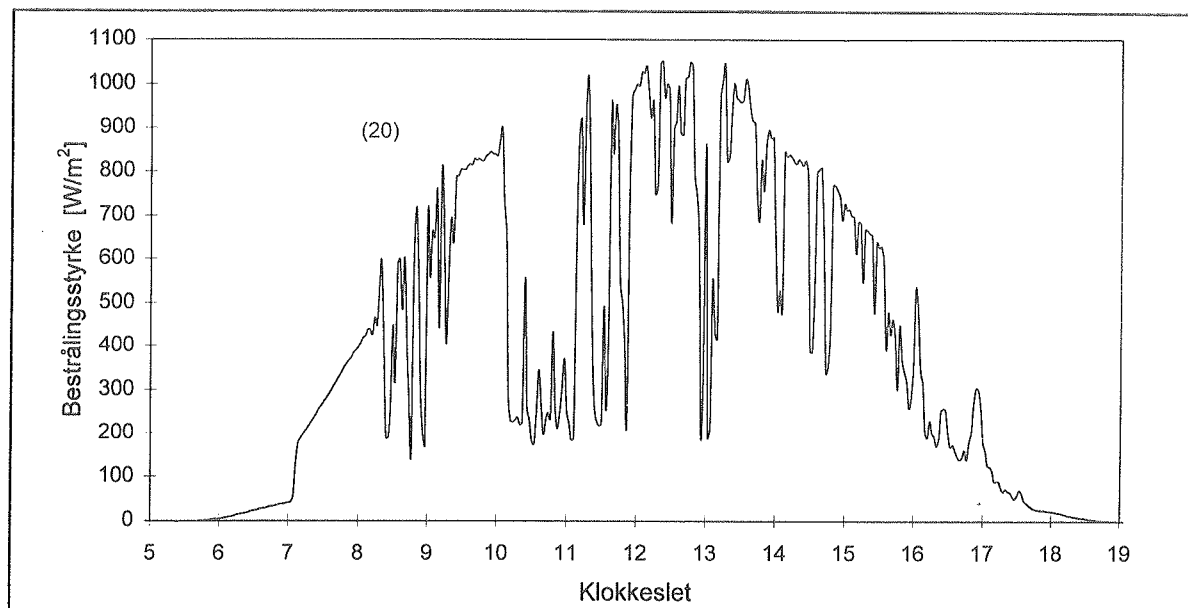
Fra den 25. marts til den 31. marts er målt følgende værdier:

	Solstråling [kWh/m ² døgn]	Udetemperatur Middel / Maks. [°C]	Varmtvandsforbrug [m ³ /døgn]
Lørdag den 25. marts	4,2	5,7 / 7,1	3,3
Søndag den 26. marts	2,7	4,9 / 7,2	3,4
Mandag den 27. marts	2,6	2,7 / 3,8	3,7
Tirsdag den 28. marts	5,6	2,2 / 5,6	4,1
Onsdag den 29. marts	5,8	3,6 / 8,1	3,6
Torsdag den 30. marts	6,6	5,6 / 11,1	4,1
Fredag den 31. marts	0,5	4,3 / 7,0	3,6
Gennemsnit	4,0	4,1	3,7

Tabel 3.1 Målte værdier for solstråling, udetemperaturer og varmtvandsforbrug.

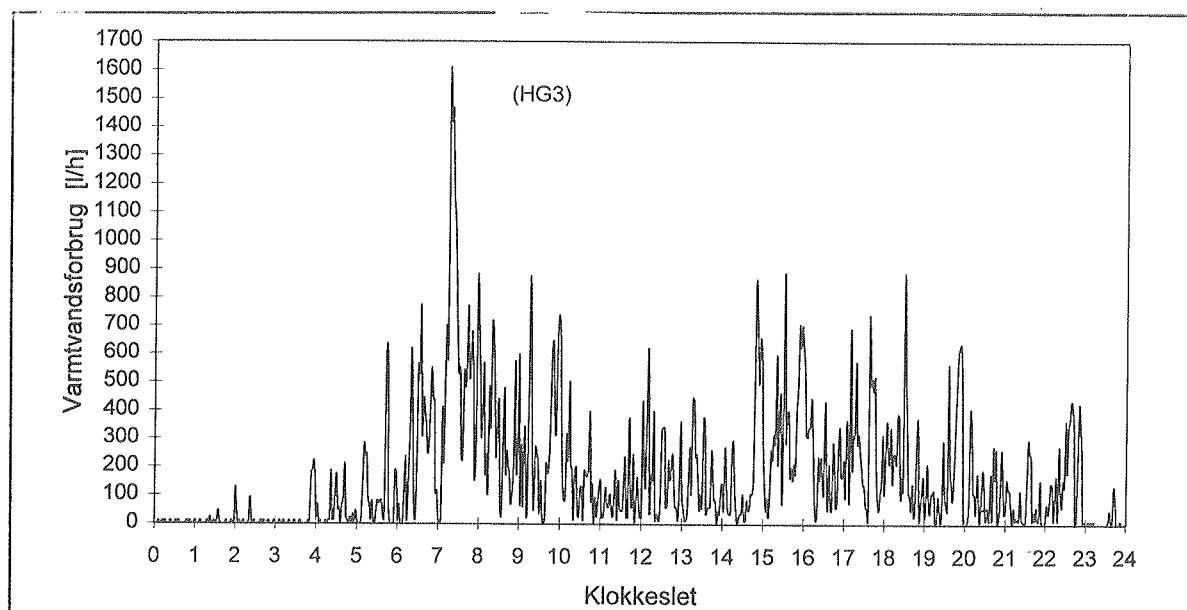
Middeltemperaturen for perioden er $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ og det gennemsnitlige varmtvandsforbrug er ca. $3,7\text{ m}^3/\text{døgn}$.

Eksempler på to minuts variationer vises for den 28. marts. På figur 3.4 og 3.5 vises hhv. solbestrålingsstyrken og varmtvandsforbruget.



Figur 3.4 Total solbestrålingsstyrke på solfangerplanet den 28. marts 1995.

Figur 3.4 viser den totale bestrålingsstyrke på solfangerplanet. Solen står op ca. kl. 6.00 og går ned ca. kl. 18.30. Midt på dagen er bestrålingsstyrken helt op til 1050 W/m^2 . Målingerne viser, at den 28. marts er solrig med få skyer, dog er perioden mellem 10.15 og 11.15 overskyet. Fra solopgang til kl. ca. 7.00 er der skygger på solfangerfeltet.

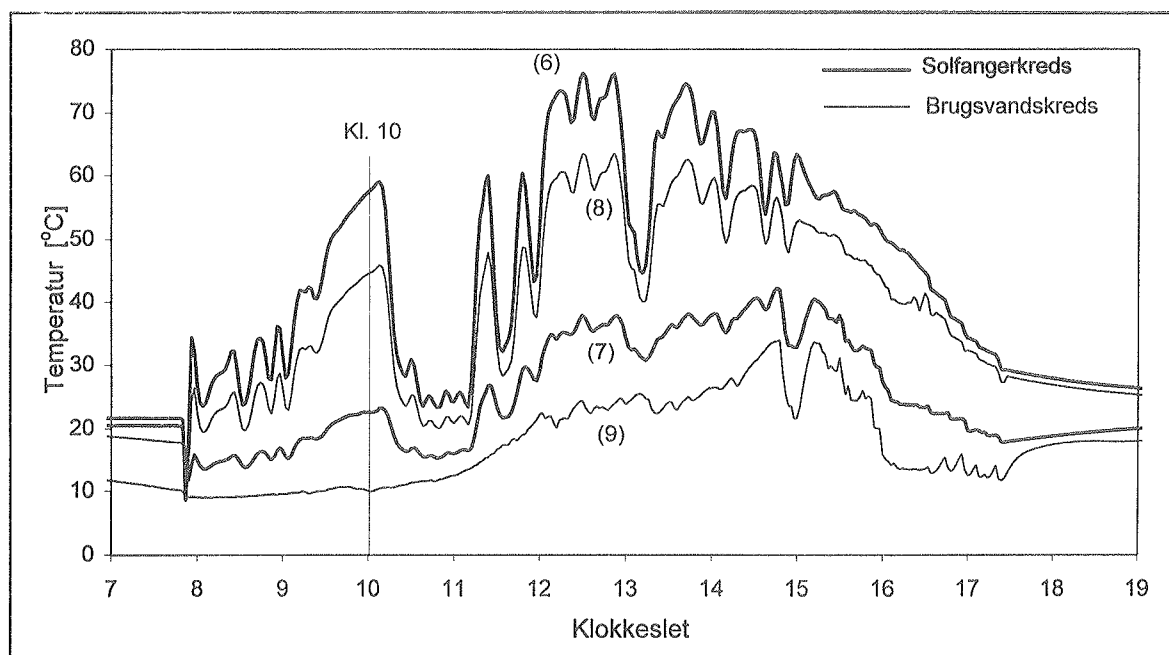


Figur 3.5 Varmtvandsforbrug den 28. marts 1995.

Variationsmønsteret for tapning af varmt brugsvand er anderledes for lørdag og søndag end for hverdage. På hverdage er der spidsbelastning tidligt om morgenen, hvorimod der lørdag og søndag er spidsbelastninger senere på dagen.

Det maksimale varmtvandsforbrug tirsdag den 28. marts forekommer ca. kl. 7.15 og er målt til ca. 1600 l/h. Mellem kl. 0 og frem til kl. 5 tappes kun ganske lidt varmt brugsvand.

Temperaturerne målt ved solvarmeveksleren er vist på figur 3.6. I de perioder solfangerkredsen er i drift, er volumenstrømmen på primær- og sekundærsiden af solvarmeveksleren hhv. ca. 850 l/h og 800 l/h. Væsken anvendt i solfangerkredsen er en 35 % propylenglykol-/vand-blanding.



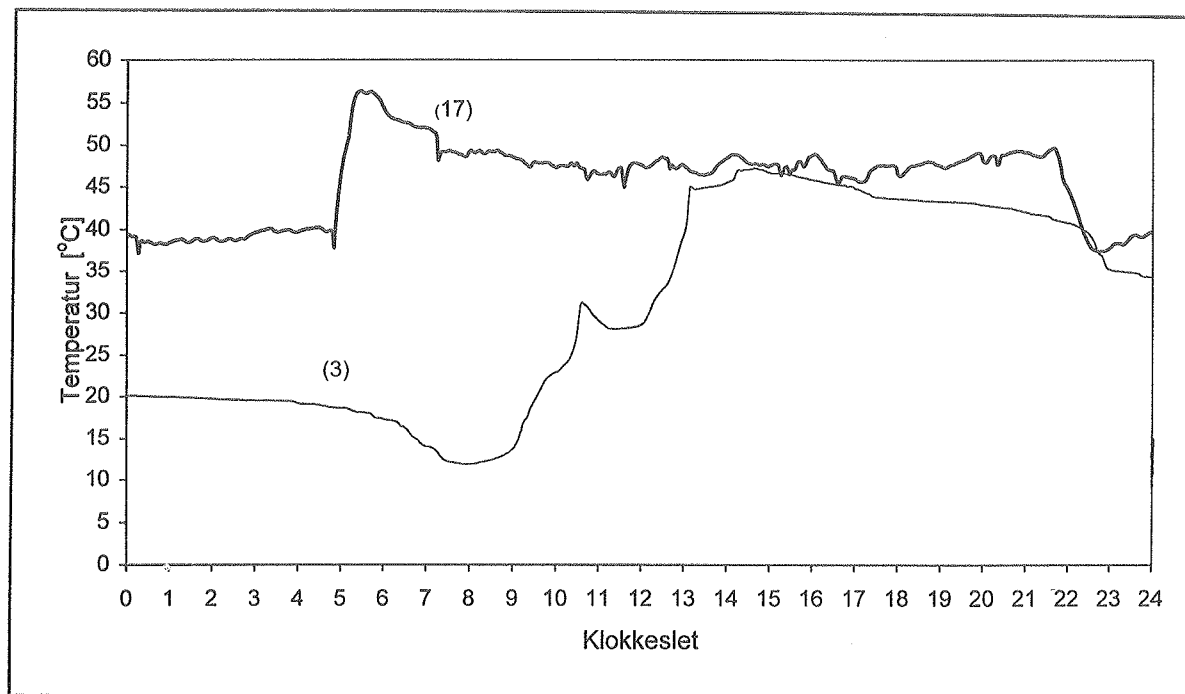
Figur 3.6 Temperaturer ved solvarmeveksleren den 28. marts 1995.

Pumpen i solfangerkredsen starter ca. kl. 8 og standser ca. kl. 17.30.

Kl. 10 opvarmes brugsvandet fra 10 °C til 44 °C, og solfangervæsken afkøles fra 57 °C til 20 °C. Dette svarer til, at varmeveksleren overfører ca. 32 kW. Varmeoverføringsevnen for solvarmeveksleren under disse driftsforhold er ca. 3000 W/K.

Temperaturerne i solfangerkredsen varierer efter bestrålingsstyrken på solfangerplanet. Højeste temperaturer i solfangerkredsen forekommer ca. kl. 12.30 med en temperatur på ca. 75 °C.

Returtemperaturen i centralvarmekredsen (17) den 28. marts varierer i løbet af døgnet som vist på figur 3.7. Der er natsænkning i bebyggelsen mellem kl. 22 og kl. 5 næste morgen. Uden for natsænkningsperioden er returtemperaturen ca. 48 °C, hvilket er en relativ høj temperatur. Lagertemperaturen i målepunkt (3) er også vist på figur 3.7. Kl. 13 når lagertemperaturen næsten op på niveau med centralvarmekredsen, men ikke nok til at kunne levere varme til centralvarmekredsen.



Figur 3.7 Målte temperaturer i centralvarmekredsen og lageret den 28. marts 1995.

Den 30. marts er den eneste dag i den udvalgte periode, hvor der leveres energi til centralvarmekredsen. Mellem kl. 12 og 17 overføres ca. 3 kW.

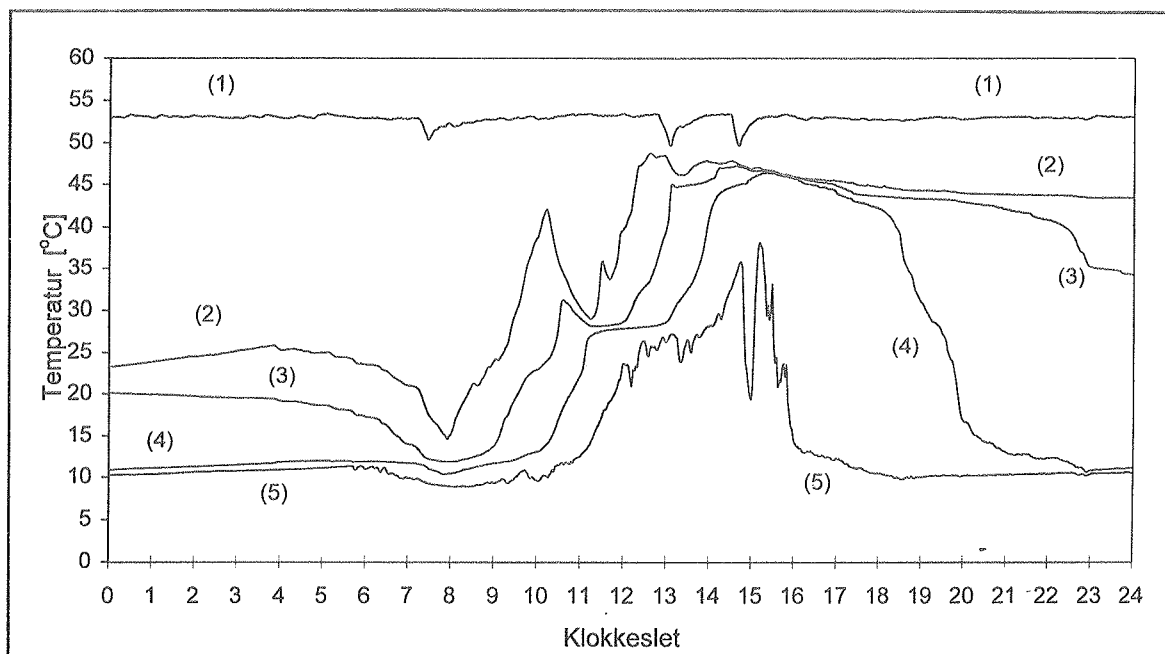
Lagertemperaturerne i de fem forskellige niveauer i lageret den 28. marts 1995 er vist på figur 3.8.

Temperaturerne målt i øverste lagermålepunkt (1) er ca. 52 °C. Indtil kl. 8 er temperaturerne (2), (3), (4) og (5) mellem 10 °C og 25 °C. Der er derfor en stor temperaturlagdeling i lageret til fordel for solvarmeanlæggets ydelse.

Kl. ca. 8 starter solfangerkredsen og temperaturerne under det supplerende opvarmede volumen begynder at stige. Ca. kl. 15 er lageret næsten varmet helt op, således at temperaturvariationen ned gennem lageret er mindre end ca. 15 K.

Volumenstrømmene i suppleringskredsen er ca. 2200 l/h og på nær to perioder af ca. 10 minutters varighed kl. ca. 13.00 og 14.30, opvarmes den øverste del af lageret hele døgnet.

Volumenstrømmen i cirkulationskredsen er målt til ca. 1900 l/h hele døgnet.



Figur 3.8 Målte lagertemperaturer den 28. marts 1995.

3.2.2 Månedsværdier

Månedsværdierne er bestemt ved aflæsning af energimålerne HG1 til HG5, se figur 3.1.

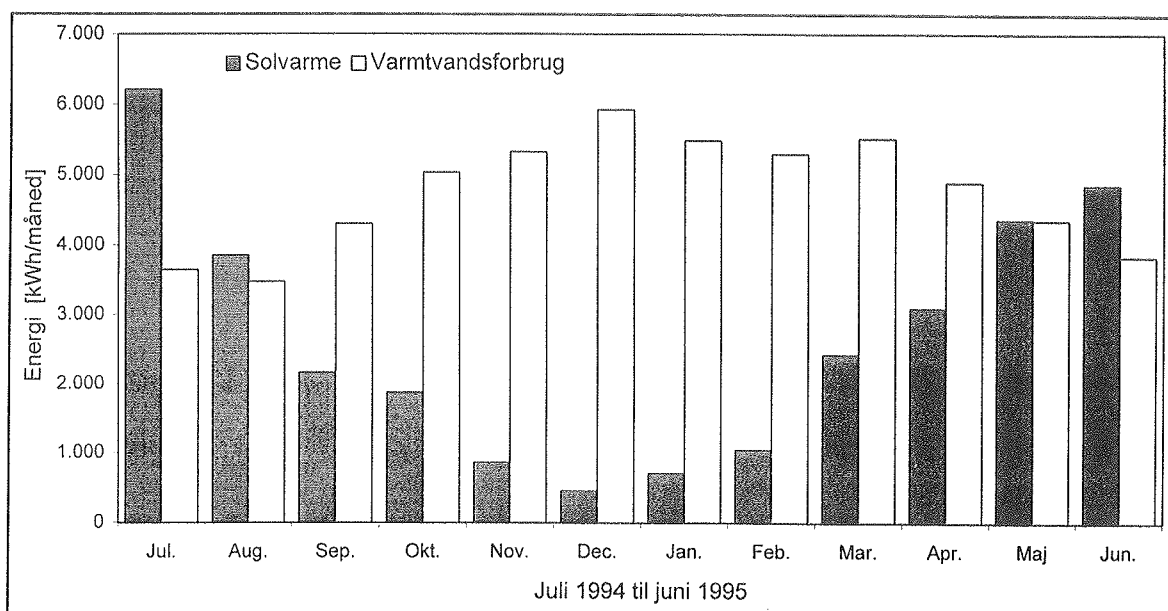
Perioden fra den 1. juli 1994 til 30. juni 1995 var kendetegnet ved samme globalstråling som et normalår. Den målte globalstråling fra Danmarks Meteorologiske Institut's målestation i Alstedgård på Sjælland, sammenlignet med normalåret ses i tabel 3.1.

Måned	Målt globalstråling DMI [kWh/m ²]	Globalstråling relativ til normalår [%]
Juli 1994 - juni 1995		
juli 94	220	125
august 94	132	98
september 94	67	81
oktober 94	50	115
november 94	20	101
december 94	10	86
januar 95	17	138
februar 95	28	84
marts 95	67	115
april 95	111	94
maj 95	169	109
juni 95	155	84
totalt	1030	101

Tabel 3.1 Globalstråling i forhold til normalåret

Specielt juli 94 og januar 95 var kendetegnet ved større globalstråling end normalåret, hvorimod september 94, februar 95 og juni 95 var en del mindre solrig end normalåret.

Målte månedsværdier for solenergi tilført lager (HG1) og varmtvandsforbrug (HG3) ses på figur 3.9. I hver måned er vist to søjler, hvor venstre søjle viser solenergi og højre søjle viser energiforbruget til varmt brugsvand. Højden af søjlerne repræsenterer energimængden, som aflæses på den venstre lodrette akse.



Figur 3.9 Målte månedsværdier for solenergi og varmtvandsforbrug.

I juli måned ydede solvarmeanlægget 6,2 MWh, og varmtvandsforbruget er aflæst til 3,6 MWh, hvilket svarer til 87 m³ varmt vand.

I både juli 94, august 94 og juni 95 er der tilført mere solenergi til lageret, end der er anvendt til varmt brugsvand. Den resterende solenergi er bl.a. anvendt til at dække en del af cirkulationsledningstab.

Den laveste solvarmeydelse er i december, hvor ydelsen er nede på 0,45 MWh. Energiforbruget til varmt brugsvand er relativt lavt i sommerferieperioden juli og august, men stiger derefter, og i julemåneden december er energiforbruget til varmt brugsvand oppe på 5,9 MWh. Koldt vandstemperaturen varierer mellem ca. 14 °C i sommerperioden til ca. 10 °C i vinterperioden. Den resterende stigning skyldes et større varmtvandsforbrug.

Variationen i varmtvandsforbruget er ikke til fordel for solvarmeanlæggets ydelse, fordi perioder af året med de største varmtvandsforbrug ligger i perioden med mindst solindfald.

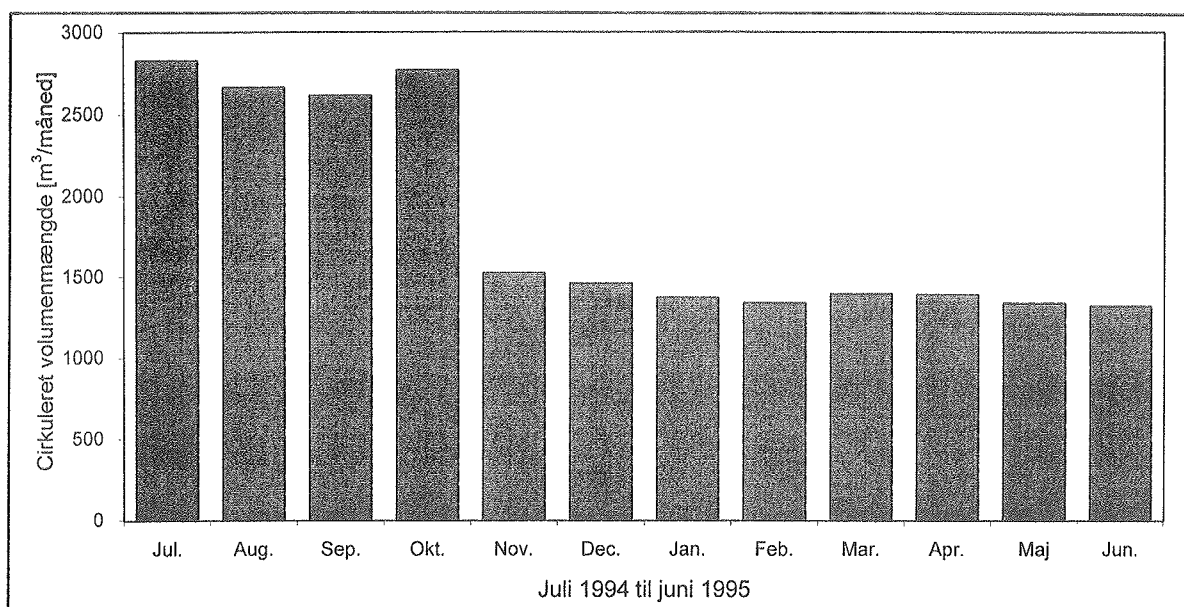
Solvarmeanlæggets dækningsgrad defineres som forholdet mellem tilført solenergi til lageret og varmtvandsforbruget.

Måned	Solvarmeydelse [MWh]	Solvarmeydelse [kWh/m ²]	Varmt brugsvand [MWh]	Dækningsgrad [-]
juli 94	6,2	80	3,6	1,70
august 94	3,9	49	3,5	1,10
september 94	2,2	28	4,3	0,50
oktober 94	1,9	24	5,0	0,37
november 94	0,9	11	5,3	0,16
december 94	0,5	6	5,2	0,08
januar 95	0,7	9	5,5	0,13
februar 95	1,0	13	5,3	0,20
marts 95	2,4	31	5,5	0,44
april 95	3,1	40	4,9	0,63
maj 95	4,4	56	4,4	1,00
juni 95	4,9	62	3,8	1,30
Total	32	410	57	0,56

Tabel 3.2 Målte solvarmeydelser, varmtvandsforbrug og dækningsgrader for solvarmeanlægget i Glostrup.

Tabel 3.2 viser målte solvarmeydelser, varmtvandsforbrug og dækningsgrader for solvarmeanlægget. Solvarmeanlægget har i løbet af den etårige måleperiode ydet 32.000 kWh, hvilket svarer til 410 kWh/m². I f.eks. september er dækningsgraden 0,50. I perioden som helhed er den totale dækningsgrad målt til 0,56.

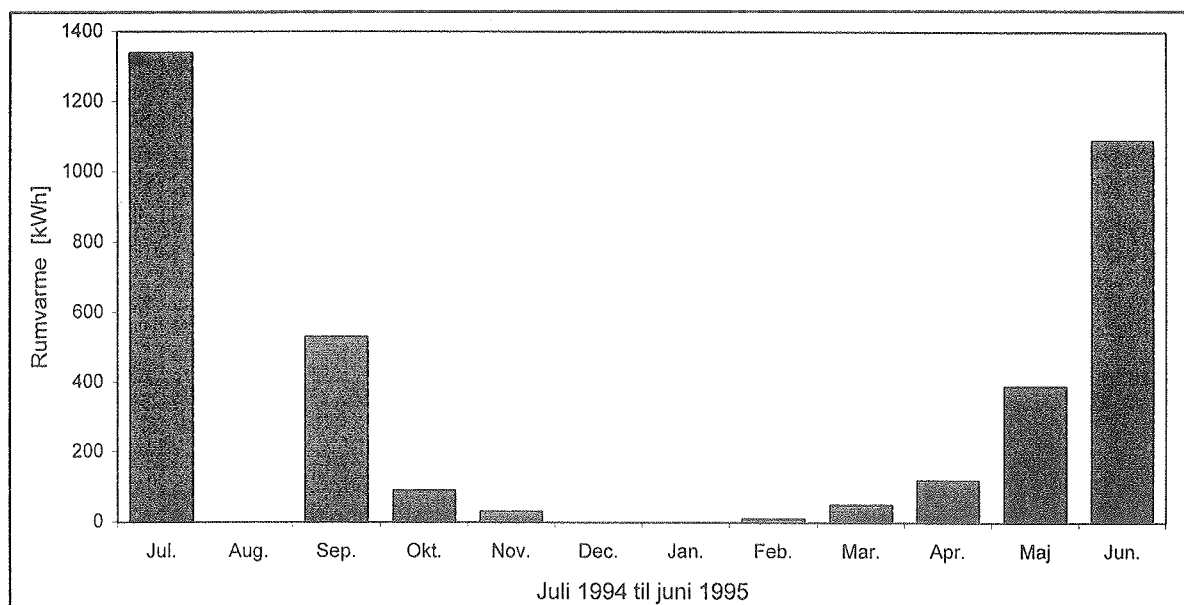
Cirkulationstabet er stort og andrager ca. 14 MWh/måned. Første uge af november blev der installeret Circon ventiler i brugsvandssystemet, der regulerer volumenstrømmen i cirkulationsledningen således, at returtemperaturen bliver ca. 45 °C. Indsættelsen af disse temperaturbegrænsende ventiler nedsatte den månedlige cirkulerende vandmængde i cirkulationsledningen fra ca. 2700 m³/måned. til ca. 1500 m³/måned, en nedsættelse på ca. 45 %. Figur 3.10 viser den månedlige fordeling.



Figur 3.10 Månedelig cirkulerende vandmængde i cirkulationsledningen.

Nedsættelsen af varmetabet fra cirkulationsledningen forårsaget af circon-ventilerne er vanskelig at bestemme, bl.a. fordi cirkulationsledningens omgivelsestemperatur varierer over året. Et forsigtigt skøn er en nedsættelse af varmetabet med ca. 5 %.

Rumopvarmningskredsen har på nær august været i drift i hele måleperioden. Foruden enkelte kælderlokaler var der et meget begrænset rumopvarmningsbehov i juli måned. I august var rumvarmekredsen sat ud af drift, fordi det var interessant med en måleperiode uden rumopvarmning. Energimængden leveret til centralvarmekredsen ses på figur 3.11.



Figur 3.11 Målt energimængde overført fra lager til rumopvarmning.

Der lukkes ikke for centralvarmekredsen om sommeren. I juli måned leverede rumopvarmningskredsen 1350 kWh til centralvarmekredsen. I juli var der kun rumopvarmningsbehov i kælderlokalerne for at undgå mulig sommerkondens. Oktober til februar leveres kun en ganske lille energimængde til rumopvarmning.

Målte årsværdier for solvarmeanlægget ses i tabel 4.3.

		Energimængde fra juli 1994 til juni 1995
Solvarme	(HG1)	32 MWh
Supplerende opvarmning	(HG2)	200 MWh
Varmt brugsvand	(HG3)	57 MWh
Cirkulationsledningstab	(HG4)	170 MWh
Rumopvarmning	(HG5)	3,7 MWh

Tabel 3.3 Målte energimængder fra juli 1994 til juni 1995.

Solvarmeanlæggets ydelse i hele perioden er målt til 32 MWh, hvilket svarer til ca. 410 kWh/m². Omkring 10 % af solenergien er anvendt til rumopvarmning. Det vurderes, at lagerets varmetab på årsbasis andrager ca. 2 MWh.

I perioden er der tappet ca. 1300 m³ varmt brugsvand eller ca. 3,5 m³/døgn, svarende til ca. 45 l/(døgn m²). Største varmtvandsforbrug foregik den 24. december med 6,1 m³.

4. Sammenligning mellem målinger og edb-beregninger

Der foretages sammenligninger mellem detaljerede målinger og beregninger for solfangerkredsen, lageret og hele anlægget. Sammenligningen skal vise om det anvendte edb-program regner rigtigt. På de efterfølgende figurer vil beregnede temperaturer vises med stiplede linier. Afslutningsvis bestemmes den beregningsmæssige årsydelse for anlægget.

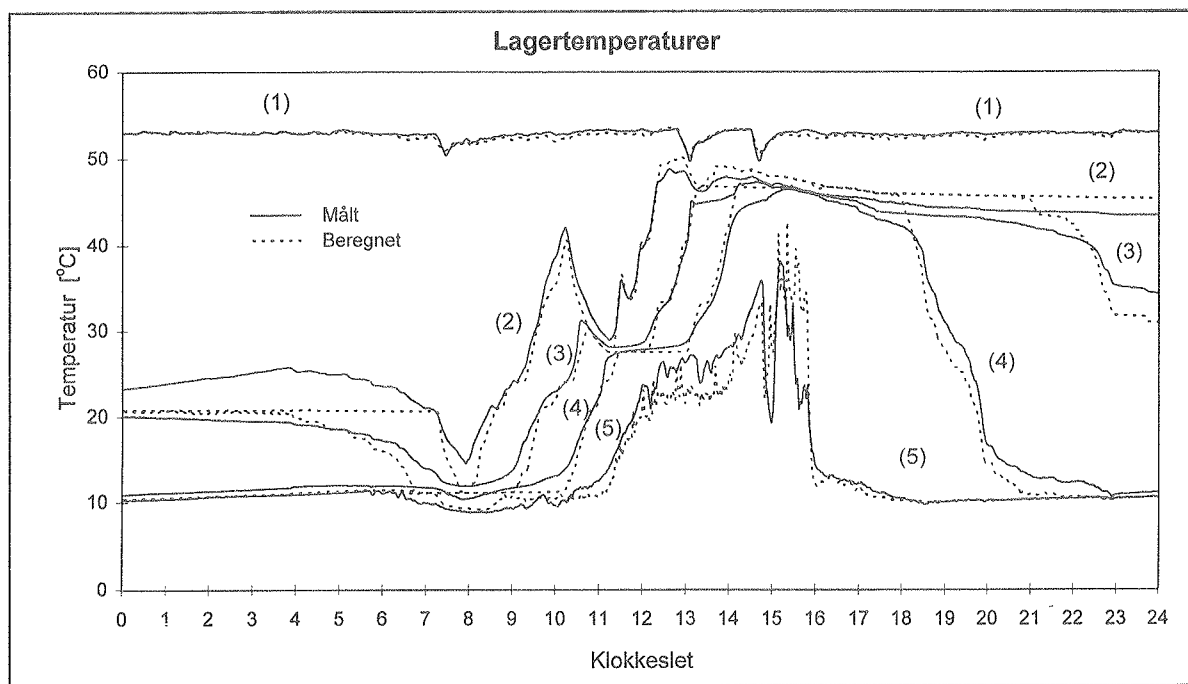
4.1 Edb-programmet

Edb-programmet er udviklet på Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Programmet simulerer de dynamiske forhold i et solvarmeanlæg bestående af solfangerfelt, varmelager og rørsystem. Beregningsprogrammet inddeler beregningsperioden i små tidsskridt. Beregningsperioden kan være fra ganske få minutter til et år og tidsskridtet er normalt ca. 10 - 60 sekunder. Som vejrdata kan enten anvendes målte værdier, som er tilfældet i Glostrup, eller TRY som er det danske referenceår der indeholder timeværdier for et helt år. En detaljeret beskrivelse af beregningsprogrammet findes i /2/.

4.2 Sammenligning for lageret

Sammenligningen foretages ved, at beregningsmodellen for lageret udsættes for målte indløbstemperaturer og volumenstrømme, hvorefter den beregnede temperaturfordeling i lageret sammenlignes med målingerne.

Sammenligningen er bl.a. foretaget for perioden 25. - 31. marts 1995 og den 28. marts er udvalgt som en repræsentativ dag og vises på figur 4.1.



Figur 4.1 Målte og beregnede lagertemperaturer for den 28. marts 1995.

Målte og beregnede lagertemperaturer viser god overensstemmelse, specielt når det tages i betragtning, at lageret udsættes for beregningsmæssige vanskelige driftsbetingelser med varierende indløbstemperaturer og volumenstrømme. Andre udvalgte dage viser også god overensstemmelse.

Målte og beregnede energimængder for den 28. marts samt afvigelser ses i tabel 4.1. Der er målt en energimængde i solkredsen på 176 kWh og den beregnede værdi er 174 kWh. Afvigelsen mellem de øvrige energimængder ligger under 4 % og må betragtes som værende rimelig lille.

	Målt	Beregnet	Afvigelse
Solopvarmningskreds	176 kWh	174 kWh	-1 %
Suppleringskreds	595 kWh	570 kWh	-4 %
Tappekreds	210 kWh	205 kWh	-2 %
Cirkulationskreds	495 kWh	475 kWh	-3 %

Tabel 4.1 Målte og beregnede energimængder for lageret den 28. marts 1995.

Målte og beregnede energimængder for perioden fra den 25. marts til den 31. marts samt afvigelser ses i tabel 4.2. Afvigelserne i solkredsen er ca. 1 %, og de øvrige afvigelser er under 5 %.

	Målt	Beregnet	Afvigelse
Solopvarmningskreds	860 kWh	870 kWh	+ 1 %
Suppleringskreds	4200 kWh	4040 kWh	+ 4 %
Tappekreds	1650 kWh	1640 kWh	- 1 %
Cirkulationskreds	3460 kWh	3310 kWh	- 4 %
Rumvarmekreds	15,2 kWh	16,0 kWh	+ 5 %

Tabel 4.2 Målte og beregnede energimængder for perioden fra den 25. til den 31. marts 1995.

Beregningerne for lageret viser generelt god overensstemmelse med målingerne.

4.3 Sammenligning for solfangerkredsen

Sammenligningen foretages ved, at beregningsmodellen for solfangeren udsættes for målte indløbstemperaturer, volumenstrømme og vejrdato, hvorefter den beregnede udløbstemperatur og energimængde sammenlignes med målingerne.

Faktorerne i solfangerens effektivitetsligning bestemmes normalt ud fra målinger. Den anvendte tagintegrerede solfanger er ikke afprøvet, så faktorerne vurderes til at give bedre effektiviteter end Batec's almindelige solfangermodul på ca. 2 m², se /3/. Varmetabskoefficienten k_0 vurderes til være ca. 20 % lavere end Batec's almindelige solfangermodul, fordi kanttabet er mindre for den tagintegrerede solfanger i Glostrup og fordi vindhastigheden i måleperioden har været meget lille. Korrektionsfaktoren for vindhastigheden er beregnet ud fra formler i /4/.

Nedenstående ligning angiver effektivitetsligningen for en solfanger.

$$\eta = \eta_0 - k_0 \frac{T_m - T_{\text{omg}}}{E} - k_1 \frac{(T_m - T_{\text{omg}})^2}{E}$$

hvor

η : Solfangerens effektivitet [-].

η_0 : Solfangerens starteffektivitet [-]. Valgt til 0,78, fra /3/.

k_0 : Varmetabskoefficienten [W/(K m²)]. Bestemt til 4,0 W/(K m²) hvorimod den er 5,0 for Batec's almindelige solfangermodul ved 5 m/s, se /3/.

k_1 : Varmetabskoefficientens temperaturkoefficient [W/(K² m²)].
Valgt til 0,017 W/(K² m²), fra /3/ .

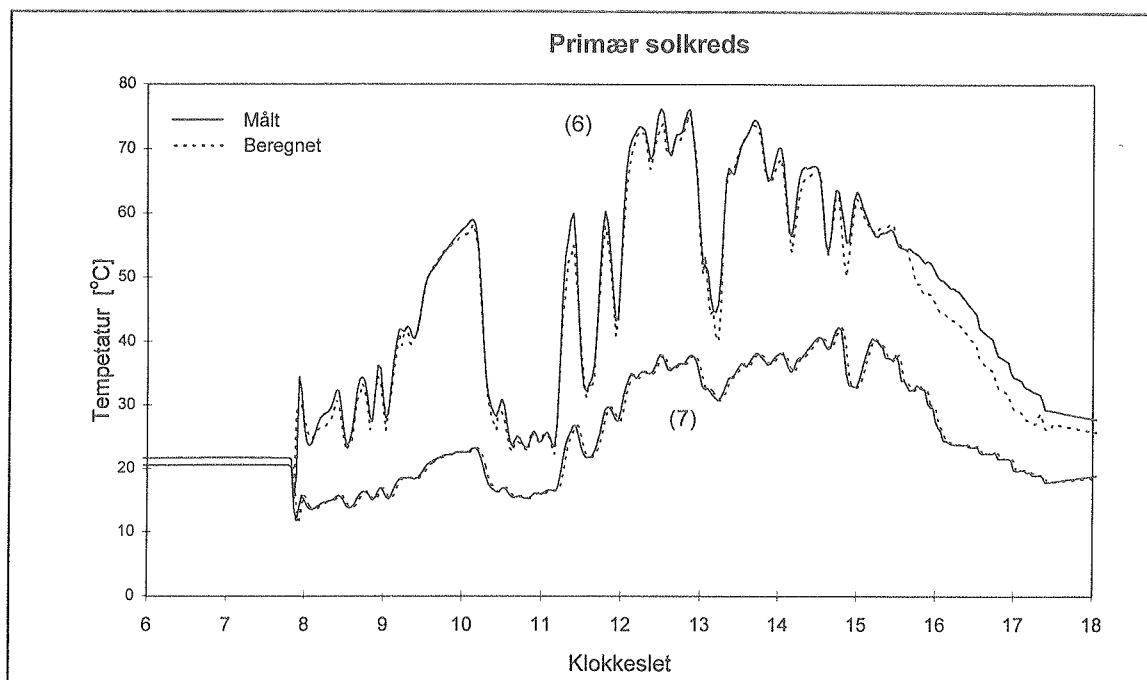
T_m : Middeltemperaturen af solfangervæsken [°C]

T_{omg} : Lufttemperaturen [°C]. Målt i Glostrup.

E : Solbestrålingsstyrken på solfangerplanet [W/m²]. Målt på taget i Glostrup.

Solbestrålingsstyrken E kendes kun som den totale værdi. Den diffuse solbestrålingsstyrke måles ikke, men vurderes til at være i størrelsesordenen 100 W/m². Ved sammenligningen påtvinges solfangermodellen den målte temperatur (7) og volumenstrøm og beregningsmodellen beregner temperaturen (6), som sammenlignes med målingerne.

Sammenligningen er bl.a. foretaget for perioden 25. - 31. marts 1995 og den 28. marts er udvalgt som en repræsentativ dag og vises på figur 4.2.



Figur 4.2 Sammenligning mellem målte og beregnede temperaturer i solfangerkredsen den 28. marts 1995.

Temperaturen (6) ved indløb til solvarmeveksleren udviser en god overenstemmelse mellem målingerne og beregningerne.

Målte og beregnede energimængder for den 28. marts ses i tabel 4.3.

	Målt	Beregnet	Afvigelse
Solopvarmningskreds	176 kWh	169 kWh	-4 %

Tabel 4.3 Målte og beregnede energimængder for solfangerkredsen den 28. marts 1995.

Mellem de målte og beregnede energimængder er der en afvigelse på ca. 4 %.

Målte og beregnede værdier for perioden mellem den 25. marts og den 31. marts 1995 ses i tabel 4.4.

	Målt	Beregnet	Afvigelse
Solopvarmningskreds	860 kWh	875 kWh	2 %

Tabel 4.4 Målte og beregnede energimængder i solfangerkredsen for perioden fra den 25. til den 31. marts 1995.

Afvigelsen mellem målte og beregnede værdier for perioden mellem den 25. marts og den 31. marts 1995 er mindre end 2 %. Det kan derfor konkluderes at solfangermodellen regner præcist under forudsætning af at faktorerne i solfangernes effektivitetsligning er korrekte.

4.4 Sammenligning for anlæg

Der er foretaget en sammenligning mellem målinger og beregninger for hele anlægget. Der er fundet en yderst tilfredsstillende overensstemmelse mellem målinger og beregninger for perioden fra den 25. marts til den 31. marts 1995. De enkelte dage er afvigelsen på solfangerydelsen højst 5 % og for perioden som helhed under 2 %.

På basis af de gennemførte sammenligninger kan det derfor konkluderes, at beregningsprogrammet kan beregne anlæggets ydelse med god nøjagtighed.

4.5 Beregning af årsydelsen

Edb-beregninger med vejrdata fra referenceåret TRY viser, at solvarmeanlæggets årsydelse vil være ca. 500 kWh/m² uden driftsproblemer.

Circon ventilernes indflydelse på solvarmeanlæggets årsydelse er lille. Circon ventilerne nedsætter volumenstrømmen og returtemperaturen i cirkulationsledningen.

Nedsættelse af volumenstrømmen vil normalt medføre mindre opblanding i lageret og dermed større solvarmeydelse. Forholdene med solvarmeanlægget i Glostrup er anderledes. Volumenstrømmen forårsager ikke en mærkbar forbedring af temperaturlagdelingen i lageret, fordi der allerede er valgt rigtige indløbsudformninger.

Nedsættelse af returtemperaturen i cirkulationsledningen medfører lavere temperatur i lageret omkring cirkulationsindløbet. Edb-beregninger viser, at ved en nedsættelse af returtemperaturen fra 50 °C til 45 °C forbedres årsydelse for anlægget kun med ca. 2 %. Der er i denne beregning ikke taget højde for de ydelsesmæssige fordele ved en evt. formindsket opblanding i lageret.

Der er udført supplerende beregninger, hvor anlægget er opbygget som et traditionelt solvarmeanlæg. Ændringer i forhold til nuværende anlægsopbygning er en forøgelse af volumenstrømmen i solfangerkredsen og brugsvandskredsen til 1,0 l/min m² og solopvarmningen af lageret foregår i den nederste del af lageret.

Beregningerne viser, at årsydelsen for den nuværende anlægsopbygning, udført efter low flow princippet, er ca. 5 % højere end hvis solvarmeanlægget havde været opbygget som et traditionelt solvarmeanlæg.

5. Driftserfaringer og anlæggets rentabilitet

Ud fra målingerne beskrives drifterfaringerne med anlægget og der foretages en vurdering af anlæggets rentabilitet.

5.1 Driftserfaringer

Som helhed har solvarmeanlægget fungeret tilfredsstillende.

Brugsvandspumpen i solkredsen har dog ikke kunnet klare de driftsbetingelser, den er blevet udsat for. Placeringen af brugsvandspumpen på den varme side i solkredsen medfører relativt høje og varierende temperaturer. Det er ikke ualmindeligt med temperaturer varierende fra ca. 20 °C om morgenen til ca. 70 °C i perioder med størst bestrålingsstyrke.

Ved højere temperaturer end ca. 55 °C udfældes store mængder kalk som dermed tilkalker pumpen og pumpens kapacitet nedsættes. Når pumpekapaciteten formindskes nedsættes volumenstrømmen og til sidst stoppes væskecirkulationen helt. Temperaturerne i solfangerkredsen stiger og til sidst sker der kogning i solfangerne.

I august 1994 faldt pumpens kapacitet fra 100 % ydelse til 0 % ydelse på ca. 3 uger. Dette medførte forhøjede temperaturer i solfangerkredsen og sidst i perioden skete der kogning i solfangerne. Efter kogning i solfangerne skal der efterfyldes med væske. Når væsken har været i kog to gange anbefaler solfangerfabrikanten en kontrol af væsken og evt. udskiftning af væsken p.g.a. mulig klumpedannelse.

De høje temperaturer viste sig at have forårsaget tilkalkning af solvarmeveksleren med en væsentligt forringet varmeoverføringsevne til følge. Varmeveksleren blev derfor rensat for kalk.

Pumpen blev udskiftet med en ny af tilsvarende type.

I april 1995 faldt pumpens kapacitet fra 100 % ydelse til 0 % ydelse igen på ca. 3 uger. Det lykkedes dog at skifte pumpen før der skete kogning i solfangerne.

I maj 1995 viste målingerne at pumpen igen var ved at tilkalke og efter samtale med Grundfos blev det besluttet, at udskifte pumpen med en tørløber. Det vurderes, at problemet med tilkalkning nu er et overstået kapitel.

Solfangerfeltet har fungeret yderst tilfredsstillende.

Lagerudformningen har også vist sig at være udformet korrekt og temperaturlagdelingen i lageret er yderst tilfredsstillende.

Rumopvarmningsdelen virker tilfredsstillende, men der overføres ikke så store energimængder til centralvarmekredsen. Dette skyldes de relativt høje returtemperaturer i centralvarmekredsen, der normalt ligger mellem 40 og 50 °C. Under disse forhold er det vanskeligt at overføre energi fra lageret til centralvarmekredsen.

Skoldningssikringen har ikke været i funktion, fordi lagertemperaturen ikke har været over 60 °C.

Uden de nævnte driftproblemer viser edb-beregninger, at solvarmeanlægget vil yde ca. 500 kWh/m² pr. år.

5.2 Anlæggets rentabilitet

Fra Energistyrelsen er der modtaget et tilskud på 135.000 kr. inkl. moms. Solvarmeanlæggets ydelse sammenholdt med solvarmeanlæggets pris viser en tilbagebetalingstid på ca. 15 år. Det skal dog bemærkes at bygherren i solvarmeanlæggets pris har fået en ny varmtvandsbeholder og dermed sparet udgiften til udskiftning af den eksisterende varmtvandsbeholder. Bygherren har desuden sparet et beløb til renovering af tagfladen, hvor solfanterfeltet er placeret.

5.3 Forbedringsforslag til anlægsopbygning

Idet solvarmeanlægget har fungeret tilfredsstillende er der kun ganske få forbedringsforslag.

Brugsvandpumpe på brugsvandssiden af solvarmeveksleren bør placeres således at kulkulfældninger minimeres. Dette kan bl.a. gøres ved at placere pumpen, hvor brugsvandstemperaturene ikke overstiger 55 °C. *hvor solvarmeanlægget er placeret*

Ved en sænkning af returtemperaturen i centralvarmekredsen vil der være mulighed for en forøget anvendelse af solenergien til rumopvarmning. I øjeblikket er det ikke ualmindeligt at returtemperaturen er ca. 45 °C i vintermånederne - en temperatur som sjældnet opnås i lageret under vinterforhold.

En forbedring som allerede er udført, er installering af Circon ventiler i brugsvandssystemet. Circon ventilerne nedsætter den cirkulerende vandmængde og returtemperaturen i cirkulationsledningen. Varmetabet fra cirkulationsledningen nedsættes og solvarmeanlæggets ydelse forøges.

6. Konklusion

I foråret 1994 blev der installeret et 78 m^2 stort solvarmeanlæg hos Glostrup Boligselskab. Solvarmeanlægget leverer primært varmt brugsvand og sekundært rumopvarmning til de 67 lejligheder og 15 mindre erhvervsmål i ejendommen.

Solvarmeanlægget er opbygget efter low flow princippet, hvor væsken i solfangerkredsen cirkulerer med en volumenstrøm på ca. $0,2 \text{ l/min. pr. m}^2$ solfanger. Den lille volumenstrøm medfører en stor temperaturlagdeling i lagerbeholderen.

Solvarmeanlæggets kostede 335.000 kr. inkl. moms (4.300 kr/m^2), når et tilskud på 135.000 kr. fra Energistyrelsen er fratrasket. I den pris har bygherren sparet et beløb til renovering af varmtvandsbeholderen og tagfladen hvor solfangerfeltet er placeret.

Fra 1. juli 1994 og frem til 30. juni 1995 er der foretaget detaljerede målinger på solvarmeanlægget. Målingerne er anvendt til sammenligning med edb-beregninger og bestemmelse af solvarmeanlæggets årsydelse.

Solvarmeanlægget har fungeret yderst tilfredsstillende, dog har der været tekniske problemer med brugsvandspumpen i solkredsen. Det viste sig, at pumpen hurtigt tilkalkede, hvorved pumpens kapacitet blev nedsat. Der er nu installeret en luftkølet pumpe, som ifølge pumpefabrikanten ikke vil få samme tilkalkningsproblemer.

Årsydelsen for solvarmeanlægget er målt til 32.000 kWh eller 410 kWh/m^2 . Edb-beregninger viser at solvarmeanlægget årligt vil kunne yde ca. 500 kWh/m^2 uden driftproblemer. Tilbagebetalingstiden for anlægget vurderes til at blive ca. 15 år. Ca. 10 % af solenergien er anvendt til rumopvarmning.

De detaljerede målinger er anvendt til sammenligning med et beregningsprogram udviklet på Laboratoriet for Varveisolering. Sammenligningen har både omfattet lageret, solfangerkredsen og hele anlægget. Sammenligningerne udviser god overensstemmelse mellem målinger og beregninger. Det kan derfor konkluderes, at beregningsmodellen regner præcist, og programmet kan derfor anvendes ved projektering af fremtidige mellemstore solvarmeanlæg.

Projektet viser, at ydelsen for mellemstore solvarmeanlæg kan være tilfredsstillende, når de er udført efter low flow princippet. Projektet viser desuden, at det er muligt at opbygge et varmelager, der opretholder en stor temperaturlagdeling.

Referencer.

- /1/ "Simulation of Thermal System. EMGP3". Willie L. Dutré. Kluwer Academic Publishers. 1991.
- /2/ "Temperaturstratificering i varmelagre". Peter Fagerlund Carlsson, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse 272. 1995.
- /3/ "Prøvning af solfangeres effektivitet og driftsikkerhed foretaget for Prøvestationen for Solenergi". Finn Kristiansen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Rapport 93-06. 1993.
- /4/ "Solfangeres effektivitet". Svend Svendsen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse 109. 1981.

