

Solvarmeanlæg

i Greve

MÅLINGER PÅ ANLÆG TIL RUMOPVARMNING
OG VARMT BRUGSVAND - ÅRSRAPPORT

AF

LEIF SØNDERSKOV JØRGENSEN

SVEND ERIK MIKKELSEN

POUL ERIK KRISTENSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MEDDELELSE NR. 102

JULI 1980

<u>Indholdsfortegnelse</u>	<u>side</u>
Forord.....	1
Indholdsfortegnelse	2
Figurliste	4
1. Indledning	6
2. Projektets start	7
3. Beskrivelse af huset	9
Solfangerens orientering	9
Placering af lagerbeholder.....	9
Opvarmningssystem.....	11
Husets konstruktion.....	11
4. Beskrivelse af varmeanlægget.....	14
Varmestrømme.....	14
Varmeanlæggets virkemåde	14
Varmeanlæggets rumlige opbygning.....	18
Rumopvarmning.....	18
Varmt brugsvand	21
Solfangeren.....	22
Lagerbeholderen.....	22
Styring af solfangerkredsen	26
5. Beskrivelse af målesystemet.....	27
Hvad måles.....	27
Måleudstyr	28
Opsamling af måledata.....	30
Behandling af måledata	33
6. Måleresultater for første måleår.....	34
Korrektioner.....	34
Måleresultater.....	35
Solfangerens effektivitet, månedsværdier	35
Varmeforbrug og ydelse af solvarmeanlægget	40

	side
Solindfald	44
Temperaturkurver.....	48
Solvarmeanlæggets energibesparelse og olie- fortrængning	50
Solfangerens effektivitet, timeværdier.....	52
Varmeveksleren i solfangerkredsen.....	57
Varmetab fra lagerbeholderen.....	59
Lagerbeholderens varmekapacitet.....	60
Styring af rumopvarmningen.....	64
Sammenligning med f-chart-beregninger.....	65
7. Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder.....	69
Sammenkobling af solfangerelementer.....	69
Data for rørsystemet.....	69
Varmetab i rørsystemet.....	72
Måling af varmetabet.....	73
Kapacitetstab.....	73
Transmissionstab.....	76
Det samlede varmetab.....	76
Tabets betydning for ydelsen.....	79
Tryktab og strømningsmængde.....	79
Alternativt rørsystem.....	80
8. Driftserfaringer.....	84
Indkøring af anlæg.....	84
Drift og driftforstyrrelser.....	86
9. Det videre arbejde	90
10. Resumé.....	91
11. Referencer	92
12. Projektorganisation	93
Bilag I. Data for solvarmeanlægget	95

<u>Figurliste</u>	<u>Side</u>
1. Foto af huset.....	10
2. Husets beliggenhed på grunden.....	12
3. Grundplan af huset.....	12
4. Husets konstruktion.....	13
5. Principskitse af varmeanlægget.....	15
6. Foto af kedelunit og forvarmebeholder.....	16
7. Varmestrømme.....	17
8. Isometri af varmeanlæg.....	19
9. Foto af rørsystemet i bryggerset.....	20
10. Tegning af solfangerelement.....	23
11. Tegning af lagerbeholder.....	24
12. Foto af lagerbeholder.....	25
13. Foto af måleskab.....	31
14. Diagram over datoopsamlingssystem.....	32
15. Flowdiagram til kalkulatorens program.....	32
16. Tabel over måleresultater for første måleår.....	36
17. Solindfald og udbytte af solfanger.....	38
18. Effektivitet af solfangeren, månedsværdier.....	39
19. Udbytte, tab i rør og lager og udnyttet solenergi...	41
20. Totalt varmeforbrug og udnyttet solvarme.....	42
21. Forbrug og solvarme opdelt på brugsvand og rumvarme.	43
22. Totalstråling på solfangerens plan.....	45
23. Diffus stråling i kWh/m ²	46
24. Diffus stråling i % af totalstråling.....	46
25. Direkte stråling på solfangerens plan.....	47
26. Lagerbeholderens middeltemperatur.....	48
27. Fremløbs-, rum- og udetemperatur.....	48
28. Tabel over energibesparelse og oliefortrængning.....	51
29. Effektivitet af solfanger, hele driftstimer.....	54
30. Effektivitet af solfanger, stationære forhold.....	54
31. Varmetabskoefficient for solfanger.....	56
32. Varmerovergangskoefficient for solfangerkredsens varmeveksler.....	58

side

33.	Tre dages lagertemperatur, timeværdier.....	62
34.	Tre dages fremløbstemperatur, rumtemperatur og flow i radiatorkreds.....	63
35.	Tre dages rumvarmeforbrug og soldel.....	63
36.	Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder.....	70
37.	Data for rørsystemet.....	71
38.	Kapacitetstab og udbytte af solfanger.....	75
39.	Transmissionstab og udbytte af solfanger.....	77
40.	Strømningsmængde i solfangerkreds.....	81
41.	Alternativt rørsystem.....	83
42.	Solfanger dækket af sne.....	87
43.	Inddækning af solfanger.....	88

1. Indledning

Nærværende rapport er en årsrapport vedrørende målinger på et solvarmeanlæg i Greve i perioden september 1978 til august 1979. Den samlede måleperiode strækker sig over to år.

Rapporten indeholder en beskrivelse af huset, som er et nyt typehus, solvarmeanlægget samt målesystemet. Det første års målinger med kommentarer præsenteres og den i måleperioden sparede energimængde beregnes.

De erfaringer, der er indhentet gennem såvel målingerne som den jævnlige besigtigelse af anlægget, er omtalt. I nogle tilfælde er der peget på mulige forbedringer af anlægget.

Et af formålene med projektet er at sammenligne målingerne med de edb-beregnedde ydelser. Målingerne er derfor ret omfattende, idet de fleste edb-programmer simulerer anlægget hver halve eller hele time. Denne del af projektet er dog ikke omtalt i nærværende rapport, hvor alle målte værdier er angivet som månedsværdier.

2. Projektets start

Projektet er et delprojekt under 1. og 2. fase af Handelsministeriets (nu Energiministeriets) Forsknings- Udviklings- og Demonstrationsprogram vedrørende solvarmeanlæg.

I det følgende gennemgås projektet i Greve fra starten på 1. møde i Styregruppen (se side 94) til måleperiodens begyndelse pr. 1. september 1978:

- | | | |
|----------|------|--|
| februar | 1977 | Efter 1. møde i styregruppen påbegyndes udvælgelsen af egnede demonstrationsprojekter herunder et nyt endnu ikke projekteret hus, hvor solvarmeanlægget skal benyttes til både rumopvarmning og varmt brugsvand. |
| april | 1977 | Der var til 2. møde i styregruppen kun fremkommet 5 emner. Det blev derfor besluttet at sende et rundspørge til typehusfabrikantforeningens medlemmer for at indhente flere emner. |
| juni | 1977 | Typehusfirmaet NYBOE-huset A/S tilbyder huset i Greve som mulighed for installation af solvarmeanlæg. Da huset endnu ikke er bygget ændres typehusprojektet lidt for at gøre huset bedre egnet til at udnytte solvarme - se side 9 . |
| oktober | 1977 | Huset bygges. Solvarmeanlægget er færdigprojekteret af ingeniørfirmaet J.C. Strunge Jensen ApS og udbydes i licitation. |
| november | 1977 | Ved licitation over solfangeren indkom tilbud fra 47.900 kr til 56.600 kr for ca. 50 m ² solfanger. Da der på dette tidspunkt ikke var grundlag for at sammenholde pris og solfangereffektivitet blev det billigste tilbud accepteret. Pri- |

sen for hele solvarmeanlægget uden målesystem blev 104.000 kr. excl. moms.

- januar 1978 Solvarmeanlægget installeres.
- febr-marts 1978 Måleudstyret monteres.
- marts 1978 Anlægget afleveres, og den projekterende ingeniør udfærdiger mangelliste.
- april-juni 1978 Indkøring af måleudstyr.
- september 1978 Målingerne påbegyndes midt i juli, men da der ikke er varmemeforbrug før den 1. september regnes den egentlige måleperiode fra denne dato.

Et solvarmeanlæg på 50 m² er et forholdsvis stort anlæg til et parcelhus. Begrundelsen for at vælge så stort et areal ligger i, at der i to andre anlæg til parcelhuse skulle installeres solfangere på 10 m² og 30 m². Da man ønskede at variere anlægsstørrelsen mest muligt, blev det bestemt, at der i anlægget i Greve skulle installeres en solfanger på 50 m².

3. Beskrivelse af huset

Huset er beliggende i et nyere villakvarter i Greve. Det var ubeboet indtil 1. april 1979, hvor en familie bestående af 2 voksne og 2 børn på 9 og 11 år flyttede ind.

Huset, der er vist på figur 1, er bygget af typehusfirmaet NYBOE-huset A/S i efteråret 1977. Da det allerede under projekteringen blev bestemt, at huset skulle være måleobjekt under delprojektet "demonstrationsanlæg", var der mulighed for at foretage ændringer af hensyn til indpasningen af solvarmeanlægget. Det oprindelige projekt blev således ændret på følgende punkter:

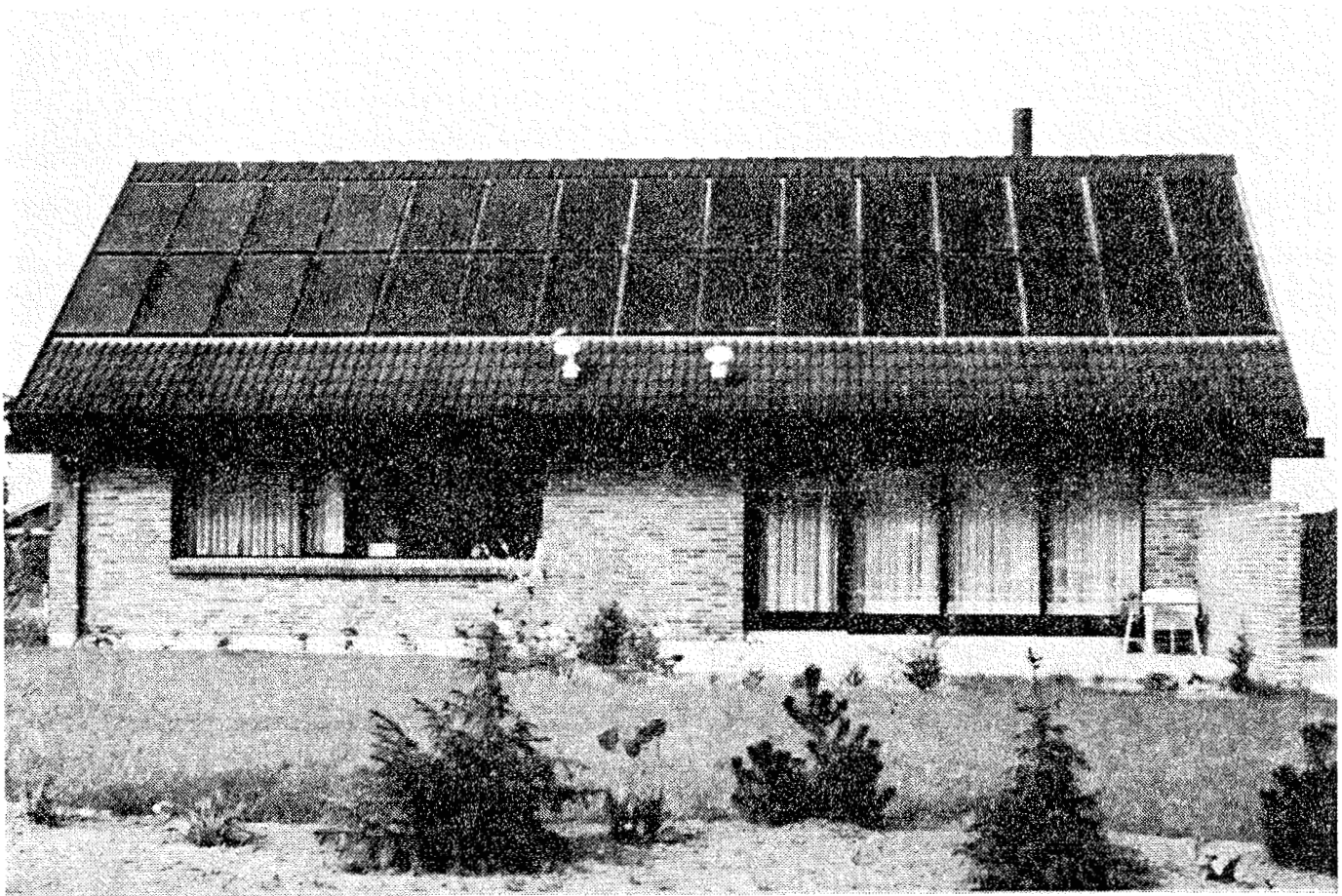
I) Solfangerens orientering

I det oprindelige projekt var taget et sadeltag med en hældning på 27° fra vandret. Da solfangeren skulle indbygges i den sydvestvendte tagflade, var det ønskeligt at få en hældning på ca. 60° . Typehusfirmaet kunne dog kun levere med 38° 's hældning, hvilket blev benyttet i firmaets $1\frac{1}{2}$ -plans typehuse. Det blev derefter besluttet at bruge 38° 's taghældning. Beregninger viste, at en hældning på 38° giver godt 10% større udbytte end 27° 's hældning, reference [1].

Det var desuden ønskeligt at ændre orienteringen, så solfangeren blev sydvendt, men dette ville medføre en urimelig placering af huset i forhold til grundens orientering, se figur 2. Orienteringen på 30° mod vest i forhold til syd blev derfor fastholdt. Beregninger viste, at dette ville reducere udbyttet med 5%.

II) Placering af akkumuleringstank

Der var fra arbejdsgruppens side ønsket en forholdsvis stor solfanger - ca. 50 m^2 - hvilket medførte, at der skulle være plads til en akkumuleringstank på $4-5 \text{ m}^3$. Af hensyn til målingerne var det nødvendigt at have adgang til tanken i måleperioden, hvilket udelukkede en nedgravet tank. Iøvrigt bruges denne løsning næsten aldrig bl.a. på grund af de dårlige erfaringer fra Nul-energihuset, ref. [2]. Der var derfor



FIGUR NR. 1. Foto af huset i Greve.

kun to muligheder: Enten at bygge en tilstrækkelig stor kælder eller at installere tanken i tagrummet. Førstnævnte løsning viste sig at være meget bekostelig, hvorimod en placering i tagrummet kun nødvendiggjorde forstærkning af den underliggende skillevej samt ca. $1/3$ af spærfødderne. Det blev derfor besluttet at installere en ca. 5 m^3 lager-tank i tagrummet. De resterende $2/3$ af tagrummet ville senere kunne udnyttes som boligareal.

III) Opvarmningssystem

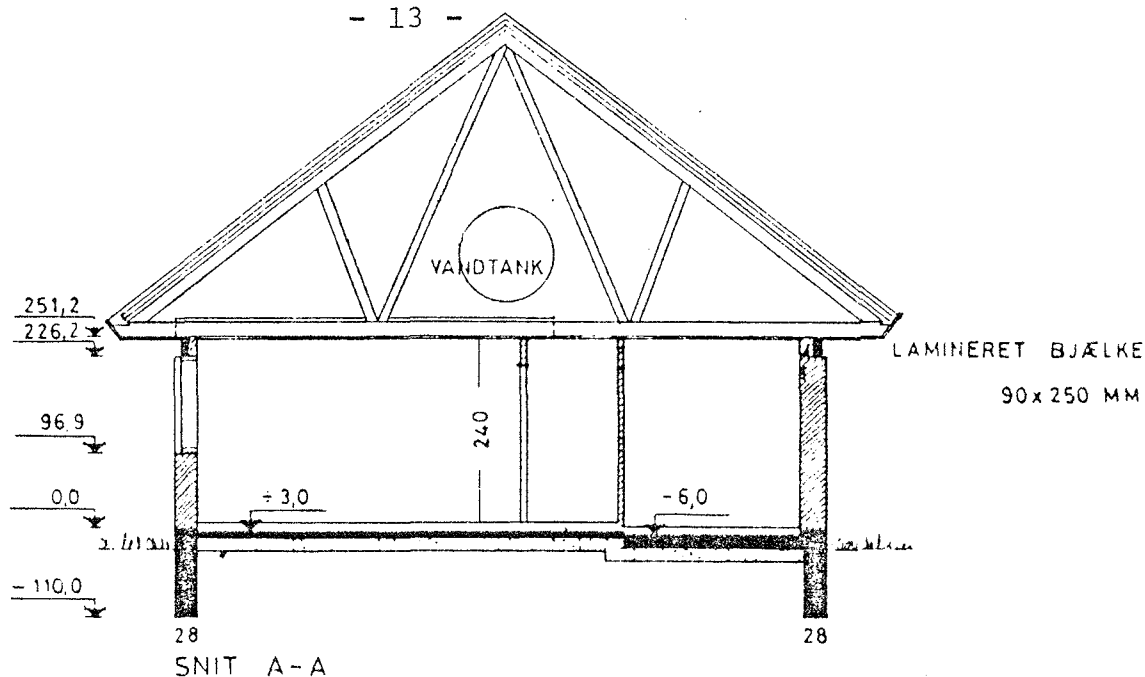
For at udnytte solvarmeanlægget bedst muligt var det ønskeligt, at varmeanlægget blev dimensioneret for så lav en fremløbstemperatur som muligt. Det blev derfor foreslået at installere et gulvvarmeanlæg, men dette var typehusfirmaet ikke interesseret i, dels fordi man forudså konstruktionsproblemer på grund af manglende erfaring, dels fordi det ville medføre større ændringer af typehusprojektet. Det blev herefter besluttet i stedet for at dimensionere radiatoranlægget til en fremløbstemperatur på 60°C . I forhold til det oprindelige anlægs dimensionerende fremløbstemperatur på 90°C ville denne ændring ifølge edb-beregninger øge udbyttet med knap 20%.

Husets konstruktion

Husets grundplan er vist på figur 3. Bruttoarealet (det bebyggede areal) er på 125 m^2 . Nettoarealet er på 108 m^2 , rumhøjden 2,4 m, hvilket giver et volumen på 260 m^3 .

Alle vinduer er forsynet med 3-lags termoruder. Det totale vinduesareal er $34,5 \text{ m}^2$ svarende til 28% af husets bruttoareal. De $34,5 \text{ m}^2$ fordeler sig med $16,1 \text{ m}^2$ mod syd (syd-sydvest), $12,8 \text{ m}^2$ mod nord, $2,6 \text{ m}^2$ mod øst og $3,0 \text{ m}^2$ mod vest. Husets konstruktion iøvrigt er beskrevet på figur 4.

Det dimensionerende transmissionstab er beregnet til 4,3 kW, hvilket lige netop opfylder isoleringskravene i Bygningsreglement 1977. Husets samlede dimensionerende varmetab (uden hensyntagen til, at der er varmegenvinding på ventilationsluften) er beregnet til 5,8 kW.



TAG : 38°

CEMENTTAGSTEN "BRAAS"
50x50 MM LÆGTER
TRÆSPÆRFAG „STRUCT O MATIC"

LOFTER :

9 MM LJUSNE LOFTPLADER
DAMPTÆT PAP
22x75 MM FORSKALLING
150 MM BATTS / 200 MM BATTS

YDERVÆGGE :

1/2 STEN^S SKALMUR
23 MM VENTILERET HULMUR
VINDTÆT PAP
28x144 OG 44x144 MM ELEMENTST
150 MM BATTS
DAMPTÆT PAP
9 MM LJUSNEPLADER

SKILLEVÆGGE OMK. BAD, TOILET

OG BRYGGERS :
75 MM YTONG ELEMENTER
FLISER I BAD OG TOILET

OPVARMNING : OLIEVARME KOMBINERET
MED SOLVARMEANLÆG.

MEKANISK UDLUFTNING.

SKILLEVÆGGE IØVRIGT :

9 MM LJUSNEPLADER
20x57 MM STOLPER
50 MM BATTS
9 MM LJUSNEPLADER

GULV I STUE: EG TERTIA LAMELPARKET.

GULV I VÆRELSE KØKKEN OG HALL:

NÅLEFILT PÅ 22 MM SPÅNPLADE
50x50 MM GULVSTRØER
75 MM BATTS
1 LAG PLASTICFOLIE
8 CM BETON BL 1:4:7
1 LAG DIFFU-PAP
20 CM SINGELS

GULV I BAD OG TOILET:

STIFTMOSAIK
6-7 CM AFRETNING BL. 1:3
8 CM BETON BL 1:4:7
50 MM PLADEISOLERING
1 LAG DIFFU-PAP
20 CM SINGELS

GULV I BRYGGERS:

7 CM AFRETNING BL. 1:3
UNDERGULV SOM I BAD

FIGUR NR. 4. Husets konstruktion

4. Beskrivelse af varmeanlægget

En principskitse af husets varmeanlæg er vist på figur 5.

Husets varmebehov dækkes dels af solvarmeanlægget dels af en oliefyret kedelunit med indbygget varmtvandsbeholder på 80 l. Kedlens effekt er på 29 kW. I kedeluniten er indbygget cirkulationspumpe til radiatorkredsen samt en fire-vejs motorstyret shuntventil. Et billede af kedeluniten er vist på figur 6.

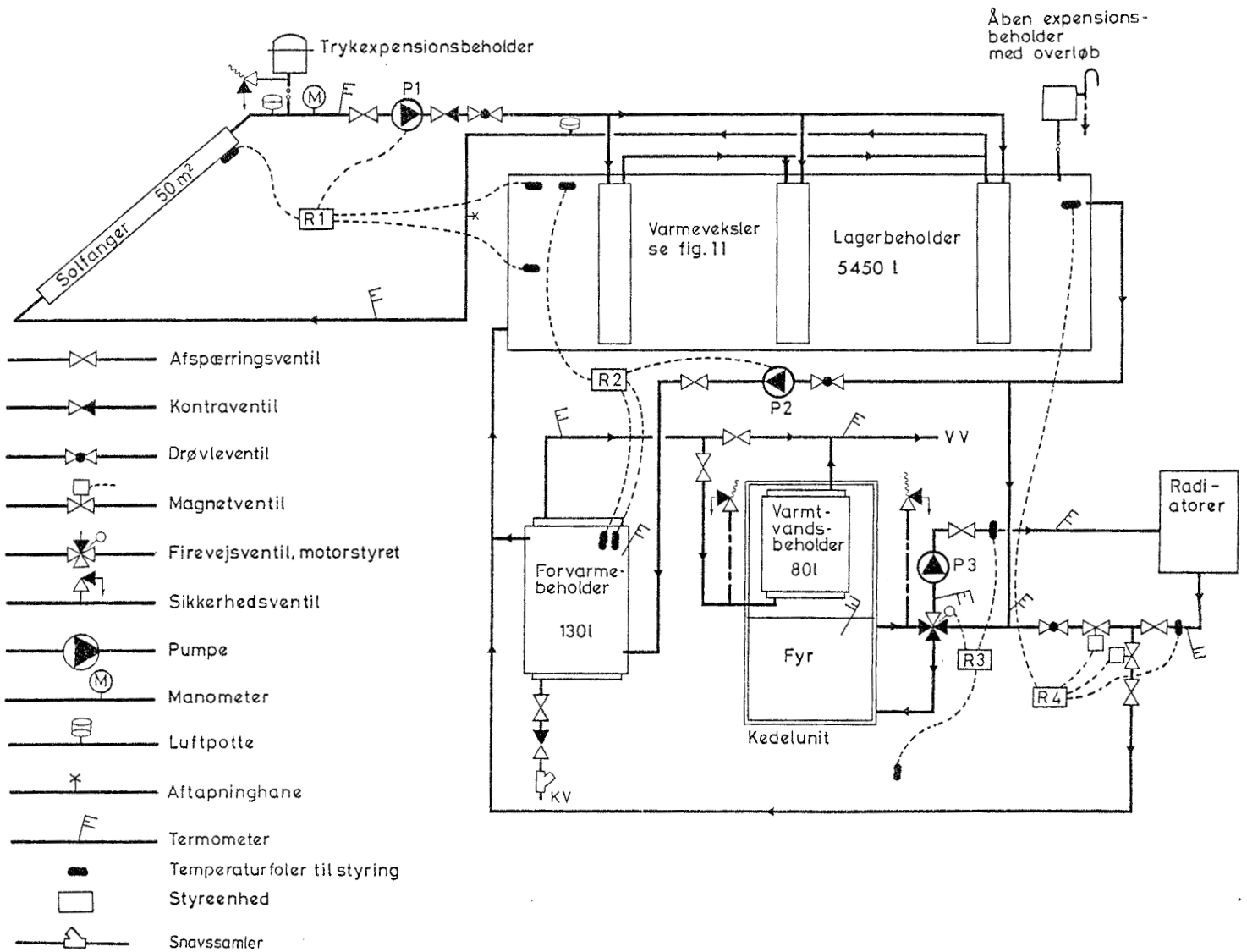
Udbyttet fra solfangeren overføres til lagertanken på loftet. Herfra tappes solvarmeanlæggets bidrag til rumopvarmning og varmt brugsvand.

Varmestrømme

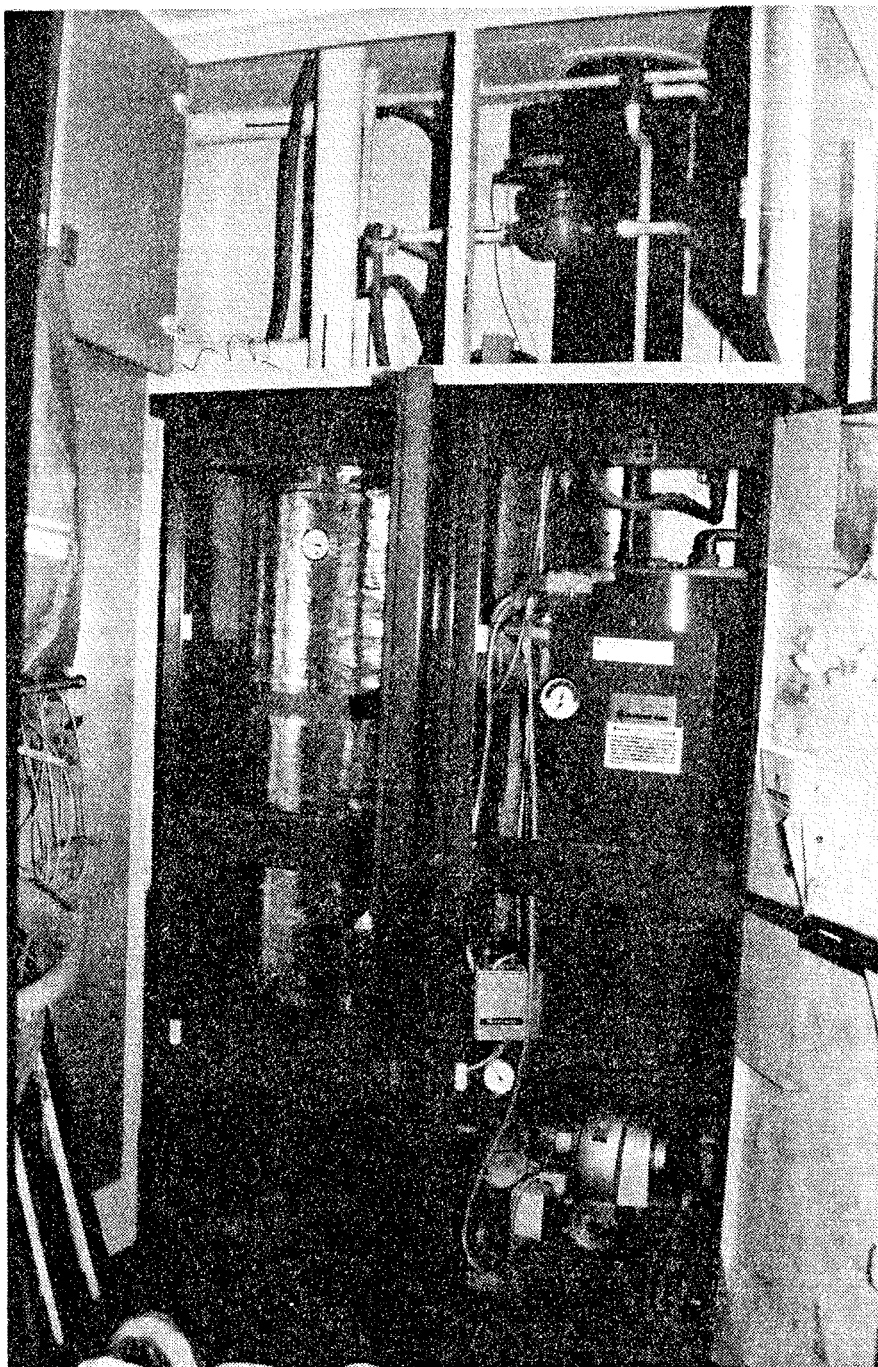
På fig. 7 er varmetransporten gennem anlægget vist skematisk. Hver kasse i diagrammet repræsenterer et element i varmeanlægget. For hvert element kan der opstilles en varmebalance, der resulterer i et varmetab fra denne del af varmeanlægget. Kedeluniten er illustreret ved de enkelte komponenter, oliefyr, kedel og varmtvandsbeholder, men da varmemstrømmen i uniten ikke måles internt, kan der kun opstilles en varmebalance for den som helhed.

Varmeanlæggets virkemåde

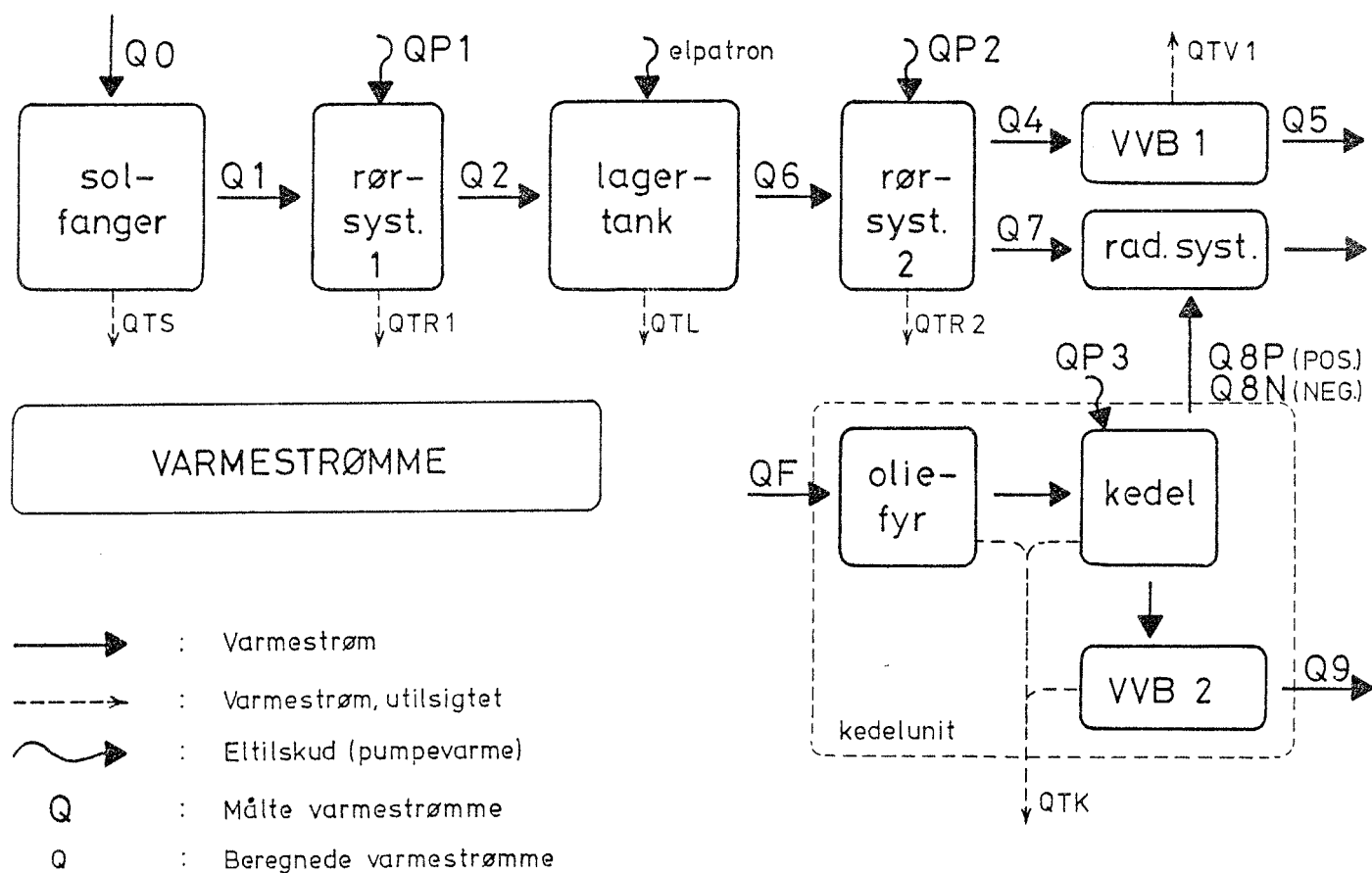
Solvarmeanlægget har første prioritet forstået således, at det yder den varmemængde, det er muligt at levere. Dernæst supplerer kedeluniten, når det er nødvendigt. I sommermånederne - godt 4 mdr. - er kedeluniten slukket. Forår og efterår leverer kedlen den nødvendige tilskudsvarme. I vintermånederne er kedeluniten den primære varmekilde, men solvarmeanlægget supplerer stadig både rumopvarmning og varmt brugsvand.



FIGUR NR. 5. Principskitse af varmeanlægget.



FIGUR NR. 6. Foto af kedelunit (til højre) og forvarme-
beholder (til venstre).



FIGUR NR. 7. Varmestrømme.

Q_0	solindfald
Q_1	varmemængde fra solfanger
Q_2	tilført lager
Q_4	tilført forvarmebeholder
Q_5	tappet fra forvarmebeholder
Q_6	tappet fra lagerbeholder
Q_7	lager til rumopvarmning
Q_8	kedel til rumopvarmning (P=positiv N=negativ)
Q_9	tappet fra varmtvandsbeholder
Q_{Pn}	pumpevarme fra pumpe nr. n
$Q_{T..}$	varmetab
Q_F	indfyret oliemængde

Varmeanlæggets rumlige opbygning

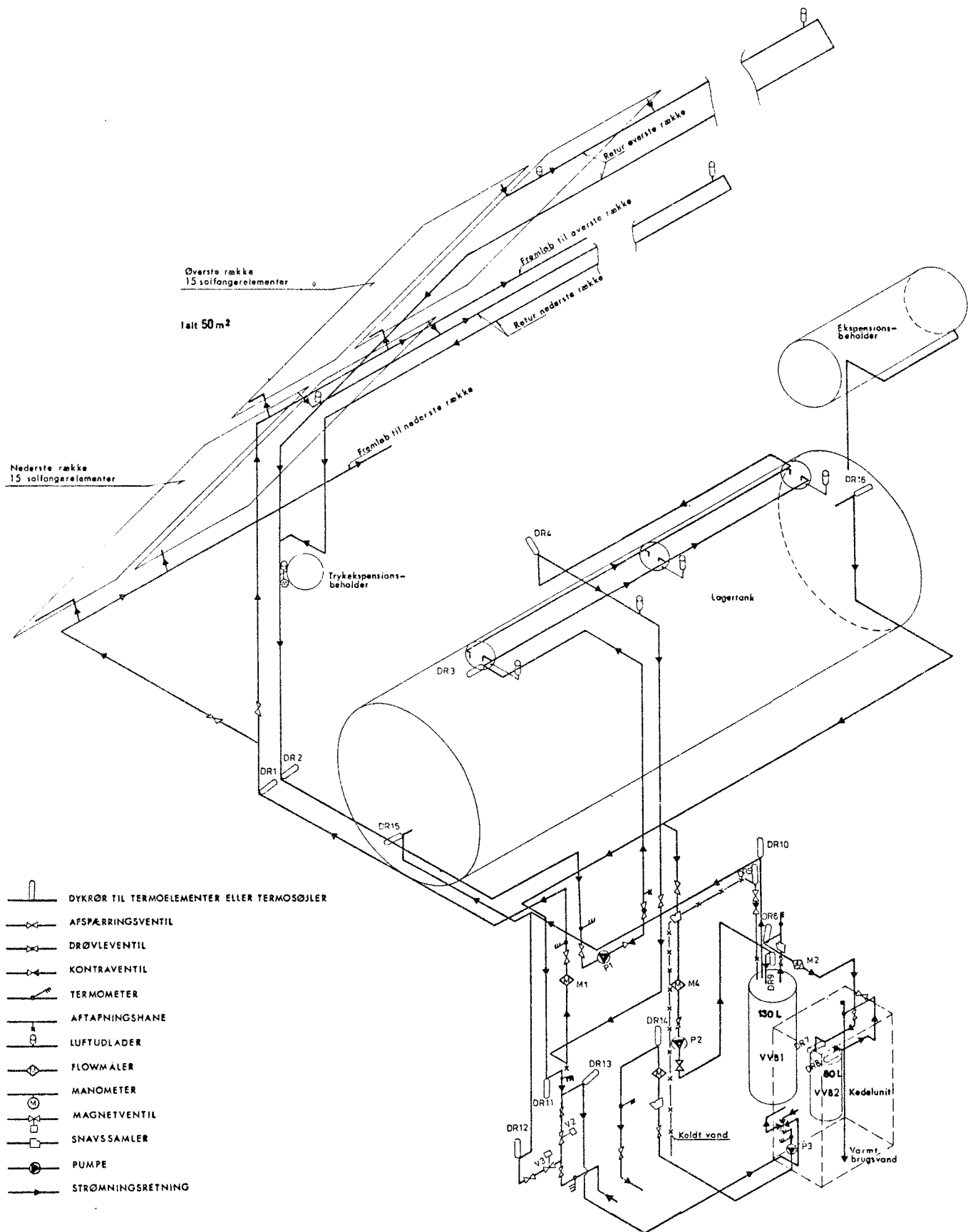
På fig. 8 er vist en isometri af husets varmeanlæg, excl. radiatorsystem og sikkerhedsventiler. Størstedelen af solvarmeanlægget (fordeler- og samlerør for solfanger, primærkreds og lagertank) ligger i det uopvarmede tagrum. Resten af anlægget er placeret i bryggerset. Et foto af rørsystemet i bryggerset er vist på fig. 9.

Rumopvarmning

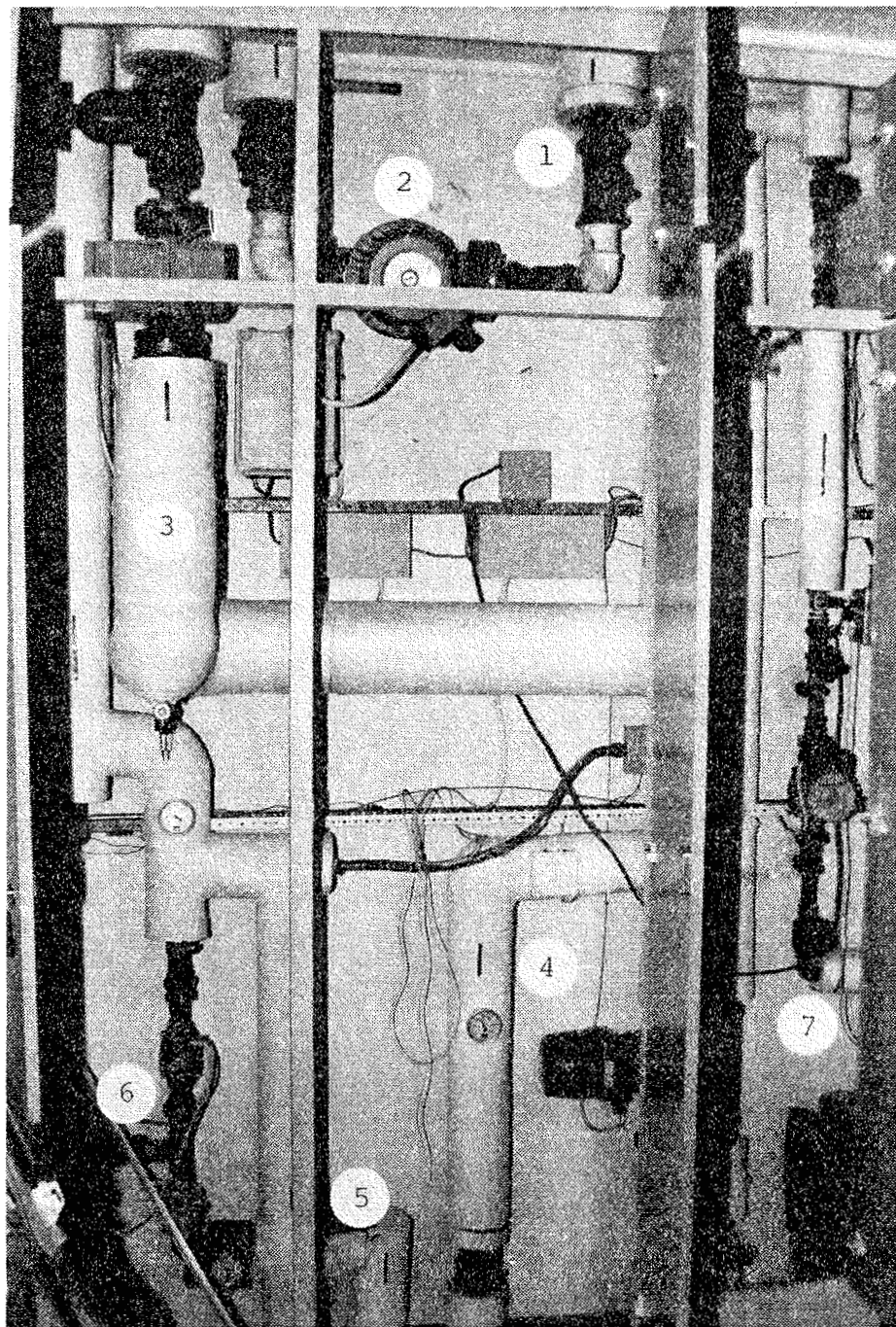
Rumopvarmningsbehovet dækkes via et radiatorsystem, der som nævnt er dimensioneret for en fremløbstemperatur på 60°C og en returtemperatur på 40°C . Der er desuden gulvvarme i de to baderum. Gulvvarmeslangerne er koblet ind parallelt med radiatorerne og forsynes med vand af samme temperatur som disse. Radiatorerne er alle forsynet med termostatventiler. Der er installeret ventilationsanlæg med varmegenvinding på afkastluften (VMC Genvex).

Fremløbstemperaturen til radiatorerne afpasses efter udetemperaturen. Den ønskede fremløbstemperatur fås ved opblanding af returvand og kedelvand i fire-vejsventilen (F på figur 5). Denne er forsynet med motordrev og styres via udekompenseringsudstyret R3. Dette har tilkoblet to følere, en til registrering af fremløbstemperaturen og en til registrering af udetemperaturen. Til R3 er tilkoblet et uge- og døgnur. Herved er det muligt at sænke fremløbstemperaturen yderligere i nattetimerne og i de timer om dagen, hvor huset er tomt. Uge-uret gør det muligt at ændre denne funktion i week-enden. Fremløbstemperaturen varierer lineært inden for grænserne fra 60°C til 30°C svarende til udetemperaturerne -12°C til 20°C .

Fire-vejsventilens funktion med hensyn til opblanding af kedel- og returvand kunne klares af en tre-vejsventil. At anlægget er forsynet med en fire-vejsventil, har til formål at beskytte kedlens bund mod tæring. I ventilen opblandes den i perioder meget lave returtemperatur med varmt vand, før det ledes ind i kedlen.



FIGUR NR. 8. Isometri af varmeanlæg.



FIGUR NR. 9. Foto af rørsystemet i bryggerset

1. Fra solfanger til lagerbeholder
2. Pumpe i solfangerkreds
3. Fra lagerbeholder til solfanger
4. Fremløb til radiatoranlæg
5. Retur fra radiatoranlæg
6. Magnetventiler til styring af radiatorretur
7. Fra lagerbeholder til forvarmebeholder.

Hvis temperaturen af returvandet fra radiatorerne er lavere end temperaturen i toppen af lagerbeholderen, ledes det gennem denne og modtager en forvarmning, førend det ledes ind i kedlen, se figur 5. Hvis forvarmning ikke er mulig, ledes vandet direkte til kedlen. Omkobling sker via to magnetventiler. Disse styres af et differensrelæ, R4, med én føler på radiatorreturen og én i toppen af lagerbeholderen.

Når returvandet fra radiatorerne passerer lagerbeholderen, er det vand med tanktemperatur, der løber til returvandsporten på fire-vejsventilen. Det betyder således, at det ikke er muligt at opnå lavere fremløbstemperatur end tanktemperaturen. Dette har specielt betydning om sommeren, hvor tanktemperaturen kan nå op på 80°C, og man stadig måtte ønske at have varme på gulvvarmefladerne i badeværelserne.

Varmt brugsvand

Det kolde brugsvand løber først gennem forvarmebeholderen (VVB1 på figur 7 og 8), der står i et kabinet ved siden af kedeluniten, se figur 6. Denne beholder på 130 l er opvarmet med solvarme via en varmeveksler. Pumpen (P2) mellem lagerbeholderen og varmeveksleren styres af et differensrelæ (R2 på figur 5). Hvis temperaturen i forvarmebeholderen overstiger en indstillet værdi (ønsket brugsvandstemperatur), kan pumpen dog ikke starte.

Kan solvarmeanlægget ikke dække hele forbruget, må brugsvandet eftervarmes i varmtvandsbeholderen (VVB2 på figur 7 og 8). Om sommeren, når fyret er slukket, kobles VVB2 ud ved hjælp af manuelle afspærringsventiler, så brugsvandet ledes direkte til tapstederne.

Solfangeren

Solfangeren er opbygget af præfabrikerede elementer, oplagt på lægterne og indbygget i den syd-vestvendte tagflade. Der er oplagt ialt 30 elementer i to rækker. Det samlede transparente areal er $50,3 \text{ m}^2$.

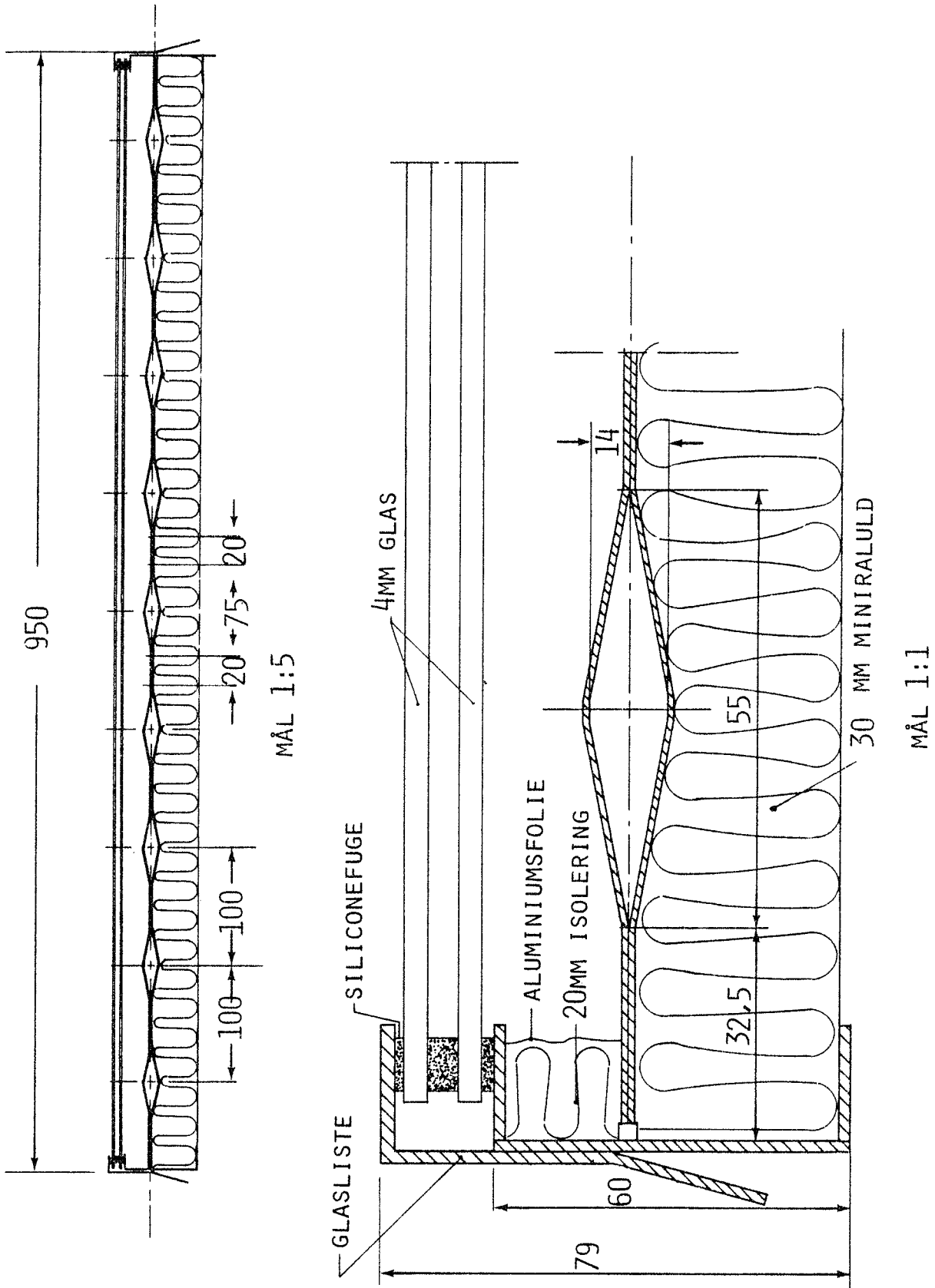
Absorberen består af stål med integrerede væskekanaler - se figur 10. Den er sortmalet og afdækket med to lag glas. Bagtil er den isoleret med 30 mm mineraluld. For en mere detaljeret beskrivelse af solfangeren henvises til bilag I.

Hvert enkelt element er inddækket med zink på alle fire sider. Efter færdiggørelsen af anlægget viste det sig nødvendigt at ændre på inddækningen ved bunden af hvert element, da der var konstateret indtrængning af vand til loftrummet via bunden af nogle af elementerne. Inddækningen af solfangeren er beskrevet mere detaljeret i kapitel 8.

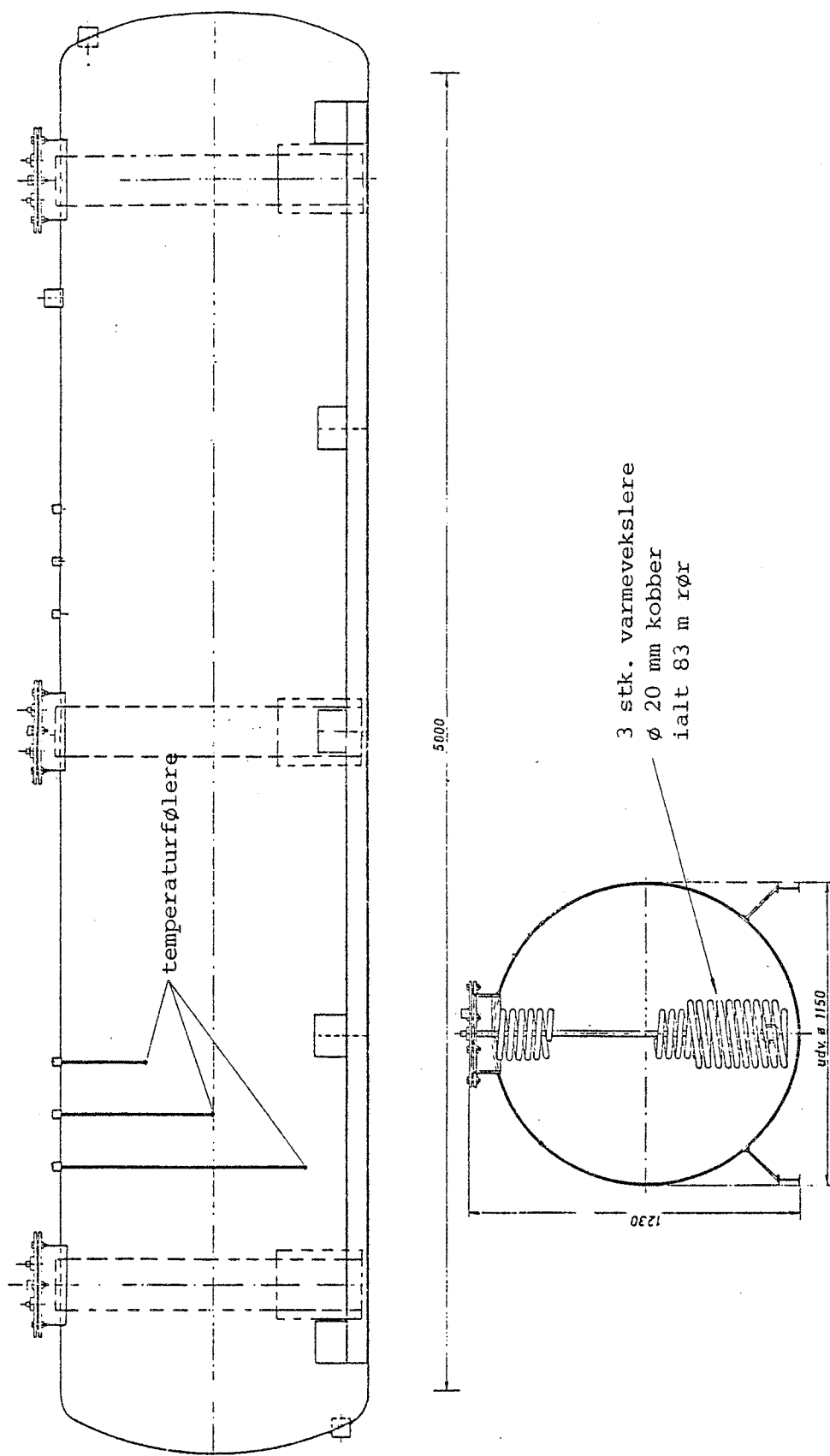
Lagerbeholderen

En tegning af lagerbeholderen er vist på figur 11, hvor placeringen af varmevekslere og temperaturfølere er indtegnet. Tankisoleringen, 200 mm mineraluld er ikke vist på tegningen. Figur 12 viser billeder af lagerbeholderen, dels under byggeriet, dels færdiginstalleret. At installationen kunne foretages under byggeriet gjorde arbejdet betydeligt lettere, end hvis det skulle gøres i et eksisterende hus. Lagerbeholderen blev løftet med en kran og holdt på plads, mens spærene blev rejst omkring den.

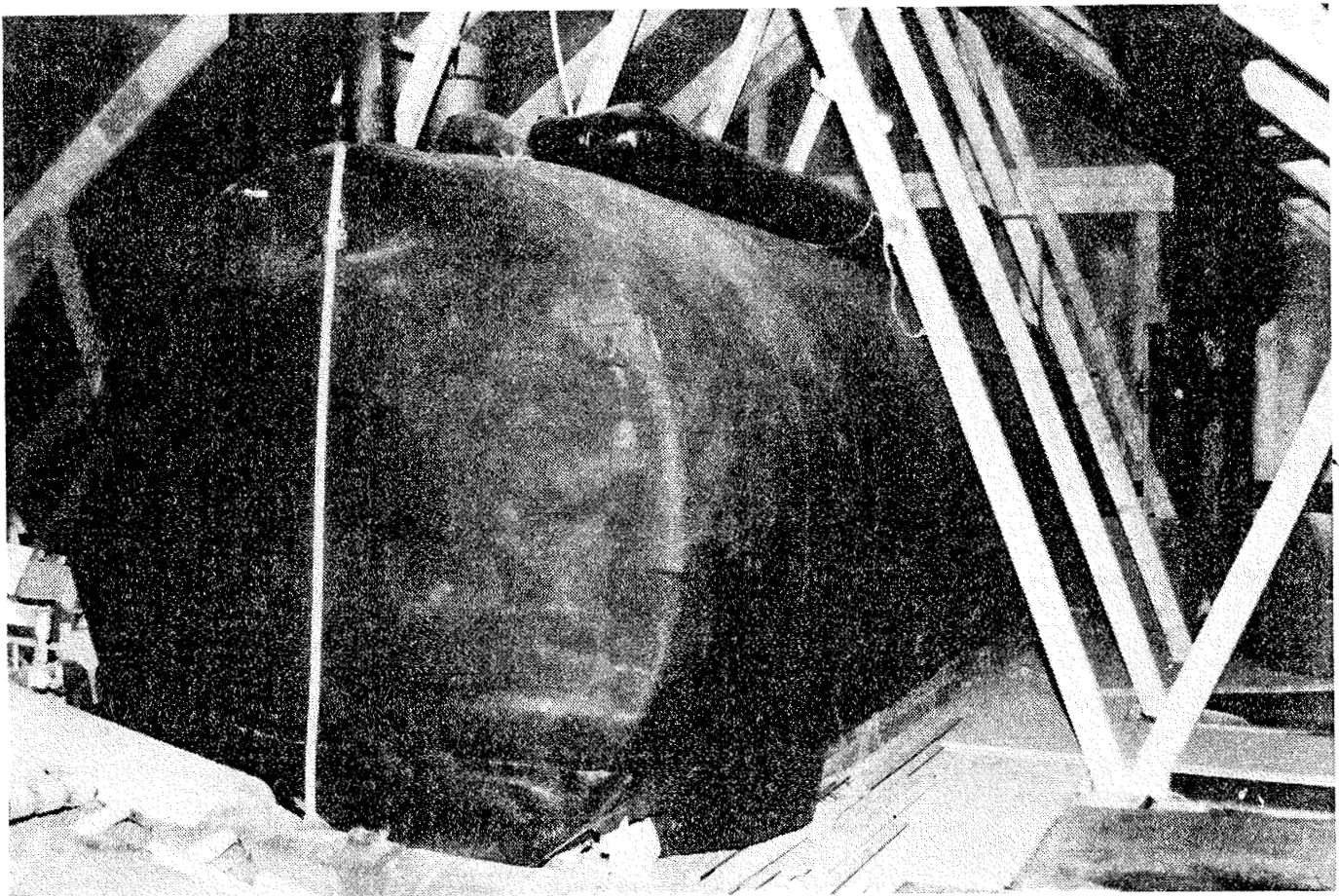
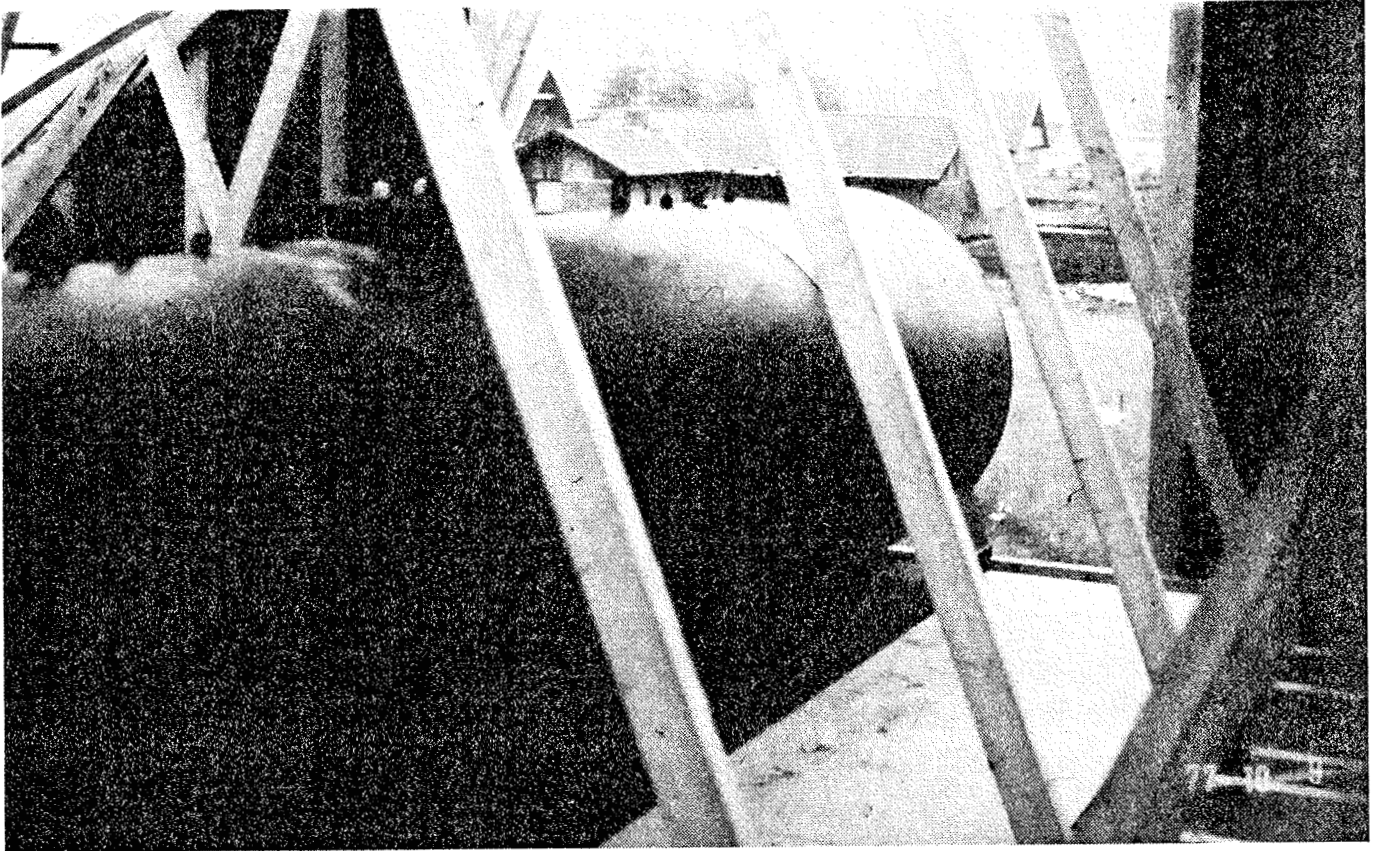
Tanken er udført som en cylinderformet ståltank med et volumen på 5450 l. Som lagringsmedium benyttes vand. Desuden kan der indtil 60°C lagres i forvarmebeholderen.



FIGUR NR. 10. Solfangerelement. Mål i mm.



FIGUR NR. 11. Lagerbeholderen. Isoleringen, 200 mm mineraluld, er ikke vist.



FIGUR NR. 12. Foto af lagerbeholderen.
Øverst under byggeriet - nederst færdiginstalleret.

Varmen fra solfangeren afleveres til lagerbeholderen via 3 kobbervarmevekslere, der er koblet ind parallelt med vendt retur. Varmeveksleren er nærmere beskrevet på side 57 med anvendelse af periodens måleresultater. Hele primærkredsen udgør et system med lukket ekspansion. Det er frostsikret ned til -20°C med ethylenglycol. Varme fra lageret tappes via en studs for fremløb anbragt øverst i den ene endebund samt en studs for returløb nederst i den anden endebund. Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder gennemgås detaljeret i kapitel 7.

Lagerbeholderen er frostsikret med et elvarmelegeme på 200 W anbragt i toppen. Varmelegemet er termostatstyret og holder lagertemperaturen på minimum ca. 4°C .

Styring af solfangerkredsen

Pumpen (P1) i solfangerkredsen styres af et differensrelæ (R1 på figur 5). Føleren for solfangeren er klemt mod bagsiden af den øverste del af en af absorberne. Føleren i lageret er anbragt i et dykrør i toppen af beholderen.

Der sikres mod for høje temperaturer i lageret på følgende måde: Hvis temperaturen i toppen af lageret overstiger en på et relæ indstillet værdi (85°C), kører pumpen uanset temperaturforholdene iøvrigt. Hvis temperaturen i lageret efter en solrig dag har overskredet 85°C , bliver tanken således kølet ned til 85°C igen den følgende nat. Der er herefter igen "plads" til endnu en solrig dag uden risiko for kogning i solfanger eller lager.

5. Beskrivelse af målesystemet

Et af formålene med projektet er at kunne foretage sammenligninger mellem målinger og beregninger med simuleringsprogrammer til solvarmeanlæg og evt. forbedre beregningsmodellerne. Der foretages derfor ret omfattende målinger.

Hvad måles ?

Generelt måles både tilført og tappet varmemængde fra de forskellige beholdere og rørsystemer således, at der er mulighed for at bestemme tab i beholdere og rørsystemer, jvf. figur 7.

Udover volumenstrømme og de dertil knyttede varmemenstrømme måles:

Udelufttemperatur.

Diffust solindfald på solfangerens plan.

Totalt solindfald på solfangerens plan.

Totalt solindfald i solfangerens driftstid på solfangerens plan.

Temperaturen 3 steder i lagerbeholderen - se figur 11.

Diverse rumtemperaturer samt tagrumstemperaturen.

Vindhastigheden langs solfangeren.

Driftstiden af solfangerpumpen.

Driftstiden af pumpen til forvarmebeholderen.

Driftstiden af radiatorretur gennem lager.

Driftstiden af oliefyret.

Driftstiden for tapning af varmt brugsvand.

Alle disse målinger opsamles med det automatiske dataopsamlingsudstyr og udskrives på en papirbåndstation.

Udover disse foretages følgende målinger ved manuel aflæsning med ca. 10 dages mellemrum:

Olieforbruget i liter.

Antal start af oliefyret.

Trykket i solfangerkredsen.

Trykket i radiatorkredsen.

Som kontrol, og for at korrigere for eventuelt udfald af det automatiske dataopsamlingsudstyr aflæses desuden, med ca. 10 dages mellemrum:

Forbruget af varmt brugsvand i liter.

Summeret volumenstrøm i radiatorkredsen i liter.

Driftstiden af oliefyret i timer.

Måleudstyr:

Beregning af varmestrømme foretages udfra måling af volumenstrømme, temperaturdifferenser og absolut temperatur til bestemmelse af varmekapacitet og massefylde.

Volumenstrømmene måles med forskellige målere:

Måleren i solfangerkredsen er en magnetisk flowmåler af fabrikat Eckardt, type 5140000. Fordelene ved denne måler er, at den måler med fortegn, således at baglæns selvcirkulation registreres korrekt, samt at den kun giver ubetydelig strømningssmodstand. Måleren afgiver et analogt signal (0 - 20 mA).

Måleren til forbruget af varmt brugsvand og måleren i radiatorkredsen er ringstempelmålere, fabrikat Aqua Metro, begge type VZTM. Det er pulsgivende målere, der giver en puls for hver 0,01 liter. Fordelene ved denne måler er, at den har et meget bredt måleområde, samt at den er udstyret med supplerende mekanisk tælleværk. Ulemperne er et stort tryktab, samt følsomhed for snavs.

Måleren i kredsen fra lagerbeholderen til eftervarmebeholderen er en turbineflowmåler, fabrikat Flow Technology, type PRC 100.

Temperaturer måles med kobber-konstantan termoelementer af type TT, hvilket angiver, at legeringen er meget nøjagtig.

Temperaturdifferenser, til beregning af varmestrømme, måles med termosøjler bestående af 10 elementer. Herved opnås større nøjagtighed, $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, på måling af de små temperaturdifferenser.

Termotråde og termosøjler i rør og beholdere er anbragt i dykrør fremstillet på laboratoriet.

Af figur 8 fremgår dykrørenes placering i systemet. Det skal her bemærkes, at dykrørene, der måler temperaturdifferencen over solfangeren, er anbragt, så i fordelerrør fra målepunkterne til solfangerelementerne målemæssigt tilhører solfangeren. Tilsvarende er dykrørene anbragt omkring lagerbeholderen, således at den del af rørsystemet målemæssigt tilhører lagerbeholderen.

Solstrålingen måles med Kipp og Zonen solarimetre, anbragt på taget af huset, umiddelbart foran solfangeren. Måling af den diffuse stråling foretages ved, at en skærm skygger for den direkte stråling. Derved afskæres også en del af den diffuse stråling, og målingen er senere korrigeret herfor med en faktor, der afhænger af årstiden.

Vindhastigheden måles med et kopanemoneter, fabrikat Schiltknecht.

Olieforbruget måles med en positiv fortrængningsmåler, (ringstempelmåler).

Opsamling af måledata

Fig. 13 viser et foto af måleudstyret, der er installeret i et skab ved siden af lagerbeholderen. På fig. 14 er vist de enkelte komponenters placering i systemet.

Fig. 15 viser flowdiagrammet til kalkulatorens program. Kalkulatorens autostart, der aktiveres, når strømmen sluttet, altså også efter strømsvigt, bevirker, at en bestemt del af programmet læses fra kalkulatorens magnetbånd. Denne del indeholder en række nødvendige konstanter og slutter med ordre til indlæsning af en ny programdel, der så er det egentlige program til opsamling af måledata.

Princippet er, at kalkulatoren hele tiden aflæser uret og undersøger, om tiden for aflæsning af voltmeteret eller udskrift på papirbåndstationen. Efter en serie aflæsninger eller udskifter aflæses uret igen og således fortsættes.

Uret er forsynet med et batteri, der sikrer korrekt tidsregning ved strømsvigt.

De aflæste spændinger omregnes i kalkulatoren til volumenstrømme, temperaturer m.v. Massefylde og varmfylde udregnes, hvorefter varmestrømmene beregnes og summeres i div. registre. Med passende mellemrum udskrives middelværdier af temperaturer, solindfald mv, samt summer af varmestrømme på papirbåndstationen.

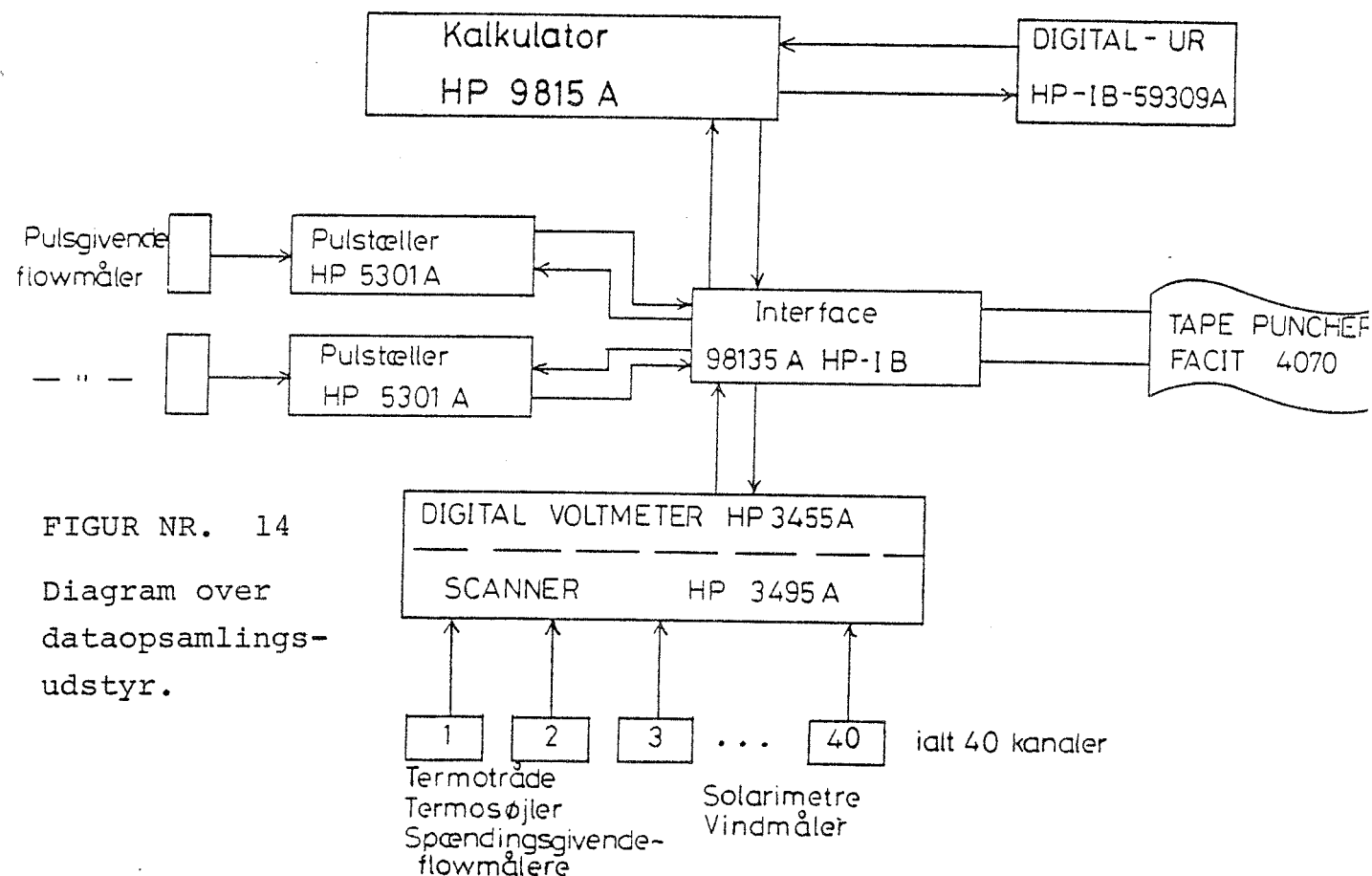
Udover middelværdierne beregnes for totalstrålingen, for temperaturdifferensen over solfangeren og for vindhastigheden, standardafvigelser af de i middelværdien indgående størrelser.

Aflæsningen er delt op i to scan, scan 1 og scan 2.

Scan 1 omfatter solarimetre og driftstid på solfangerpumpen, scan 2 omfatter alle andre målinger. Udskrift af middelværdier og summer af de to scan, foretages hver for sig.



FIGUR NR. 13. Foto af måleskab. Øverst pulstællere for målere til flow i radiator kredse og varmtvandsforbrug. Derunder papirbåndstationen. På næstnederste hylde ur og kalkulator og nederst voltmeter og scanner.

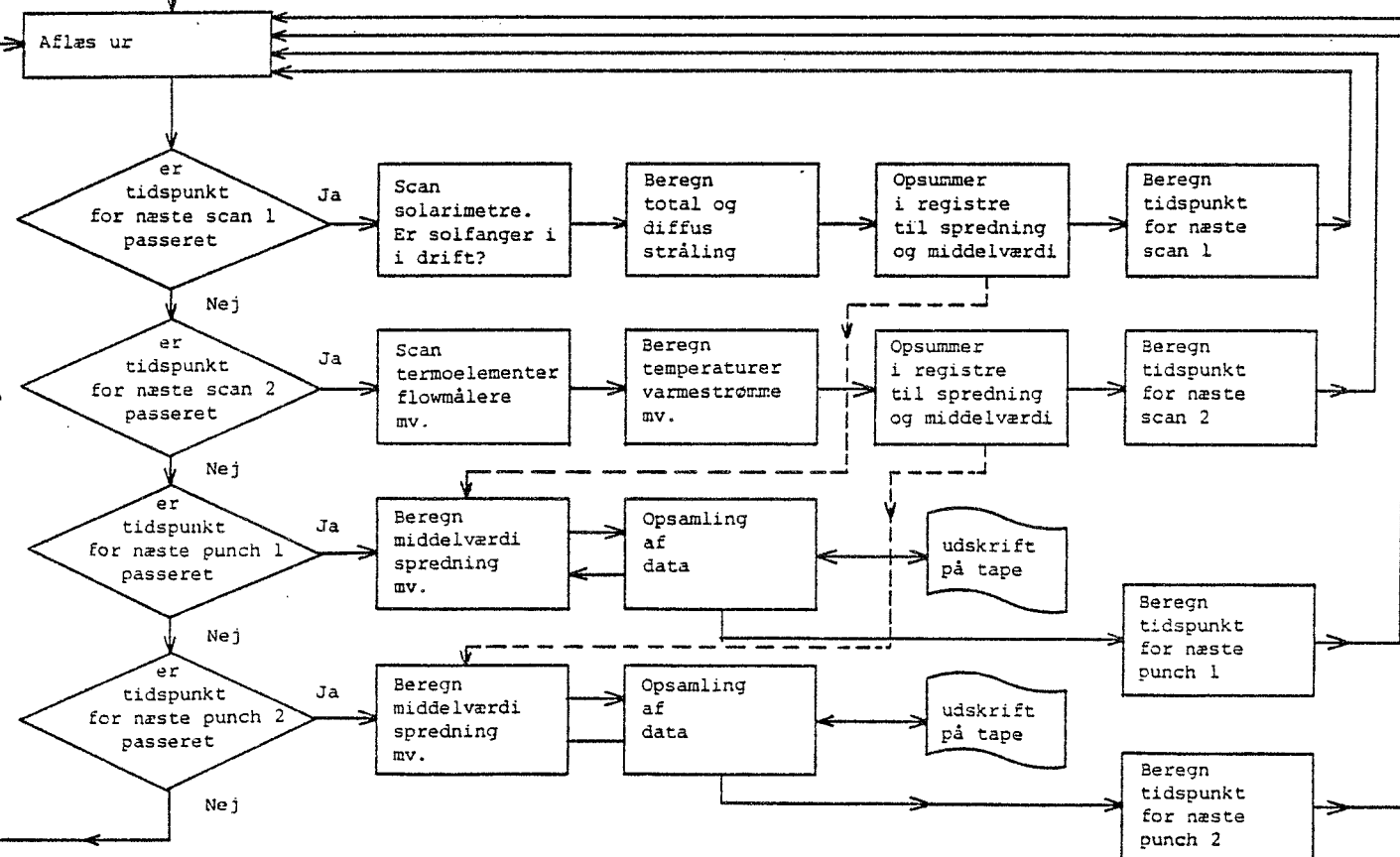


FIGUR NR. 14

Diagram over dataopsamlings-udstyr.

Autostart:
Indlæs div. konstanter. Aflæs ur.
Beregn tidspunkt for næste scan 1 og 2
Beregn tidspunkt for næste punch 1 og 2

FLOWDIAGRAM FOR PROGRAM
TIL KALKULATOREN HP 9815A



FIGUR NR. 15. Flowdiagram til kalkulatorens program.

Tidsintervallet mellem to scan 1, to scan 2, og udskrift af disse, kan vælges uafhængigt af hinanden.

Vi har i det forløbne år hovedsageligt brugt 15 sec. mellem to scan 1 og udskrift af middelværdier og summer af disse for hver 15 minutter. Og med 60 sec. mellem to scan 2 og udskrift for hver 60 minutter. Der er på den måde plads til 11 dages målinger på et papirbånd. For ikke at miste for mange data på grund af driftsstop har vi installeret en alarm, der går igang, hvis der intet er skrevet på puncheren i 20 minutter. Husets beboere ringer da til os, når de hører alarmen. Den har været i brug flere gange.

Behandling af måledata

Den første behandling af måleresultater foretages i programmeringssproget SAS (Statistical Analysis System), som er meget anvendeligt til behandling af store datamængder. Man får ved hjælp heraf en udskrift af samtlige måleresultater i tabelform, beregning af summer, middelværdier m.v. Herefter gemmes måleresultaterne på magnetbånd, hvorfra de senere hentes til videre behandling.

6. Måleresultater for første måleår

For at få måleresultater, der repræsenterer et helt år, er devigtigste størrelser først og fremmest varmestrømme, korrigeret for bl.a. manglende måledata. Vi har for perioden måledata for 95,5% af tiden.

63% af de manglende måledata stammer fra en periode på 10 dage i april-maj, hvor calculatorens magnetbånd knækkede umiddelbart efter et tilsyn af anlægget. Fejlen skyldtes svigtende netspænding under arbejde med el-installationer et andet sted i bebyggelsen. Hver gang spændingen faldt, og det skete mange gange hurtigt efter hinanden, forsøgte calculatoren en auto-start, hvilket til sidst resulterede i brud på magnetbåndet. Derudover har vi kun haft udfald på op til 2 dages varighed. I begyndelsen af juli blev alarmsystemet installeret og siden da har vi kun haft kortvarige udfald.

Korrektioner

Korrektion er foretaget ud fra følgende principper:

- 1) Forbruget til rumopvarmning er korrigeret med forholdet mellem antal graddage for hele måneden og antal graddage i måletiden.
- 2) Forbruget til varmt brugsvand er beregnet ud fra forbruget i liter i udfaldsperioden (aflæst på måler med mekanisk tælleværk), og ud fra tilført varmemængde pr. liter brugsvand før og efter udfaldet. Er der både for og eftervarmning af brugsvandet benyttes samme dækningsgrad som for resten af måneden.
- 3) Varmetab fra beholdere og rør er beregnet på grundlag af tabskoefficienter og den aktuelle temperaturdifferens.
- 4) For måneder med udfald hvor middeltemperaturen af lagerbeholderen er meget forskellig fra lagerets temperaturniveau i perioden med manglende måledata, er der beregnet en ny middellagertemperatur under antagelse om lineært temperaturforløb i lagerbeholderen i udfaldsperioden.

- 5) Ud fra pkt. 1-4 kan varmetilførslen fra solfangeren til tanken beregnes.
- 6) Solindfaldet (totalt og i driftstiden) beregnes ud fra antagelse om uforandret nyttevirkning af solfangeren.

Da der som nævnt er målt i 95,5% af tiden, vil selv en forholdsvis stor unøjagtighed på de beregnede værdier for udfaldsperioderne ikke influere på de endelige månedsresultater.

Ud over ovennævnte korrektioner har det i perioder været nødvendigt at korrigere målingerne af varmestrømme fra solfangeren for en mindre nulpunktsfejl på flowmåleren i solfangerkredsen.

Måleresultater

Figur 16 viser de således korrigerede måleresultater.

Fyrets nyttevirkning er defineret som den varmemængde, der er tappet til rumvarme og til brugsvand fra eftervarmebeholderen i % af nedre brændværdi (9,85 kWh/l olie) af den indfyrede oliemængde. Nyttevirkningen varierer fra 37% i juni, hvor belastningen er meget lille, til 86% i december. For hele måleperioden er nyttevirkningen 75%, hvilket er fuldt tilfredsstillende.

De vigtigste værdier fra tabellen er vist i histogrammerne figur 17-24.

Solfangerens effektivitet, månedsværdier

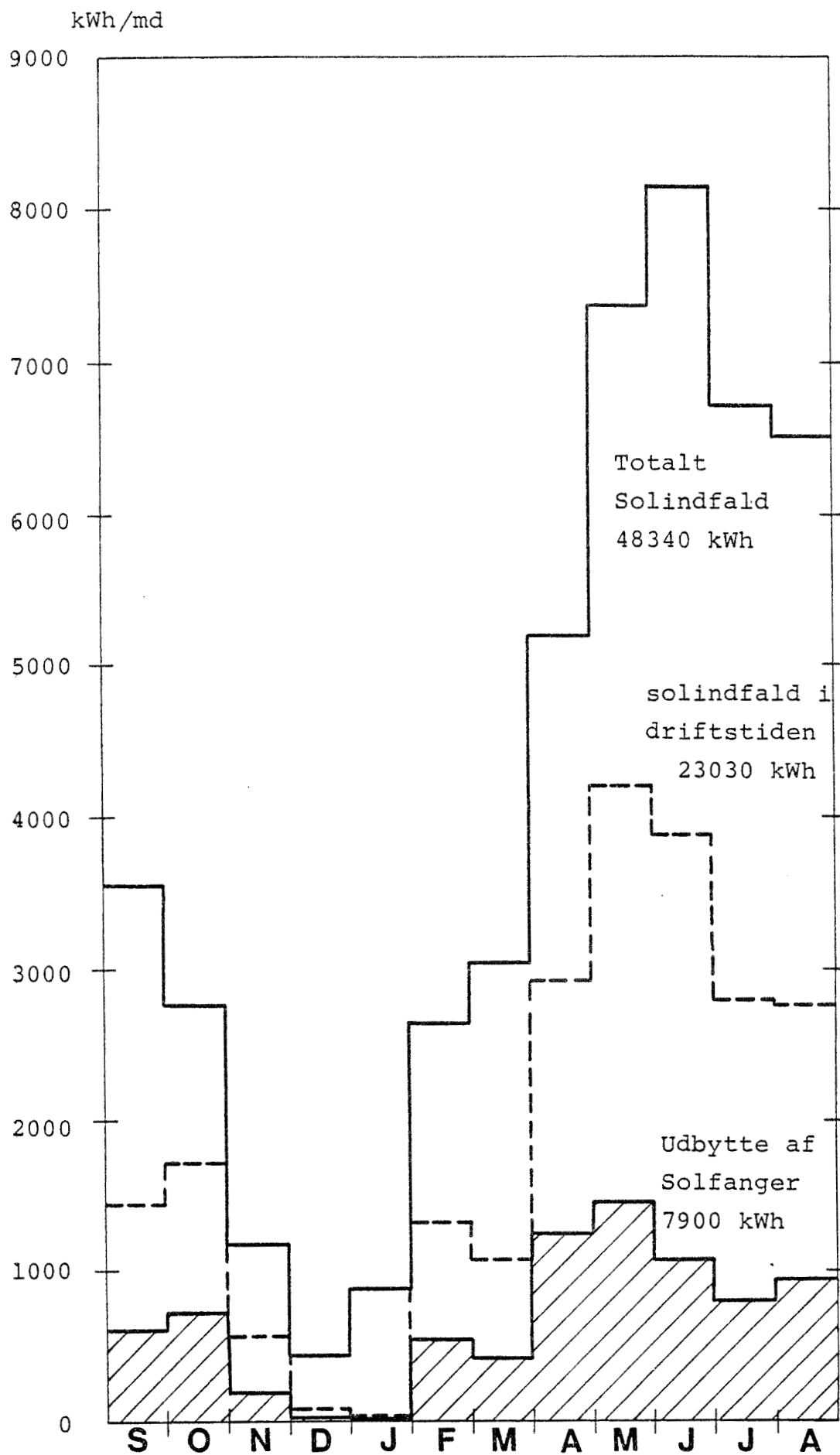
Figur 17 viser solindfaldet og udbyttet af solfangeren, og figur 18 viser de tilhørende effektiviteter. Solfangeren har opsamlet 16% af den totale stråling svarende til 34% af solindfaldet i driftstiden.

		Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	Marts	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sum/middel
Måletid	%	98	93	100	100	93	100	100	88	78	100	96	100	95,5 %
Totalt solindfald	kWh	3540	2760	1150	435	876	2635	3030	5188	7355	8131	6722	6520	48342,961 kWh/m ²
Diffust solindfald pct. af total	%	59	60	55	57	60	58	68	50	49	44	55	52	53 %
Totalt solindfald i driftstiden	kWh	1430	1720	560	75	32	1310	1095	3112	4203	3891	2812	2787	23027 kWh
Diffust solindfald i driftstiden, pct. af totalt i driftstiden	%	25	41	30	21	34	32	43	33	35	27	34	36	33 %
Driftstid af solfanger	h	56	66	22	3	2	50	41	92	116	105	83	81	717 h
Udbytte af solfanger	kWh	590	620	181	24	14	543	417	1240	1451	1065	800	948	7904 kWh
Effektivitet mht. totalt solindfald	%	17	22	16	6	2	21	14	24	20	13	12	26	16 %
Effektivitet mht. totalt solindfald i driftstiden	%	42	36	32	32	44	41	38	40	35	27	28	34	34 %
Tab i rør mellem solfanger og lager	kWh	95	67	15	2	2	25	30	60	99	86	86	134	709 kWh
Middeltemperatur af lagerbeholder	°C	42	24	25	16	6	20	25	32	49	65	58	58	35 °C
Tilført lagerbeholder	kWh	510	570	172	23	12	531	398	1205	1385	1006	736	836	7388 kWh
Varmetab fra lager	kWh	193	80	107	116	59	161	114	185	301 ^x	365 ^x	325 ^x	315 ^x	2321 kWh

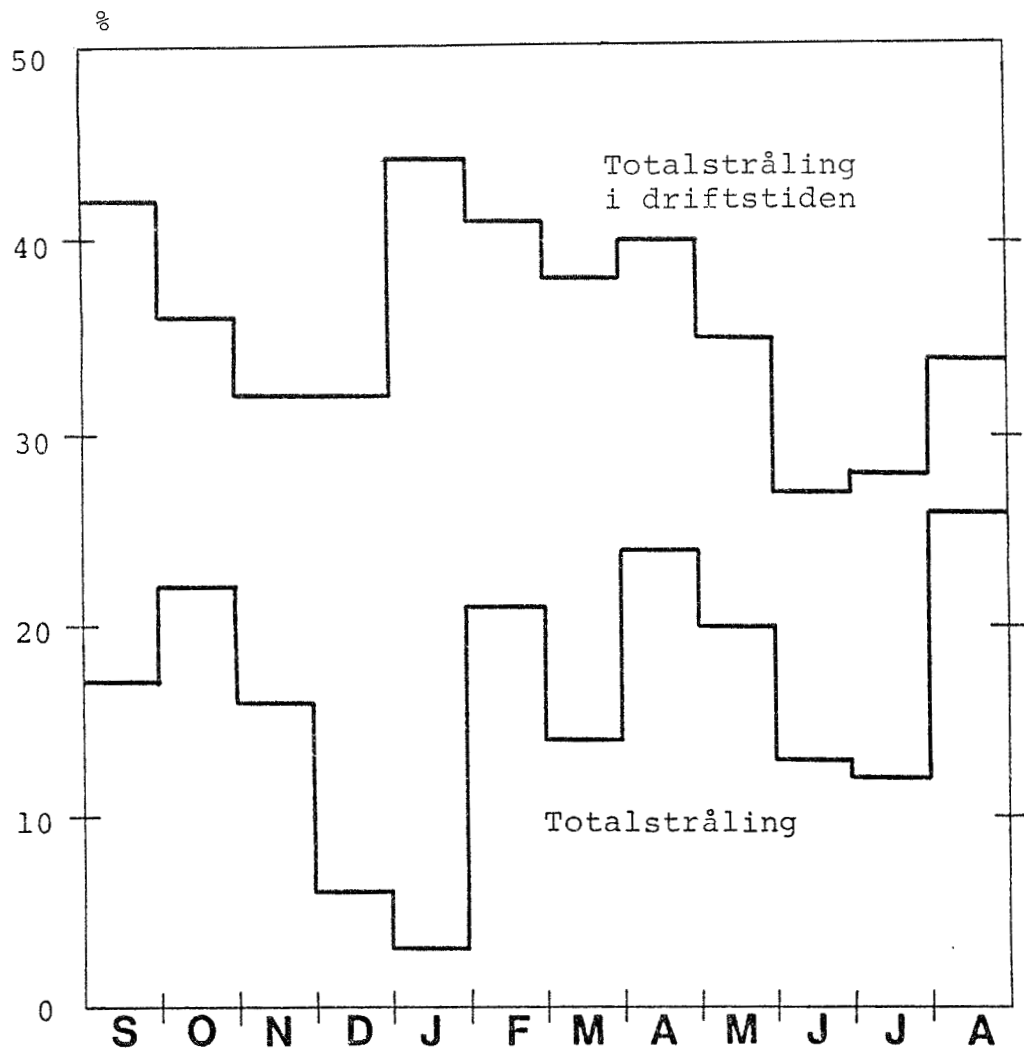
	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	Marts	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sum/middel
Tappet fra forvarme- beholder	0	0	0	0	7	73	101	140	236	215	133	232	1137 kWh
Tappet fra efter- varmebeholder	0	0	6	13	322	283	268	219	83	18	0	0	1212 kWh
Samlet varmtvands- forbrug	0	0	6	13	329	356	369	359	319	233	133	232	2349 kWh
Heraf Solvarme			0	0	2	21	27	39	74	92	100	100	48 %
Fyrets nyttevirkning	43		73	86	80	71	80	63	39	37			75 %
Tappet fra kedel til rumvarme (incl.pumpeeffekt)	110	30	1292	3115	2610	2652	2662	954	133	7	7	0	13572 kWh
Tappet fra lagertank til rumvarme	530	570	19	0	-19	93	175	806	480	177	155	67	3053 kWh
Samlet forbrug til rumvarme	640	610	1311	3115	2591	2745	2837	1760	613	184	162	67	16625 kWh
Heraf solvarme	83	95	1	0	-1	3	6	45	75	93	96	100	18 %
Samlet varmeforbrug	640	610	1317	3128	2920	3101	3206	2119	932	417	288	299	18974 kWh
Heraf solvarme	530	570	19	0	-12	166	276	946	716	392	288	299	4190 kWh
Heraf solvarme	83	93	1	0	0	5	9	44	75	92	100	100	22 %
Olieforbrug	19	0	176	366	368	415	366	182	49	5	0	0	1946 l

FIG. NR. 16. Tabel over måleresultater for første måleår.

x) Varmetabet fra lagerbeholderen er i maj-august beregnet ud fra middeltabskoefficienten for de første 8 mdr. - se side 59.



FIGUR NR. 17. Solindfald på de 50m² og udbytte af solfangeren.



FIGUR NR. 18. Effektivitet af solfanger mht. totalstrålingen og totalstrålingen i driftstiden.

Varmeforbrug og ydelse af solvarmeanlæg

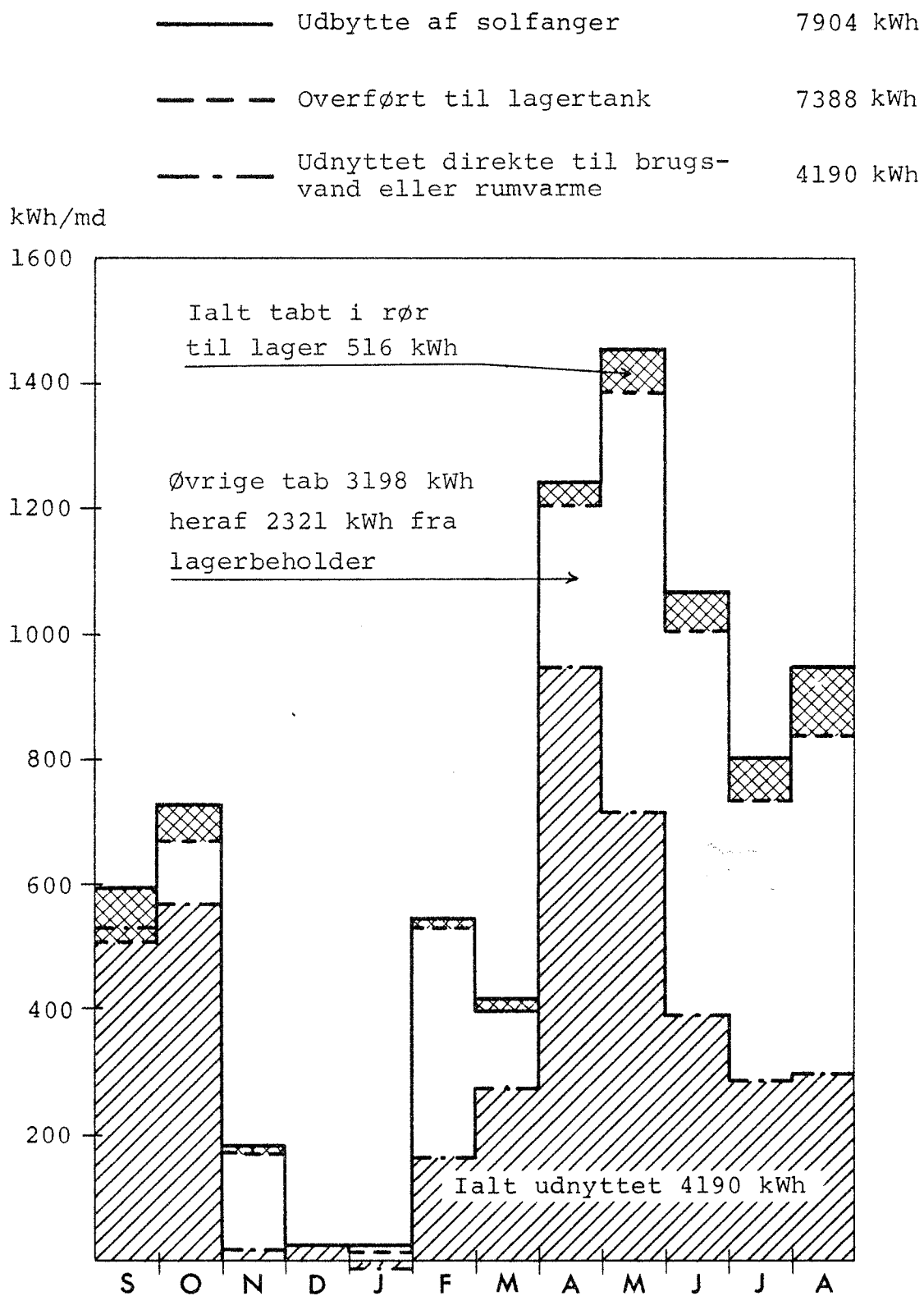
Figur 19 viser, hvor meget af solfangerens udbytte der er tabt i rørsystemet fra målepunkterne efter fordeler- og samlerør og til lagerbeholderen, og hvor stor en del af hver enkelt måneds produktion der er udnyttet direkte. I starten af måleperioden er tabene små i forhold til den udnyttede varmemængde. Dette skyldes, at der nyttiggøres solvarme indsamlet før 1. september.

Det totale varmeforbrug og den af solvarmeanlægget leverede varmemængde er vist på figur 20. Årsforbruget var 18970 kWh og heraf dækkes de 4190 kWh med solvarme. Dækningsgraden bliver således 22%.

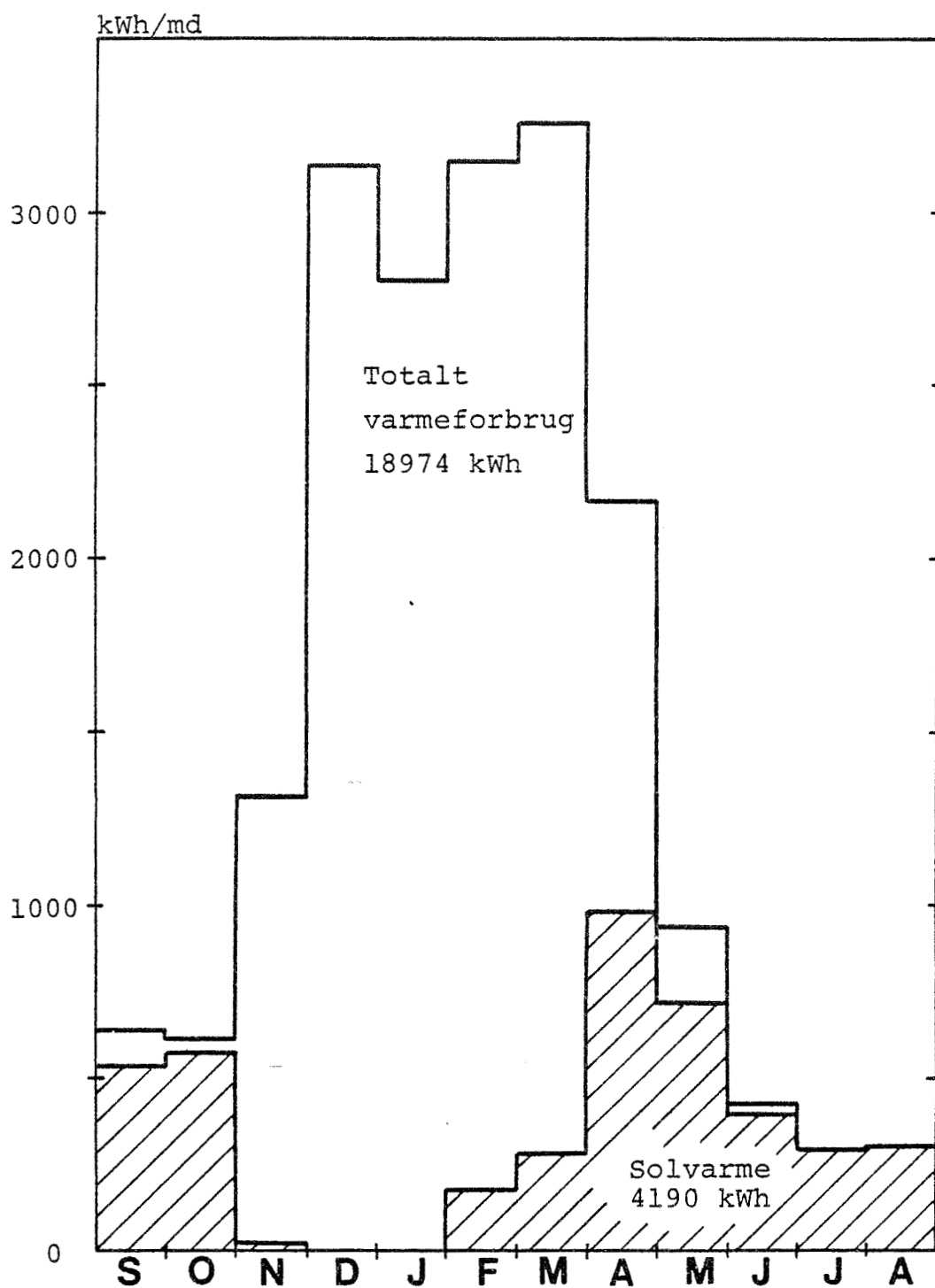
På figur 21 er forbrug af solvarme fordelt på brugsvand og rumopvarmning.

Der er intet varmtvandsforbrug af betydning, før der i begyndelsen af januar installeres et automatisk aftapningsudstyr. Huset bliver beboet den 1. april, og i april og maj svarer forbruget nogenlunde til den varmemængde, der blev tappet i februar og marts. De sidste tre måneder af måleperioden falder forbruget på grund af weekend- og ferieture.

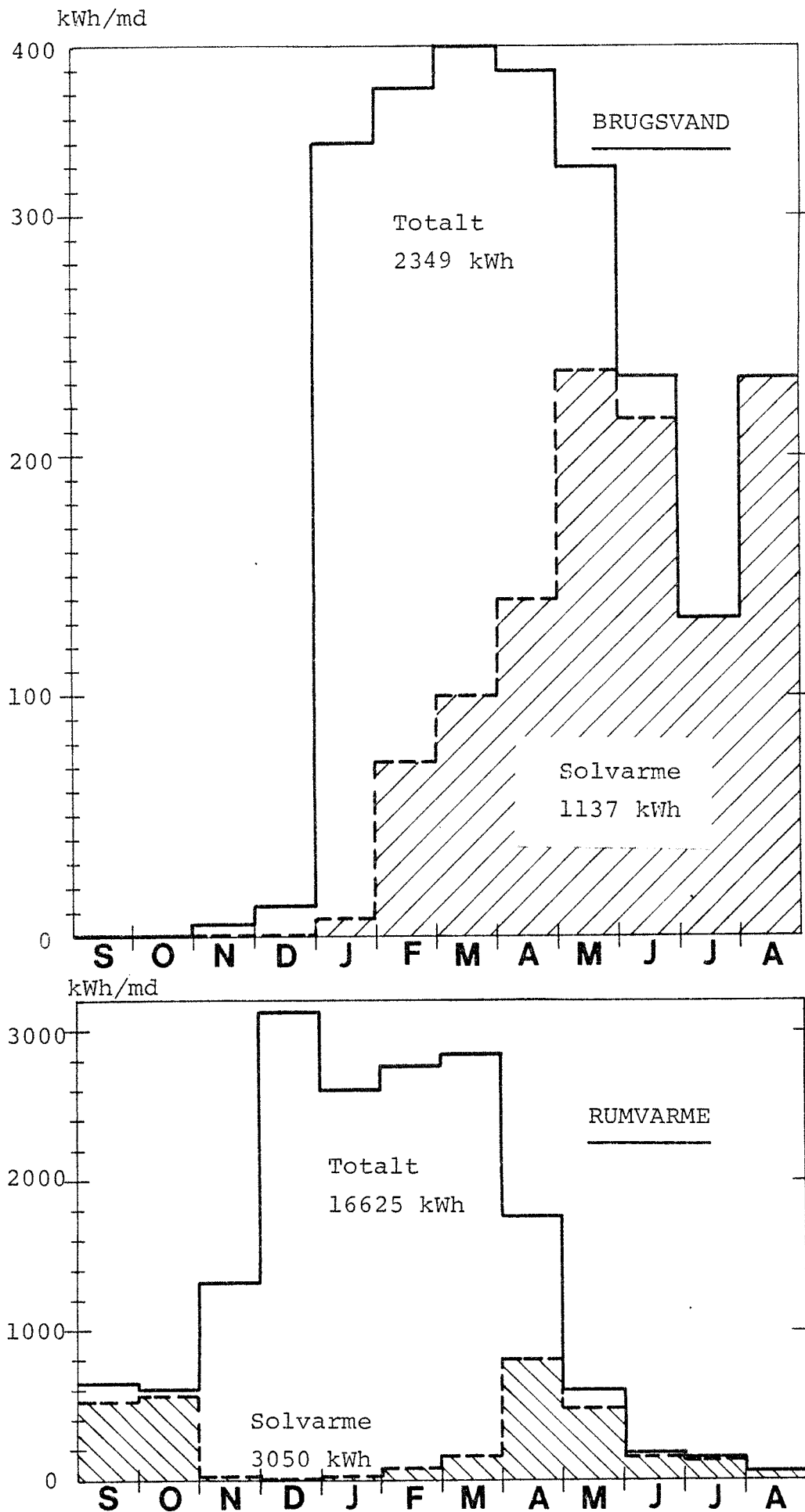
Årsforbruget til varmt brugsvand var 2350 kWh, hvoraf solvarmeanlægget har leveret 1140 kWh eller 48%. Rumopvarmingsforbruget var 16620 kWh, hvoraf 3050 kWh eller 18% blev dækket med solenergi. Af tallene fremgår det, at anlægget virkelig fungerer som et kombineret anlæg, idet begge forbrugssteder aftager en rimelig del af den nyttiggjorte solvarme. Dette forhold vil næppe ændres, selv om måleperioden havde indeholdt et "rigtigt" varmtvandsforbrug.



FIGUR NR. 19. Solfangerydelse, tab i rør og lager og udnyttet solenergi.



FIGUR NR. 20. Totalt varmeforbrug og udnyttet solvarme.
Dækningsgrad = 22%.



FIGUR NR. 21. Forbrug og solvarme opdelt på brugsvand og rumvarme.

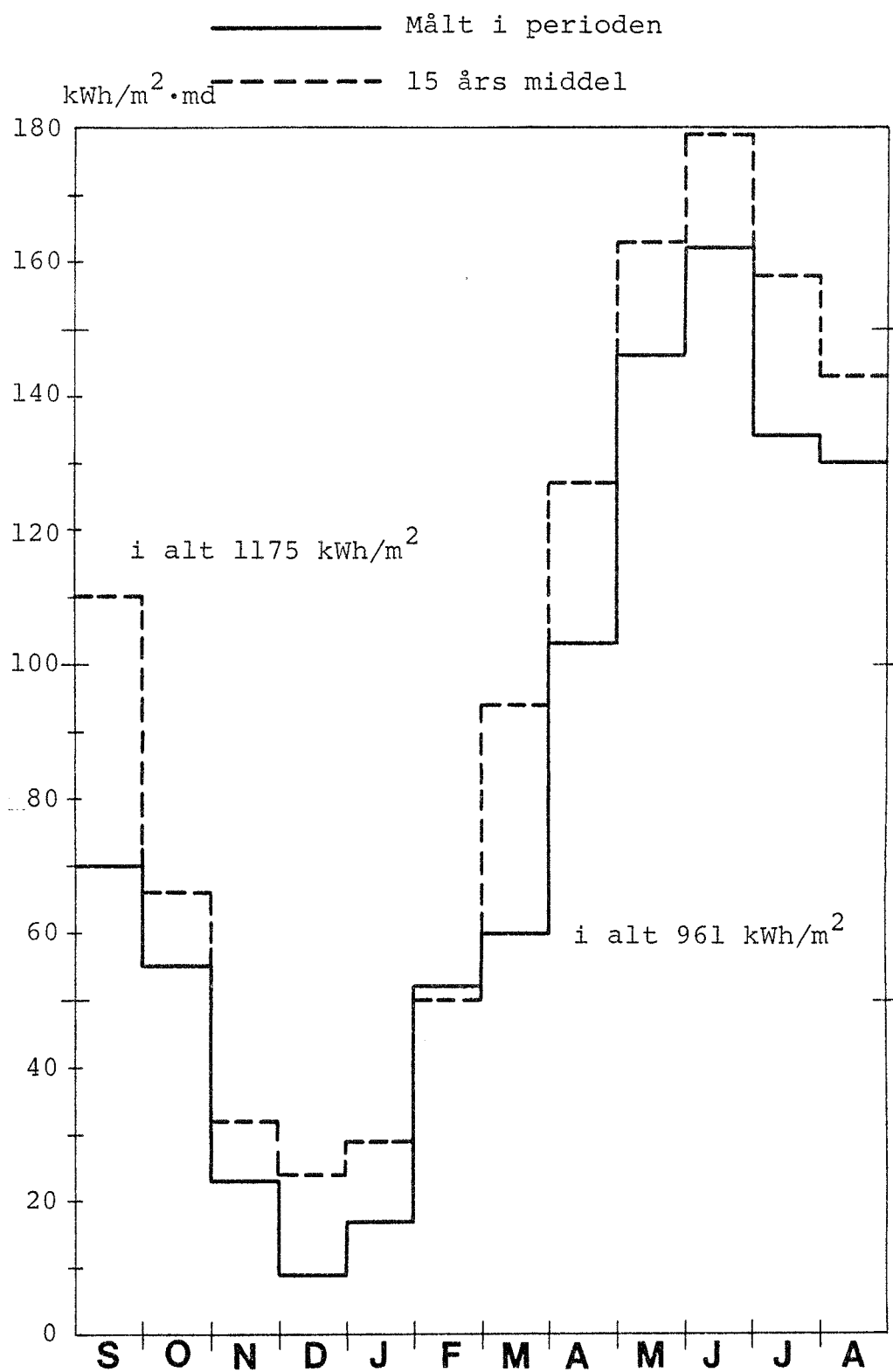
Solindfald

Figur 22 viser totalstrålingen på solfangerens plan i måleperioden sammenlignet med middelværdien af 15 års målinger, målt i perioden 1959 til 1973 ved Højbakkegård i Tåstrup. Bortset fra februar måned har måleperiodens solindfald været lavere end middelværdierne.

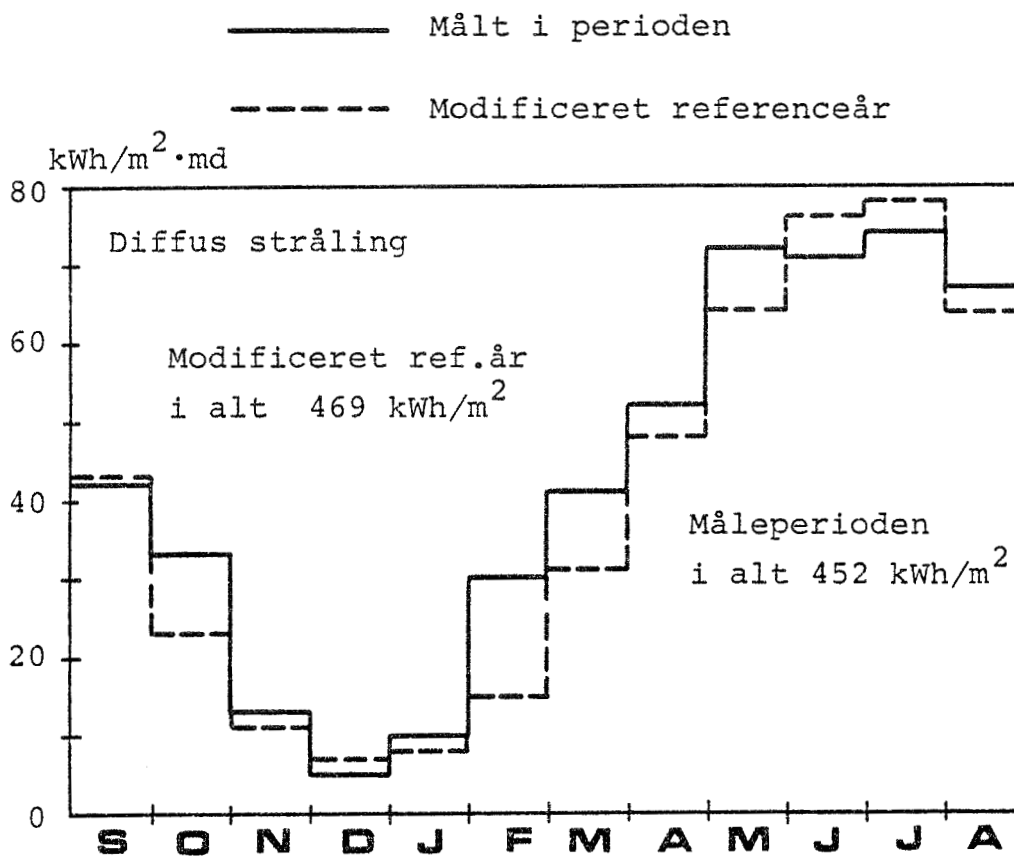
Middelværdien af de 15 års målinger er 1175 kWh/m^2 , mens der i perioden er målt 961 kWh/m^2 svarende til 18% mindre. Totalstrålingen i de 15 år svinger mellem 1028 kWh/m^2 i 1966 og 1306 kWh/m^2 i 1959. Der er altså tale om et meget lavt solindfald i måleperioden.

På figur 23 er den målte diffuse stråling sammenlignet med det modificerede referenceårs (reference [5]). Det modificerede referenceår bygger på målingerne i Tåstrup. Totalstrålingen i det modificerede referenceår svarer til middelværdien af de 15 års målinger. Det fremgår af figuren, at den diffuse stråling ikke afviger meget fra referenceårets, hverken i fordeling eller totalt. Den diffuse stråling har derfor udgjort en procentvis større del af totalstrålingen end i referenceåret. Dette er vist på figur 24. Den diffuse stråling er således målt til 53% af totalstrålingen, mens den tilsvarende værdi for referenceårets vejrdato bliver 40%.

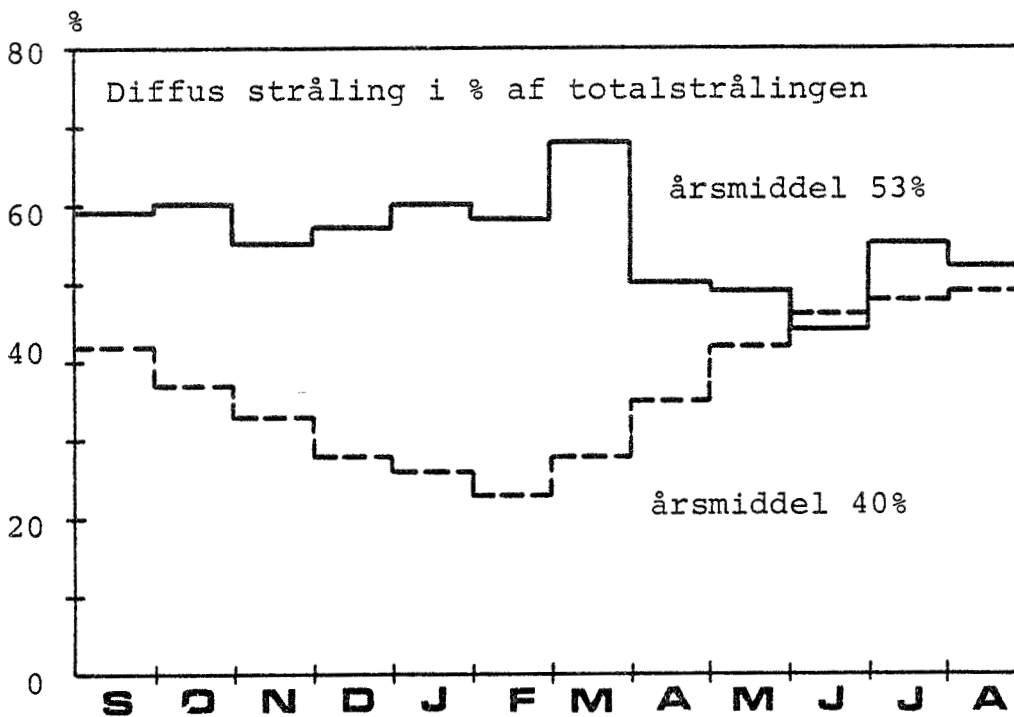
Den direkte stråling, der er forskellen mellem den totale og den diffuse stråling, er vist på figur 25. Med undtagelse af juni måned ligger alle månedsværdier under det modificerede referenceårs værdier. Forskellen mellem den målte værdi og referenceårets værdi er 200 kWh/m^2 , hvilket er tæt på de 214 kWh/m^2 , totalstrålingen er mindre end 15 års middelværdien. En reduktion af det totale solindfald er altså først og fremmest en reduktion af den direkte stråling.



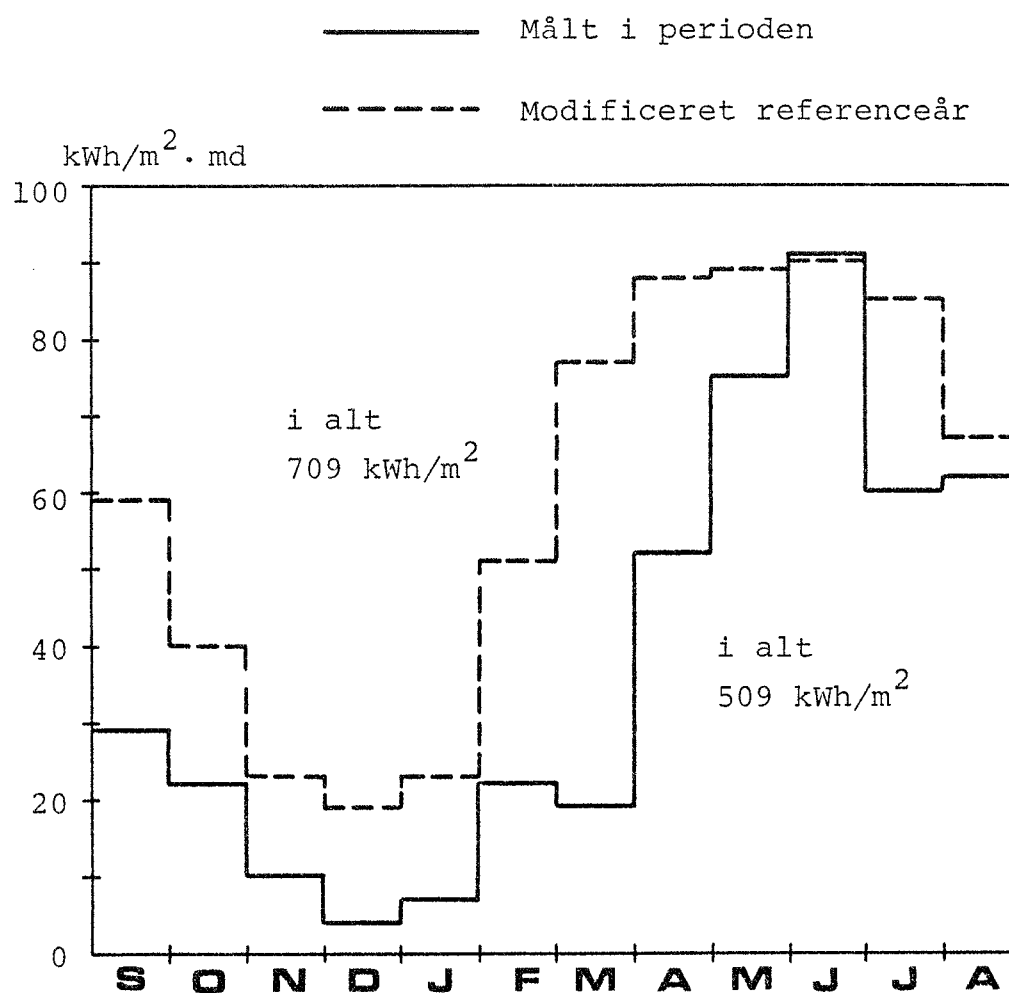
FIGUR NR. 22. Totalstråling på solfangerens plan
Hældning = 38° fra vandret
Orientering = 30° mod vest i forhold
til syd.



FIGUR NR. 23. Diffus stråling i kWh/m².



FIGUR NR. 24. Diffus stråling i % af totalstrålingen.



FIGUR NR. 25. Den direkte stråling på solfangerens plan i måleperioden og i det modificerede referenceår.

Temperaturkurver

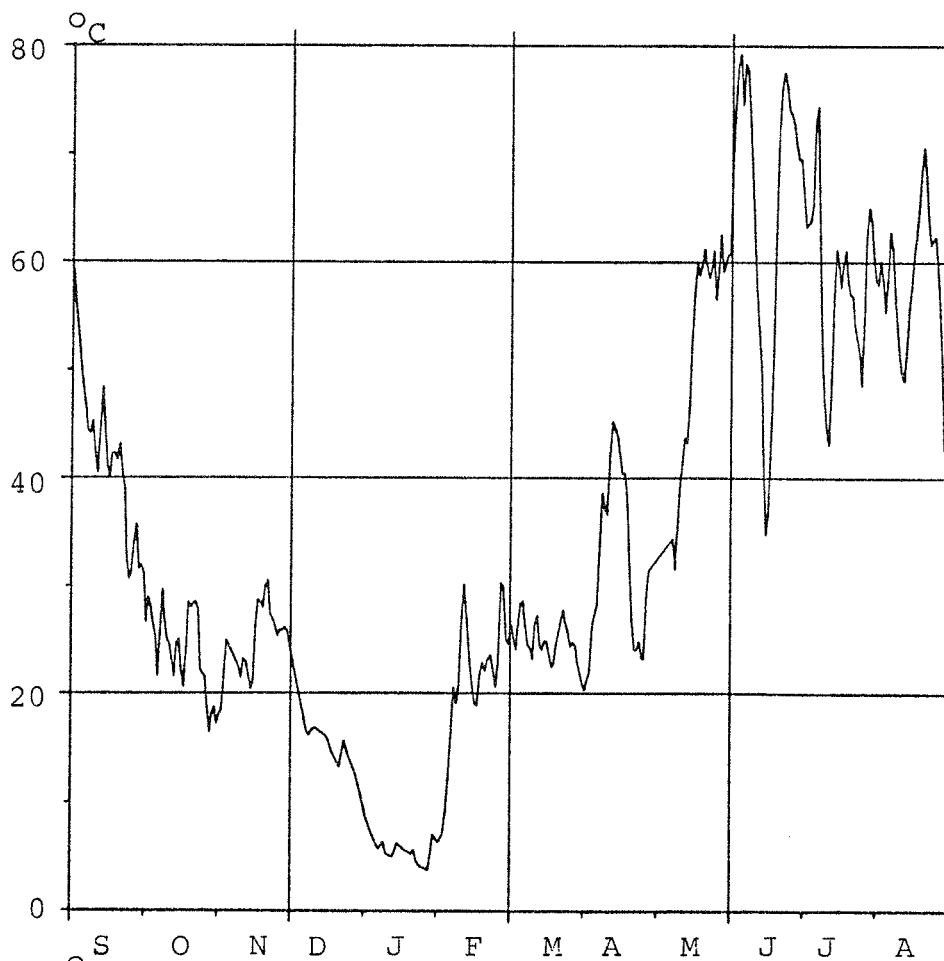
Figur 26 viser lagertemperaturen optegnet på grundlag af døgnmiddelværdier. I starten af måleperioden falder temperaturen på grund af et stort forbrug til rumopvarmning. I december og januar falder lagertemperaturen yderligere, og når sidst i januar ned på under 4°C . Varmelegemet i lagerbeholderen var i brug et par gange i januar og tilførte tanken nogle få kWh. Desuden blev tanken den 29. januar varmet ca. 3°C op ved hjælp af radiatorreturen. Dette blev gjort, fordi temperaturen i tanken var nået ned på lidt under den værdi el-patronen burde holde tanken på (ca. 4°C). I tabellen på figur 16 er solvarmebidraget til rumopvarmning derfor negativt (-19 kWh).

I begyndelsen af juni måles periodens højeste lagertemperatur på 84°C , hvilket fik kogningssikringen til at holde pumpen i solfangerkredsen igang den følgende nat. Midt i juni er temperaturen faldet til 32°C . Det blev derfor nødvendigt at tænde oliefyret, der var blevet slukket den 15. maj. Fyret var i drift i 3 dage.

Ved måleperiodens slutning den 31. august 1979 er lagerbeholderens temperatur $57,0^{\circ}\text{C}$, hvilket er $4,1^{\circ}\text{C}$ mindre end den 1. september 1978. Temperaturforskellen svarer til et fald i tankens varmeindhold på 26 kWh.

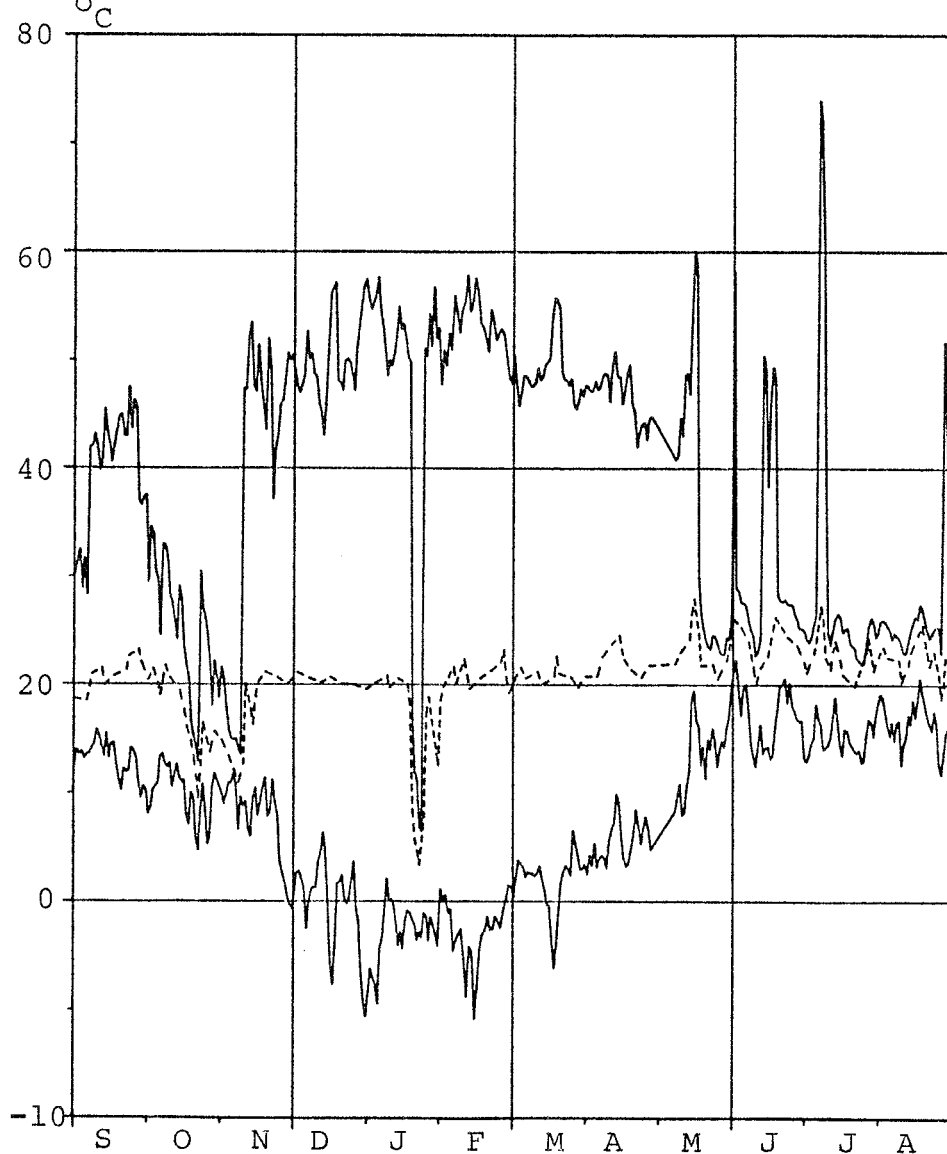
På figur 27 er vist fremløbstemperaturen til radiatorerne som den maximale døgnværdi, samt døgnmiddelværdier for rumtemperatur og udetemperatur. I oktober-november falder både rumtemperatur og fremløbstemperatur. Dette skyldes, at oliefyret er ude af drift i et par uger, hvor rumtemperaturen søges opretholdt med lagertemperaturen som fremløbstemperatur. Et lignende fald i de to temperaturer i januar skyldes, at radiatoranlægget fejlagtigt var afspærret i en uges tid.

I midten af maj slukkes for både oliefyr og cirkulationspumpe. Først i begyndelsen af juni startes cirkulations-



FIGUR NR. 26

Lagerbeholderens
middeltemperatur
(døgnværdier).



FIGUR NR. 27

Fremløbs-
temperatur
(max.døgn værdi)

Rumtemperatur
(døgnværdier)

Udeluft-
temperatur
(døgnværdier)

pumpen igen, hvorved fremløbstemperaturen stiger til en værdi svarende til lagertemperaturen. Dette gentager sig yderligere tre gange i juni-august.

Kurven for udetemperaturen viser, at det var en kold vinter. Minimumtemperaturen er i december og januar målt til henholdsvis $-12,6^{\circ}\text{C}$ og $-11,2^{\circ}\text{C}$. Månedsmiddelværdierne var $-0,2^{\circ}\text{C}$ og $-3,2^{\circ}\text{C}$.

Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning

Figur 28 viser solvarmeanlæggets reelle energibesparelse, under hensynstagen til udnyttet varmetab, forbruget af energi til pumper og besparelsen som følge af, at oliefyret har været afbrudt i sommerperioden. Den sparede energimængde er omregnet til liter olie, under hensynstagen til oliefyrets nyttevirkning.

Tomgangstabet er summen af radiatortabet og gennemtrækstab. I en periode på seks dage uden forbrug er olieforbruget målt til 1,0 l/døgn. Idet oliefyrets skorstenstab er målt til 15%, svarer de 1,0 l olie pr. døgn til et tomgangstab på ca. 350 W. I hele måleperioden, hvor fyret er i gang 66% af tiden, udgør tabet fra kedelunit'en ca. 2000 kWh. Til sammenligning er varmetabet fra lagerbeholderen ca. 2300 kWh.

Den sparede energimængde er summen af nyttiggjort solvarme, nyttiggjort varmetab og sparet tomgangstab minus forbruget af energi til pumper i solvarmeanlægget.

Den fyringsnyttelvirkning, der benyttes til beregning af den fortrængte oliemængde, indeholder kun røgtabet. Den fortrængte oliemængde angiver da den mængde olie, der skulle

Tomgangstab for fyr	W	350 W *)
Røgtab fra fyr	%	15 **)
Q1 Nyttiggjort solvarme	kWh	4190
Q2 Nyttiggjort varmetab	-	0
Q3 Sparet tomgangstab	-	1040
Q4 Elforbrug til pumper	-	330 ***)
Q5 Energibesparelse Q1+Q2+Q3-Q4	-	4900
Fortrængt oliemængde $\frac{Q1+Q2+Q3}{\eta_{fyr} \cdot 9,84}$	l	625
Energibesparelse	kWh/m ² ·år	97
Fortrængt oliemængde	l/m ² ·år	12,4

*) Målt som olieforbrug af ubelastet fyr ganget med fyringsnyttevirkning. Målingen er foretaget ved en kedeltemperatur på 65°C.

**) Beregnet udfra måling af CO₂-tal og røgtemperatur ved et sodtal på 0-1.

***) 230 kWh til solfangerpumpen og 100 kWh til pumpen fra lager til forvarmebeholder.

FIGUR NR. 28. Tabel over energibesparelse og oliefortrængning

have været brugt extra, hvis oliefyret skulle have dækket den energimængde, som solvarmeanlægget har leveret. Tomgangstabet skal også divideres med nytteeffekten, da dette ikke indeholder røgtabet.

Oliefortrængningen bliver 12,4 l/m²·år. Energibesparelsen bliver 97 kWh/m²·år.

Solfangerens effektivitet, timeværdier

I kapitel 6 er solfangerens effektivitet beregnet på grundlag af månedsværdier, som indeholder målinger, hvor solfangeren er i drift mindre end een time. Timemiddelværdien for solindfaldet ved opstart svarer derfor ikke til det målte udbytte af solfangeren.

På figur 29 er vist solfangerens effektivitet beregnet ud fra målinger, hvor solfangeren er i drift en hel time. For at få et udtryk for selve solfangerens effektivitet er måleværdierne forhøjet med det beregnede varmetab fra rørstrækningen mellem solfangeren og målepunktet beregnet ved hjælp af de målte temperaturer. Effektiviteten er vist som funktion af $(t_m - t_a)/I$, hvor

t_m	er solfangervæskens middeltemperatur	$^{\circ}\text{C}$
t_a	er lufttemperaturen	$^{\circ}\text{C}$
I	er det totale solindfald	W/m^2

Figuren indeholder værdier for perioden august 1978 - august 1979, i alt 428 målepunkter, der ligger i et forholdsvis afgrænset område.

Måling af solfangeres effektivitet i prøvestand sker normalt under stationære forhold. For at opfylde dette krav udelades måleværdier, hvor forskellen mellem foregående og aktuelle timers solindfald er større end 100 W/m^2 , samt dagens første hele times drift. Desuden kræves følgende betingelser opfyldt:

$$\begin{aligned} 700 < I < 900 \quad \text{W/m}^2 \\ \text{indfaldsvinkel} < 30^{\circ} \\ t_a > 10^{\circ}\text{C} \\ \text{vindhastighed} > 2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Herved reduceres antallet af måleværdier til 54. Ved en regressionsanalyse findes effektiviteten eff at kunne udtrykkes ved ligningen:

$$\text{eff} = 0,64 - \left(3,6 + 0,03 \cdot (t_m - t_a) \right) \frac{t_m - t_a}{I}$$

I nogle tilfælde angives effektivitetskurven ved en ret linie - bl.a. til brug for en del regneprogrammer. En lineær tilnærmelse for de 54 målepunkter giver ligningen:

$$\text{eff} = 0,70 - 6,1 \cdot \frac{t_m - t_a}{I}$$

Begge kurver er indtegnet på figur 30. For den første ligning er I sat til 800 W/m^2 .

For de to ligninger fås $F' \cdot U_L = -\text{koefficienten til } (t_m - t_a)/I$ til:

$$\text{I)} \quad F' \cdot U_L = 3,6 + 0,03 \cdot (t_m - t_a) \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

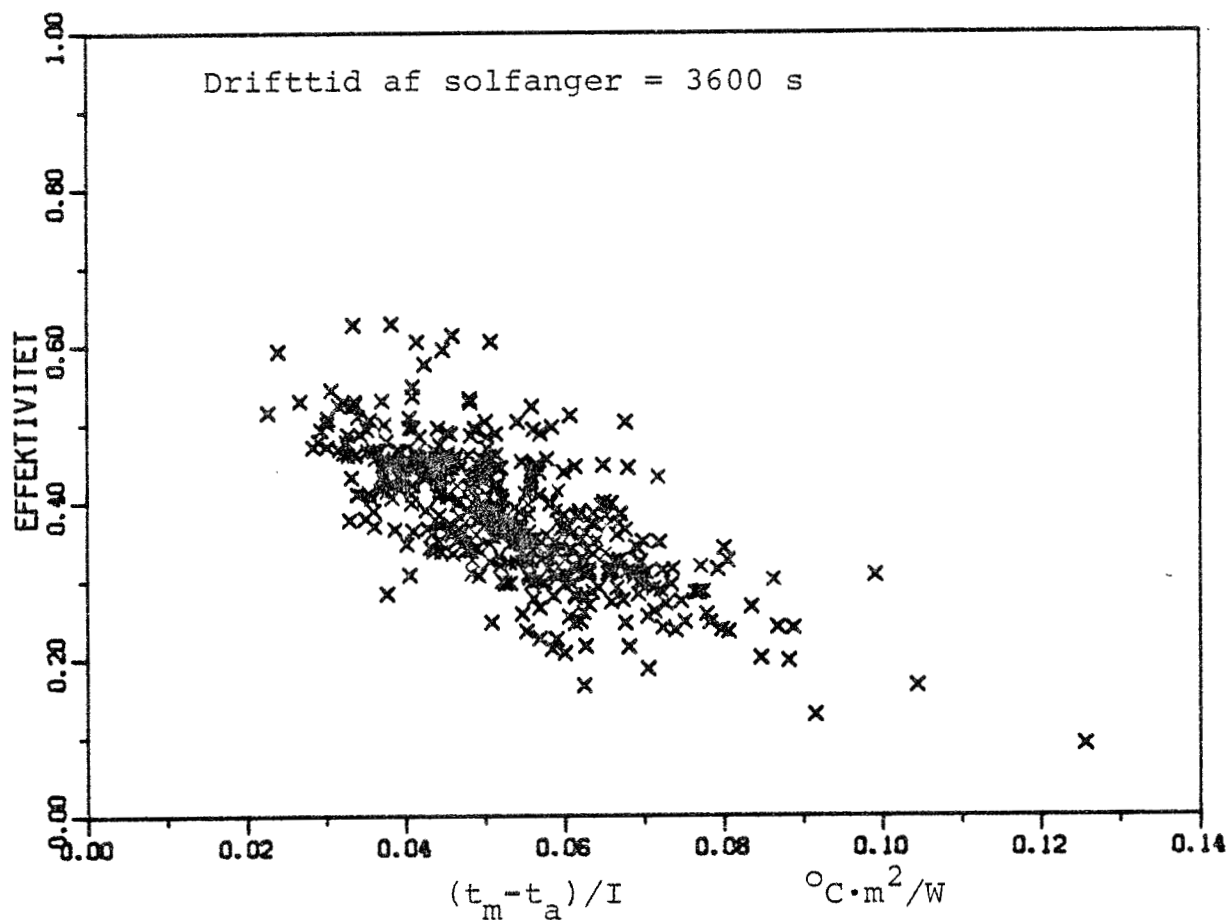
$$\text{II)} \quad F' \cdot U_L = 6,1 \quad "$$

hvor F' er en effektivitetsfaktor ≤ 1 , som reducerer udbyttet, hvis absorbereren ikke er kølet overalt. I dette tilfælde er $F' \cong 1,0$. F' er ubenævnt.

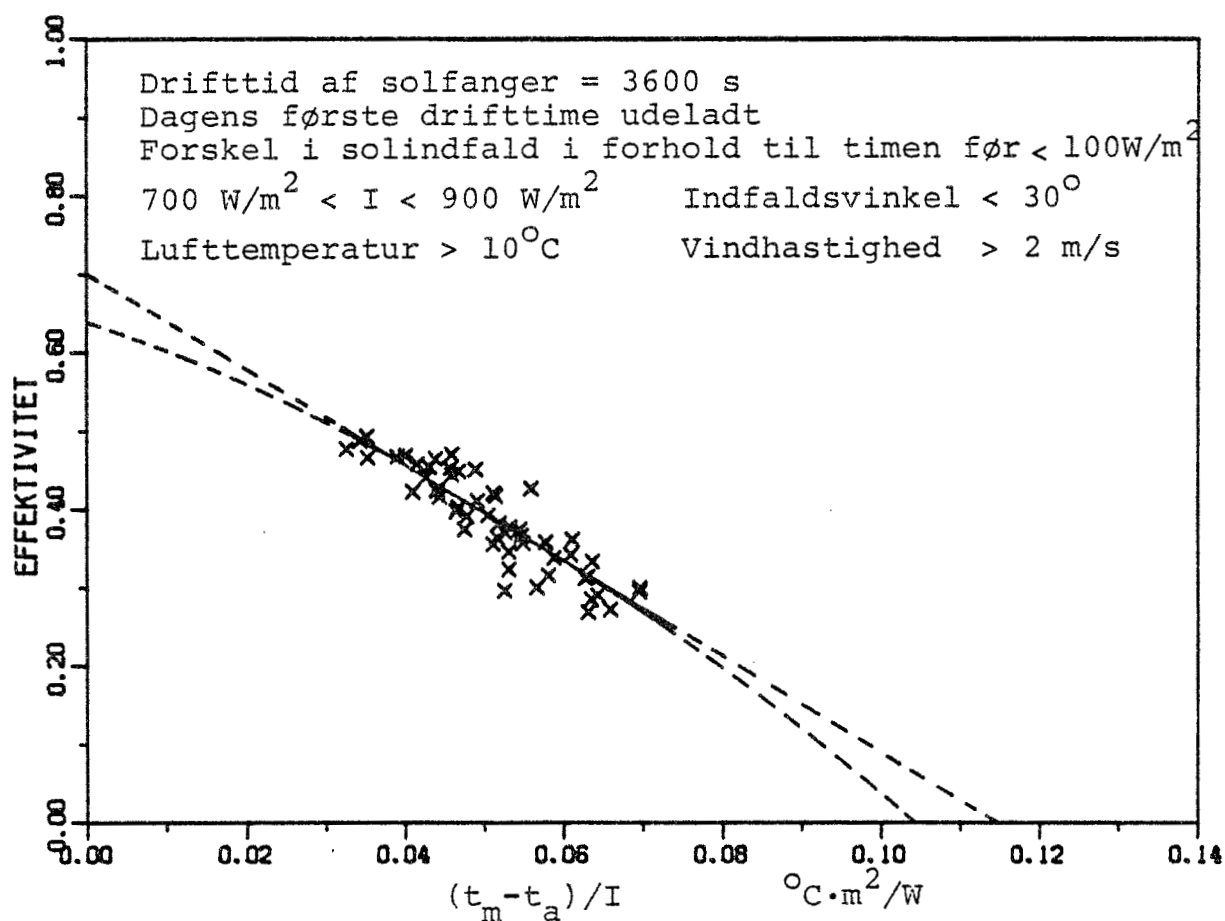
U_L er solfangerens tabskoefficient i $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Den første værdi for U_L hvor tabskoefficienten stiger med temperaturen, er den teoretisk rigtige. I intervallet med målinger ($0,03 < (t_m - t_a)/I < 0,07$) er afvigelsen mellem de to kurver dog maximalt $\Delta \text{eff} = 0,007$. Ud fra målingerne er det derfor ikke muligt at angive hvilken af de to ligninger, der er den "rigtige".

Benyttes ligning (II) fås $F' \cdot U_L \cong U_L = 6,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, hvilket er en forholdsvis høj værdi for en solfanger med to dæklag. Værdien er som regel under $5,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$



FIGUR NR. 29. Effektivitet af solfanger, timeværdier.



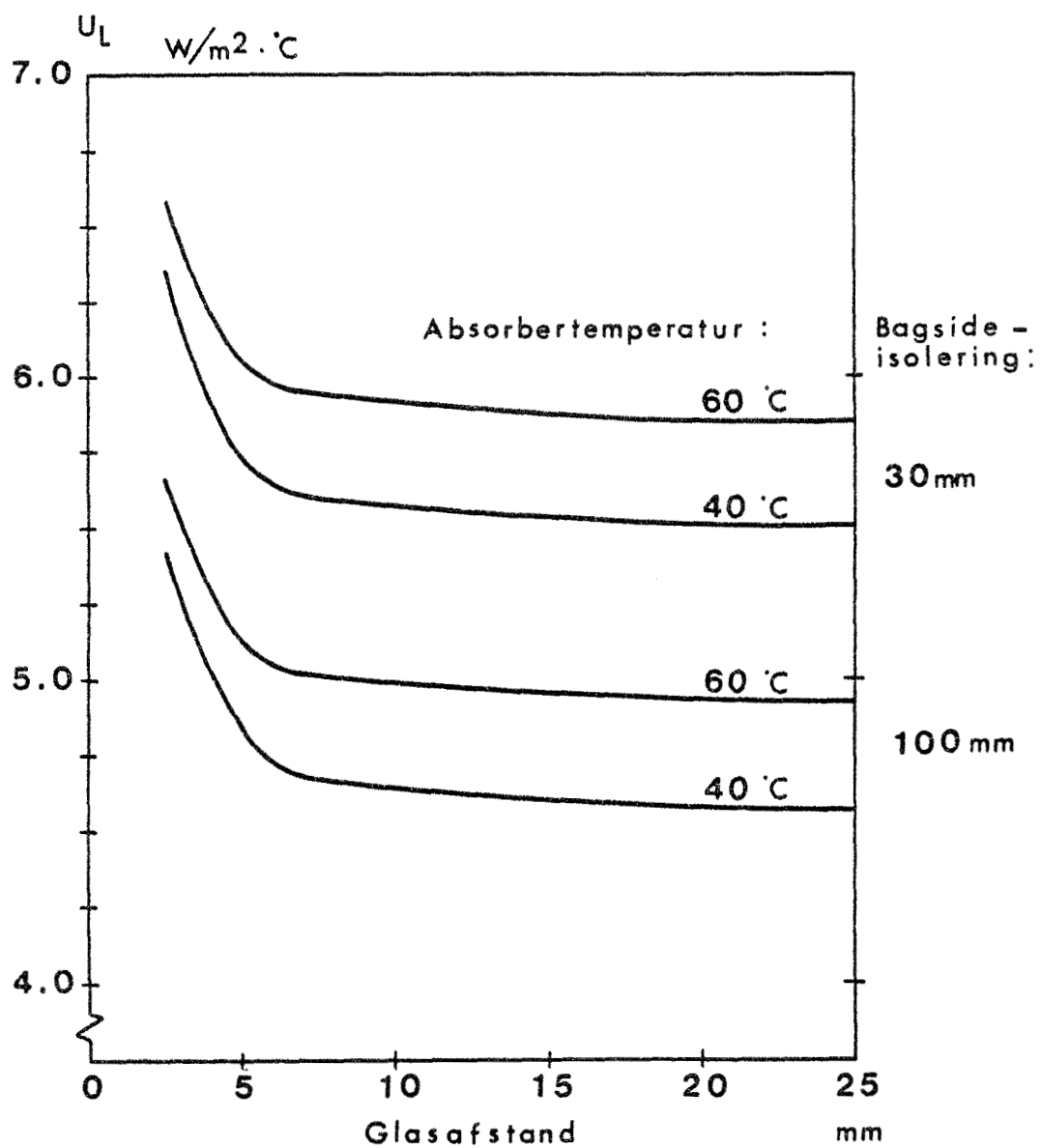
FIGUR NR. 30. Effektivitet for solfanger, med ovennævnte grænser for visse parametre.

I det følgende beregnes den teoretiske værdi U_L . Ved beregningen benyttes formler for varmeovergang fra reference [4] og [5]. I sidstnævnte reference er randtabet for en ca. 40 m² solfanger fundet til ca. 2% af varmetabet gennem dæklagene. I forhold til denne solfanger har vi i Greve en betydelig længere inddækning, idet hvert element er inddækket for sig. Randtabet skønnes ud fra forholdet mellem længden af inddækning og hele solfangerens omkreds til ca. 10% af tabet gennem dæklagene. Med en varmeledningskoefficient for bagsideisoleringen på 0,04 W/m²·°C kan U_L beregnes som funktion af afstanden mellem dæklagene og absorbertemperaturen. Resultatet er optegnet på figur 31. Det fremgår af kurverne, at en glasafstand på 5 mm er absolut minimum, idet U_L for mindre værdier stiger kraftigt. En mere "sikker" værdi ville være en afstand på f.eks. 10 mm.

Mens en forøgelse af glasafstanden fra 5 til 10 mm reducerer U_L med ca. 3%, fås en betydelig større reduktion ved at øge bagsideisoleringen. På figuren er indtegnet kurverne for 100 mm isolering, som svarer til en forbedring på ca. 17%. Med begge forbedringer fås $U_L = 4,9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

For måleværdierne benyttet til bestemmelse af effektivitetskurverne er absorberens middeldetemperatur 56°C. Af kurverne aflæses for denne værdi $U_L = 6,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Der er altså god overensstemmelse mellem målt og beregnet værdi.

Til sammenligning med ovenstående værdi er varmetabskoefficienten for solfangeren med kun et lag glas beregnet til 8,3 W/m²·°C.



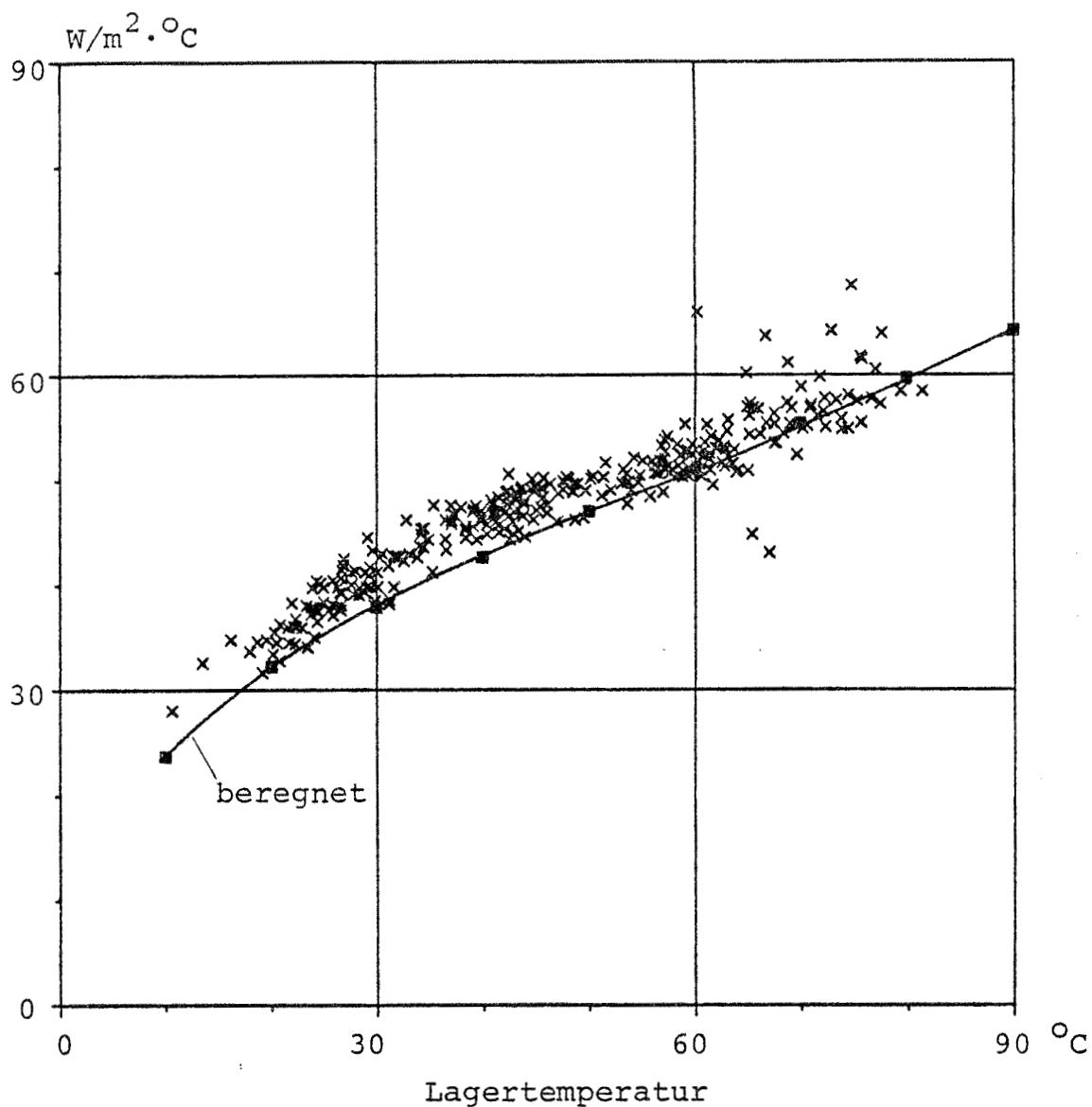
FIGUR NR. 31. Varmetabskoefficient for solfangeren.

Varmeveksleren i solfangerkredsen.

Udbyttet af solfangeren afleveres til lagerbeholderen via tre varmevekslere anbragt så de har vendt retur (se fig.5). Hver af de tre spiraler, der er af kobberør med udvendig/indvendig diameter = 20/17 mm, er sammensat af tre dele: en spiral der går fra tankens top næsten til bunden, en lavere spiral med større diameter i bunden af tanken og et lige rør herfra til tankens top. De tre dele er opgivet af fabrikanten til henholdsvis 18540, 8180 og 810 mm, hvilket giver en samlet længde for de tre varmevekslere på ca. 83 m.

Varmevekslerens varmeovergangskoefficient afhænger af temperaturen i lagerbeholderen. På figur 32 er vist den målte koefficient pr. m^2 solfanger som funktion af tanktemperaturen, hvor de tre målinger i tanken er vægtet svarende til den del af varmeveksleren målingen dækker. Dette har dog kun ringe betydning, idet tankgradienten hurtigt udlignes, når solfangeren er i drift. På figuren er kun medtaget målepunkter, hvor solfangeren er i drift en hel time, og temperatur-differencen mellem indløb og udløb til varmeveksleren er større end 3°C . Af kurven fremgår det, at varmeovergangskoefficienten pr. m^2 solfanger varierer fra 28 til $70 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ svarende til tanktemperaturer i intervallet $11-81^{\circ}\text{C}$. Årsmiddelværdien af tanktemperaturen for alle driftsperioder er 46°C . For denne værdi aflæses på kurven ca. $49 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, hvilket svarer til de $50 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, der ofte benyttes som tommelfingerregel ved dimensionering af varmeveksleren.

Til sammenligning er indtegnet den teoretiske kurve, beregnet af Simon Furbo, Laboratoriet for Varmeisolering. Ved beregningen er benyttet værdier og formler for varmeovergang fra reference [4] og [6]. Det ses, at der er god overensstemmelse - for driftsperiodernes middeltemperatur på 46°C ligger "den målte kurve" således kun 6% over den beregnede.



FIGUR NR. 32. Varmeovergangskoefficient for solfangerkredsens varmeveksler.
Målt og beregnet. - Der er kun medtaget måleværdier, hvor solfangeren er i drift en hel time, og hvor Δt over varmeveksleren er større end $3^\circ C$.

Varmetab fra lagerbeholderen.

Tabet fra lagerbeholderen udgør ca. 2300 kWh svarende til 31% af den varmemængde, der er tilført lageret fra solfangeren.

Isoleringen består af 4 lag 50 mm mineraluld lamelmåtter. Med $\lambda = 0,045 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ beregnes varmetabskoefficienten for tanken alene til $5,7 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Tabet gennem rørtilslutninger og understøtning er beregnet til $1,8 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Dertil kommer tab fra rørsystemet mellem tanken og dykrørene, hvor temperaturerne til bestemmelse af tilført energimængde måles. Dette tab tilhører målemæssigt tanken. Tabskoefficienten for disse rør er $2,7 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Ud fra forholdet mellem drifttid og måletid og mellem temperaturdifferens i måletid og i drifttid kan denne værdi omregnes til $0,2 \text{ W/}^\circ\text{C}$, som kan sammenlignes med de øvrige tabskoefficienter.

Det samlede varmetab fra lagerbeholderen kan nu beregnes til $7,7 \text{ W/}^\circ\text{C}$ gældende for en middeltemperatur i isoleringen t_{isol} på 10°C . For andre temperaturer korrigeres med faktoren:

$$K_t = 0,94 + 0,006 \cdot t_{\text{isol}}.$$

I slutningen af måleperioden er flowmåleren mellem lagerbeholder og forvarmebeholder ude af drift. Udelades disse tre måneder samt maj måned, hvor der kun er målt 78% af tiden, fås for de resterende 8 mdr. en middeltemperatur i isoleringen på 14°C . Heraf fås $K_t = 1,024$ dvs den beregnede tabskoefficient bliver $7,9 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

De første 8 mdr. af måleperioden er tanktabet målt til 1015 kWh. Middelværdien af temperaturforskellen mellem tank og tagrum er i samme periode $19,0^\circ\text{C}$. Heraf fås en målt varmetabskoefficient på $9,2 \text{ W/}^\circ\text{C}$ eller ca. 16% større end den beregnede.

For en størrelse som varmetabet fra lagerbeholderen er en forskel på 16% mellem målt og beregnet værdi en forholdsvis lille afvigelse. Erfaringer fra andre projekter viser, at den målte værdi kan være flere gange større end den beregnede. I nogle tilfælde kan denne store forskel tilskrives et mangelfuldt isoleringsarbejde, f.eks. på grund af for lidt plads omkring lagerbeholderen. I Greve-anlægget er dette arbejde udført tilfredsstillende.

Lagerbeholderens varmekapacitet.

Lagerbeholderens geometri er vist på figur 11. Med de angivne mål beregnes voluminet til 5450 l og overfladearealet til 20,9 m² begge dele ved 20 °C. Beholderen er opbygget af 4 mm stålplader ialt ca. 650 kg stål.

Med en varmekapacitet for vand på 4,15 kJ/l·°C, svarende til en temperatur på 40 °C og en varmekapacitet for stål på 0,48 kJ/kg·°C, beregnes tankens varmekapacitet til 22,9 MJ/°C, heraf de 0,3 MJ/°C fra stålet. Med en rumudvidelseskoefficient for stål på 3,6·10⁻⁵/°C beregnes varmekapaciteten for tanktemperaturer fra 10°C til 90°C. Ved lineær regression fås følgende udtryk for varmekapaciteten $K(t_s)$:

$$K(t_s) = 23,2 - 0,008 \cdot t_s \quad \text{MJ/°C}$$

hvor t_s er tanktemperaturen.

Lagerbeholderens varmekapacitet er desuden bestemt ud fra udvalgte måledage. Figur 33 viser temperaturforløbet i lagerbeholderen for dagene 24.-26. april 1979, hvor solfangeren er i drift den 25. og 26. Af kurven ses, at temperaturen varierer næsten lineært i perioder med stor varmetilførsel til tanken. Til bestemmelse af varmekapaciteten benyttes en periode, hvor der endnu ikke tappes fra tanken og hvor varmetilførslen fra

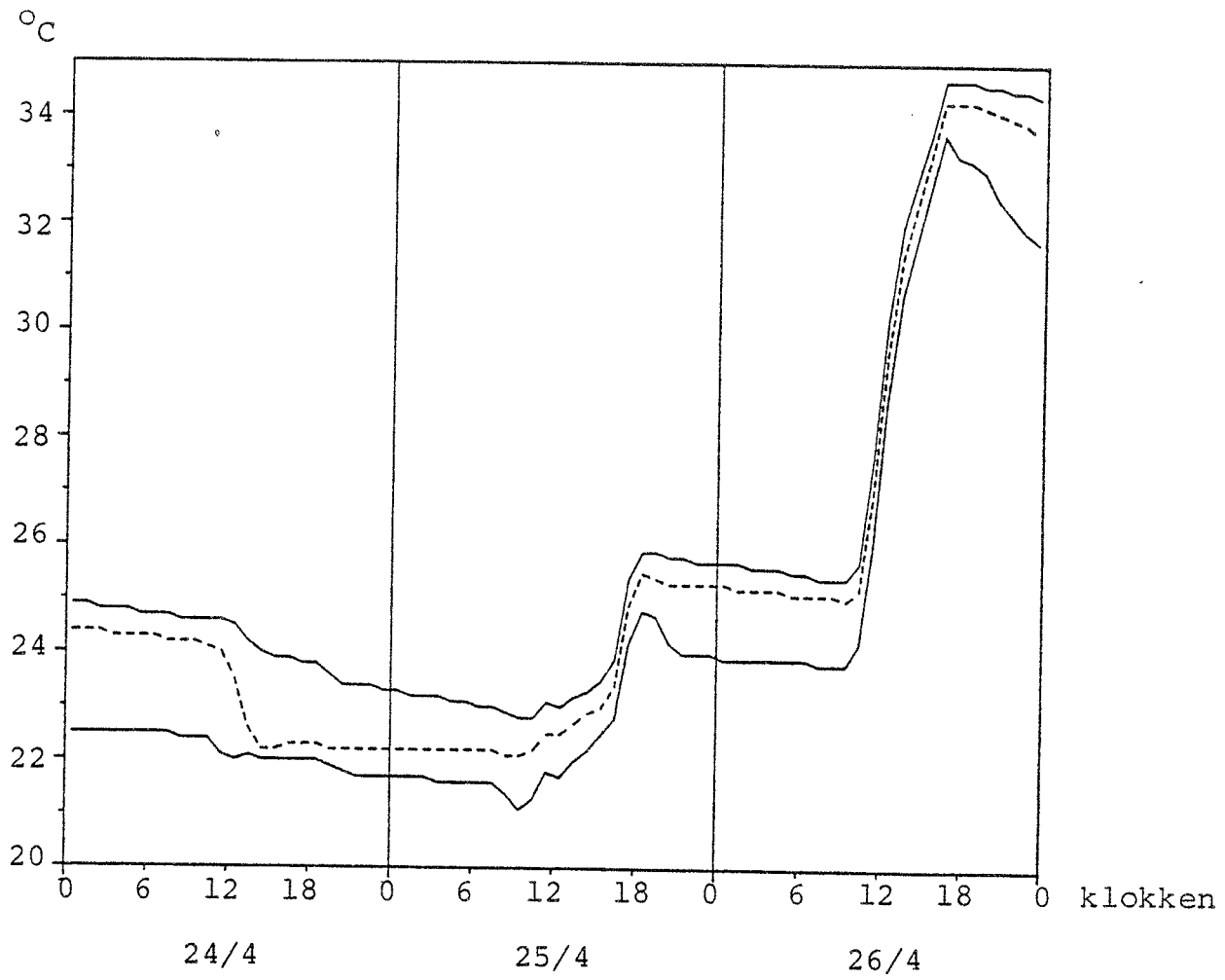
solfangeren er stor. I dette tilfælde kan ændringen i tankens varmeindhold $K \cdot \Delta t_s$ udtrykkes ved ligningen:

$$K \cdot \Delta t_s = Q_+ - Q_{\text{tab}} \quad (1)$$

hvor	K er tankens varmekapacitet	MJ/°C
	Δt_s er ændringen i tanktemperatur	°C
	Q_+ er varmetilførsel fra solfangeren,	MJ
og	Q_{tab} er varmetab fra tanken	MJ

Til bestemmelse af K benyttes perioden 10-31 juli 1978. I denne periode udvælges delperioder, der er begrænset til tidsintervaller bestående af de på hinanden følgende timer, hvor $Q_+ > 0$. Forskellen mellem tanktemperatur og tagrumstemperatur varierer i perioden mellem 33°C og 50°C. I de udvalgte perioder er Q_+ ofte godt 20 MJ pr. time svarende til en effekt på ca. 6 kW. Med en varmetabskoefficient for tanken på ca. 10 W/°C fås et varmetab på 0,5 kW ved en temperaturforskel på 50°C. Det fås heraf, at selv en fejl på 20% på tanktabet (her 0,1 kW) kun påvirker værdien af K med under 2%.

Ud fra ialt 8 driftsperioder beregnes K af ligning (1). Værdierne varierer inden for intervallet 22,3 - 23,4 MJ/°C med en middelværdi på 22,9 MJ/°C. Der kan ikke konstateres faldende varmekapacitet ved stigende tanktemperatur, som det var tilfældet i det beregnede udtryk. Maximal afvigelse mellem målt og beregnet værdi er 3%.



FIGUR NR. 33. Lagertemperaturen, foroven, i midten og forneden.

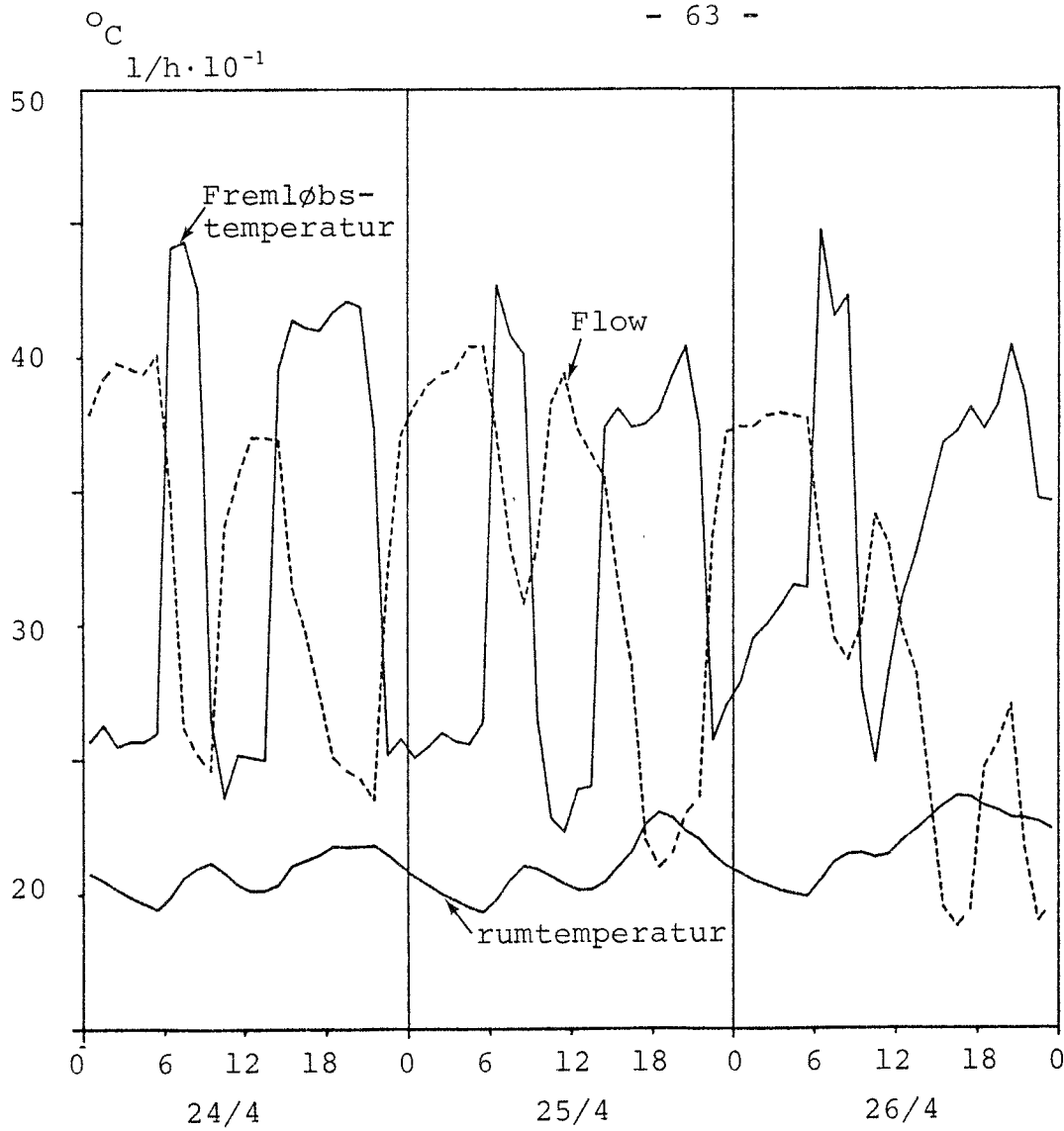


Fig. Nr. 34

Fremløbs-temperatur

Middelrum-temperatur

Flow i radiator kredse

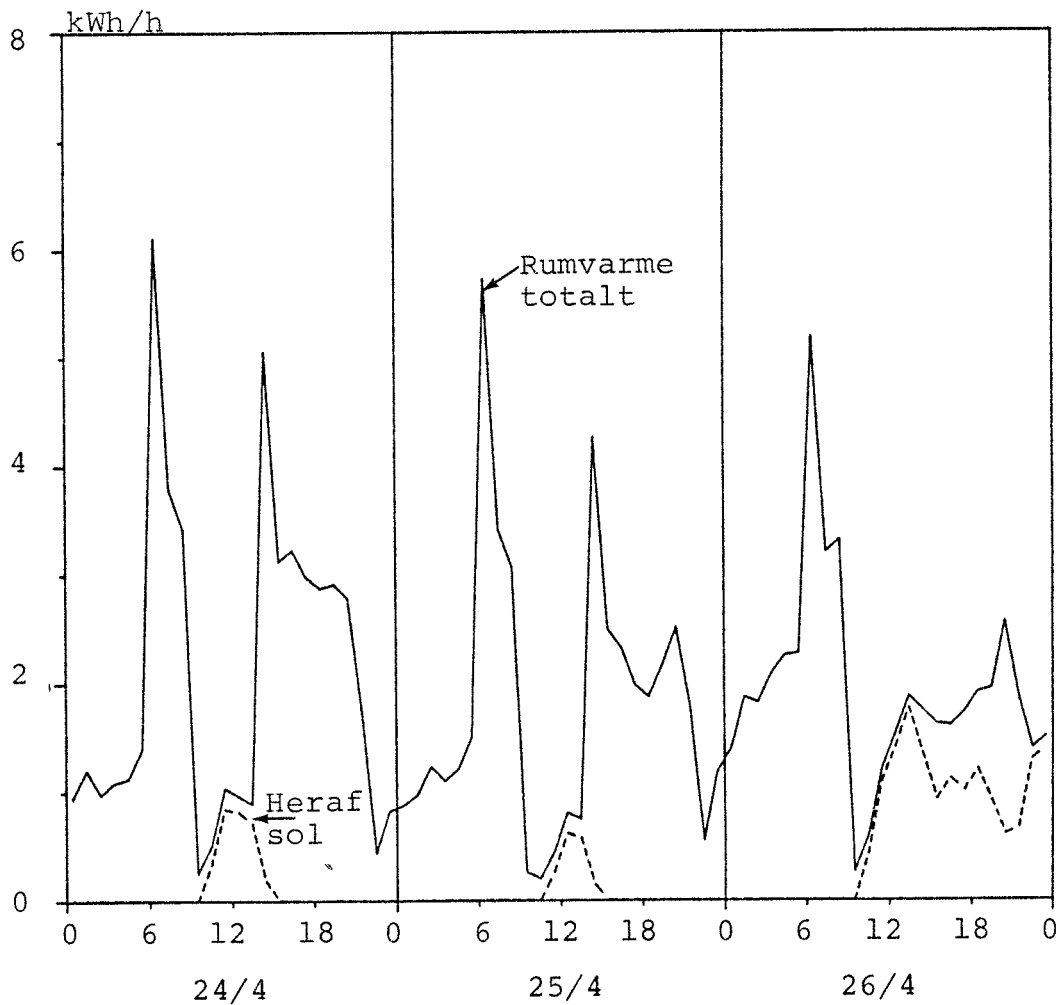


Fig. Nr. 35

Rumvarme-forbrug og sol

Styring af rumopvarmningen

Figur 33 viser lagertemperaturen i en periode på 3 dage (24/4-26/4). Figur 34 viser fremløbstemperatur, flow i radiatorkredsen samt rumtemperatur, og figur 35 viser rumvarmeforbruget og soldelen heraf for den samme periode.

Det fremgår af kurverne på figur 35, at der den 24. og 25. er brugt solvarme til rumopvarmningen ved middagstid med en lagertemperatur på kun 24°C og 23°C . Dette er kun muligt, fordi døgnuret har sænket fremløbstemperaturen ca. 20°C fra ca. 45°C , som udekompenseringsanlægget kræver (regulering af rumopvarmningen er beskrevet mere detaljeret på side 18). Om natten sænkes fremløbstemperaturen ligeledes 20°C , dog uden at returtemperaturen kommer under lagertemperaturen.

Den 26/4 er der et stort solindfald og lagertemperaturen stiger fra 25°C til 34°C (figur 33). Fremløbstemperaturen kan ikke være lavere end lagertemperaturen og er derfor fra kl. 11 og et par timer frem højere end den, der er bestemt af udekompenseringsanlægget og døgnuret. På grund af det store solindfald stiger middelrumtemperaturen, hvilket bevirker, at radiatortermostaterne lukker i. Flowet i radiatorkredsen falder dog ikke til nul (figur 34), idet der ikke er termostater på gulvvarmeanlægget. Lidt senere på dagen stiger flowet lidt, sandsynligvis fordi termostaterne i nogle få rum lukker op.

Ideen med periodevis sænkning af fremløbstemperaturen er at sænke rumtemperaturen og derved spare varme. I det her beskrevne tilfælde viser det sig imidlertid, at rumtemperaturen kun falder et par $^{\circ}\text{C}$, selv om der næsten ikke tilføres varme til huset (figur 35). Dette skyldes, at huset er godt isoleret og har tilstrækkelig varmekapacitet til at holde temperaturen oppe.

Ved højere lagertemperaturer forekommer det, at radiatortermostaterne kompenserer for den lavere fremløbstemperatur ved at åbne mere og derved dække varmeforbruget med solvarme. Der op-

nås således ingen sækning af rumtemperaturen - til gengæld spares der på olien senere på eftermiddagen, hvor temperaturen uden forbrug fra lagerbeholderen skulle hæves igen.

Kurverne på figur 33-35 giver indtryk af, at forbruget kunne dækkes med en konstant fremløbstemperatur på 30-35°C og et større flow i radiatorkredsen. Derved ville der ikke kunne udnyttes varme fra lagerbeholderen den 24. og 25., men derimod den 26. og måske med 100% dækning den sidste halvdel af dagen.

Det er således vanskeligt at sige hvilken styring af rumopvarmningen, der er den optimale med hensyn til solvarmeanlægget. Den valgte styring har dog vist sig at fungere tilfredsstillende, og gør det muligt at udnytte solvarme i mange af de perioder, hvor fremløbstemperaturen er sænket.

Sammenligning med f-chart-beregninger

Med hensyn til forudsætningerne for beregninger med f-chart metoden henvises til reference [7].

I beregningen benyttes værdierne

$$F'_R \cdot (\tau\alpha)_{en} \quad \text{og} \quad F'_R \cdot U_L$$

hvor $F'_R = F' \cdot F'' \cdot F'''$ er systemets totale effektivitetsfaktor, der korrigerer for solfangerens og varmevekslerens effektivitet, og gør det muligt at beregne solfangerydelsen ud fra lagertemperaturen. $(\tau\alpha)_{en}$ er det effektive transmissions-absorptionsprodukt for normal-indstråling og U_L er solfangerens varmetabskoefficient. Produktet af $F' \cdot (\tau\alpha)_{en}$ og $F' \cdot U_L$ fås af ligningen for effektivitetskurven

$$\text{eff} = 0,70 - 6,1 \frac{t_m - t_a}{I} \quad (\text{se side 53})$$

$$\text{idet } F'(\tau\alpha)_{en} = 0,70 \quad \text{og} \quad F' \cdot U_L = 6,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

F'' og F''' kan beregnes ud fra $F' \cdot U_L$, flow i solfangerkredsen og varmevekslerstørrelsen (se reference [7]):

$$F'' = 0,956$$

$$F''' = 0,925$$

Herefter fås:

$$F'_R \cdot (\tau\alpha)_{en} = 0,62$$

$$F'_R \cdot U_L = 5,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Varmtvandsforbruget har været meget svingende, og i de første 4 måneder var der slet ikke noget varmtvandsforbrug. I f-chart-beregningen er anvendt middelforbruget på 138 l/dag, målt forbrug ($10-50^\circ\text{C}$), idet man i f-chart kun kan regne med konstant forbrug.

F-chart giver med det målte solindfald og det målte forbrug, en ydelse på 98 kWh/m²·år.

For at sammenligne dette med målingerne skal der herfra trækkes udnyttet varmetab i fyringssæsonen, der bliver betragtet som solvarme i f-chart-beregningerne. Man kan her ikke umiddelbart anvende det målte varmetab - havde beholderen været anbragt i udnyttede rum ville omgivelsestemperaturen have været højere. Beregningsmæssigt ville varmetabet i fyringssæsonen under sådanne betingelser have udgjort ca. 200 kWh, svarende til 4 kWh/m²·år.

Ydelsen, som er målt til 83 kWh/m²·år, bliver således i f-chart beregnet til 94 kWh/m²·år. Med de tilnærmelser, der ligger i f-chart, og med den tilnærmelse vi gør ved at sætte varmtvandsforbruget konstant, kan man heraf kun slutte, at f-chart giver et rimeligt resultat, således at metoden kan anvendes til følsomhedsanalyse på systemet.

I det følgende præsenteres resultatet af f-chart-beregninger under andre omstændigheder end de målte. Det udnyttede varmetab er ikke trukket fra, da dette ikke umiddelbart kan lade sig gøre. Resultaterne skal altså sammenlignes med de 98 kWh/m²·år.

Ændring i forhold til målinger:	Ydelse i kWh/m ² ·år	
	Målte vejrdato	Modificeret referenceår
1) Ingen ændring, $U_L=6,1 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$	98	131
2) Et lag glas, $U_L=8,4 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$	96	130
3) Forbedret varmetabskoefficient $U_L=4,9 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ (se side 55)	108	143
4) Selektiv solfanger med et lag glas, $U_L=4,3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$	125	164
5) Varmtvandsforbrug=240 l/dag opvarmet 10-50 ^o C	111	146
6) Som 4, men varmtvandsforbrug = 240 l/dag, 10-50 ^o C	140	182

For solfangeren med kun et lag glas er U_L beregnet til $8,3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Da den målte værdi for solfangeren med to lag glas var $0,1 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ højere end den beregnede, er de $8,3$ forhøjet til $8,4 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. $(\tau\alpha)_{en}$ er forhøjet med forholdet mellem de beregnede værdier for et og to lag glas. Herved fås $F' \cdot (\tau\alpha)_{en} = 0,79$ mod $0,70$ med to lag glas.

Beregning 2 viser, at anlægget giver næsten samme ydelse med en solfanger med et dæklag af glas. Dette skyldes, at solfangerens arbejdstemperatur ofte er så lav, at en forøgelse af varmetabet ved at fjerne et lag glas opvejes af den bedre transmission med kun et dæklag.

I beregning 3 er afstanden mellem glaslagene øget til 10 mm og bagsideisoleringen til 100 mm, hvilket giver et ca. 10% større udbytte.

Benyttes en selektiv solfanger med et lag glas, øges udbyttet med ca. 26% (beregning 4).

Inden projektering af anlægget blev der udført edb-beregninger (reference [1]), hvor varmtvandsforbruget var sat til 240 l/dag opvarmet 10-50 °C. Med dette forbrug fås med f-chart et ca. 12% større udbytte (beregning 5). I de nævnte edb-beregninger blev referenceårets vejrdato benyttet og desuden var det forudsat, at solfangeren havde en tabskoefficient U_L på 3,9 W/m²·°C. Resultatet i reference [1] var en ydelse på 187 kWh/m²·år, hvilket kan sammenlignes med de 182 kWh/m²·år, der opnås med en selektiv et-lags solfanger, hvor U_L = 4,3 W/m²·°C (beregning 6).

Det fremgår af tallene, at det lave solindfald i måleperioden har stor betydning for anlæggets ydelse. Med det modificerede referenceårs vejrdato fås således 30-35% større udbytte end med det målte solindfald.

7. Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder

Fig. 8 viser rørsystemet i isometrisk afbildning. Fra lagerbeholderen (varmevekslerne) føres rørene ned gennem bryggers og tilbage til solfangerelementerne. Udløb fra elementerne føres så igen ned gennem bryggers og tilbage til lagerbeholderen. I den del af rørsystemet, der befinder sig i bryggers, er der monteret pumpe, flowmåler, kontraventil, tømmeventil, termometre og diverse afspærringsventiler. Disse komponenter er, sammen med den øvrige del af installationerne i bryggers, anbragt i neutralt udseende skabe. Den oprindelige begrundelse for at udføre rørsystemet på denne komplicerede måde var, at man så bekvemt fik anbragt alle målere og pumper m.v. i samme rum.

Sammenkobling af solfangerelementer

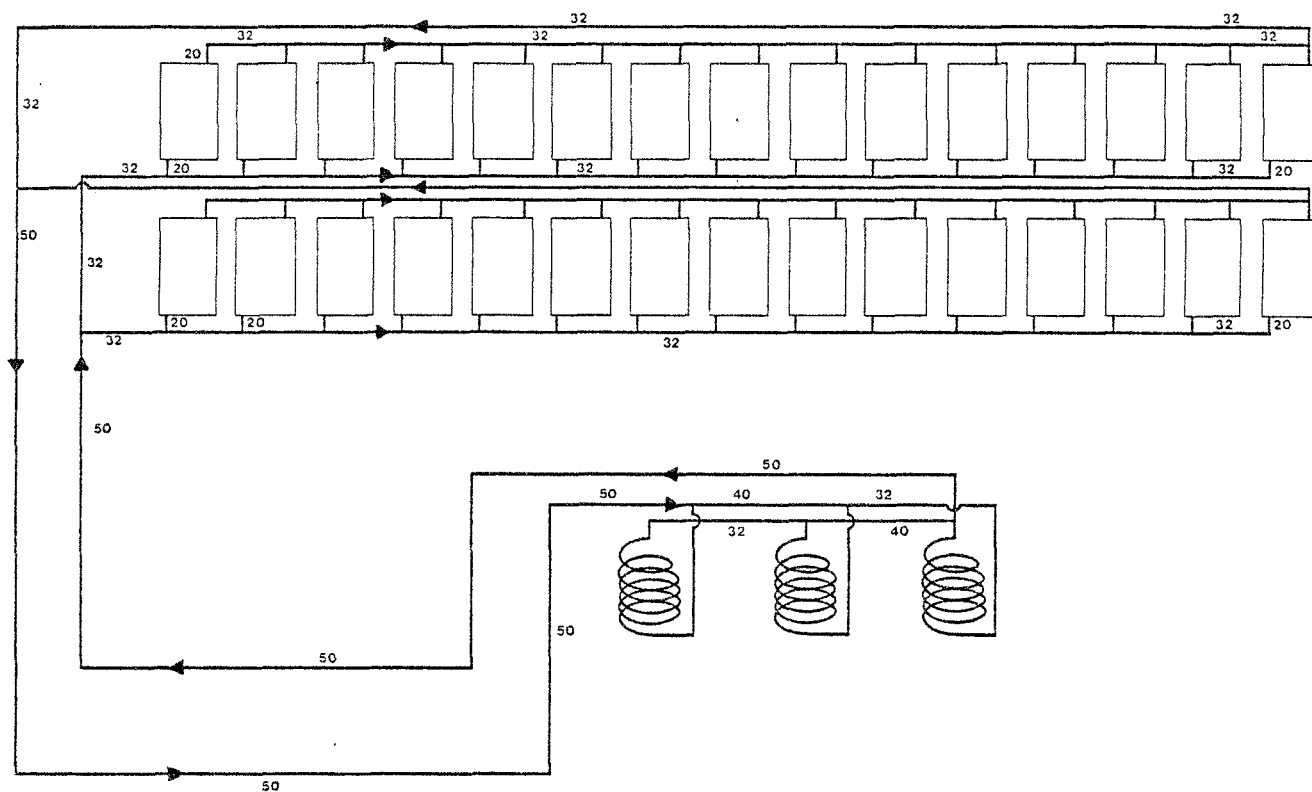
Fig. 36 viser, hvorledes de 30 solfangerelementer er koblet sammen. De to rækker af 15 elementer er koblet parallelt med vendt retur. Rækkerne er så igen koblet parallelt sammen. Det giver ialt seks lange rørstrækninger fra rørste til sidste element.

Data for rørsystemet

Fig. 36 viser den principielle opbygning med angivelse af rørdimensioner.

Det samlede flow i solfangerkredsens er ca. 50 l/min. Hvor dette flow forekommer, er der brugt M50 (2" rør). Efter forgrening til de to rækker af solfangerelementer er der brugt M32 (1½"). Omkring den tredelte varmeveksler skiftes der dimension to gange, først til M40, derefter til M32. Der er overalt brugt middelsvære gevindrør (stål).

Fig. 37 viser en tabel med data for rørsystemet. Der er angivet rørlængder, væskeindhold, varmekapacitet og varmetabskoefficienter. Rørene er de fleste steder isoleret med 30 til 40 mm mineraluld. Der er nogle uisolerede rør i bryggerset.



FIGUR NR. 36 Rørsystemet mellem solfanger og
lagerbeholder med angivelse af
rørdimensioner.

Varmekapacitet: Absorber 357 kJ/°C
 Væske i absorber 716 -
 Ialt 1073 kJ/°C

Figur 37. Data for rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder.

Der er ialt 134 m rør. Varmekapaciteten af disse rør udgør 195 kJ/°C. Væskeindholdet i rørsystemet er 147 l, med en varmekapacitet på 594 kJ/°C. Dertil kommer en varmekapacitet i pumpe m.v. på 15 kJ/°C. Der er således en samlet varmekapacitet mellem lagerbeholder og solfangerelementer på 804 kJ/°C.

I varmeveksleren er der 19 l væske, og i solfangerelementerne er der 180 l (30 elementer á 6 l). Det giver ialt 346 l vand-glucol, og med et flow på 50 l/min, fås en omløbstid, dvs. den tid det tager en væskepartikel at nå hele vejen rundt, på ca. 7 min. Denne omløbstid har betydning for systemets stabilitet under opstart.

Den samlede varmetabskoefficient for rørsystemet er beregnet til 31 W/°C, hvoraf godt 3 W/°C er varmetab fra uisoleret armatur og rør i bryggers.

Varmetab i rørsystemet

Der er to principielt forskellige varmetab i forbindelse med rørsystemet.

Når solfangerpumpen starter, efter at have været afbrudt i længere tid, vil rør og væske mellem solfanger og lagerbeholder have en temperatur lig omgivelsernes temperatur. Dette giver anledning til et tab, der går til opvarmning af rør og væske, fra omgivelsernes temperatur til lagerbeholderens temperatur. Ydermere tabes varme, efterhåndes som lagertemperaturen og dermed fremløbstemperaturen stiger, idet rørsystemet og væsken skal varmes yderligere op. I det følgende kaldes dette tab for kapacitetstab.

Det andet tab er transmissionstab fra rørsystemet under drift. Dette tab kan udtrykkes ved produktet af rørsystemets varmetabskoefficient og temperaturdifferensen mellem rørsystemet og omgivelserne.

Måling af varmetabet

Varmestrømmen tilført lagerbeholderen bliver målt et stykke fra beholderen. Varmestrømmen fra solfangerelementerne bliver beregnet ud fra temperaturmålinger før fordelerrør og efter samlerrør. Dette betyder, at den største del af rørsystemet, ca. 3/4, målemæssigt tilhører solfangeren, således at det udbytte, der måles fra solfangerelementerne, er reduceret af tabet i rørsystemet omkring elementerne. Det er da et relativt kort rørsystem, der befinder sig mellem de to varmemålinger.

Da tabet således er lille i forhold til de målte varmemønstre, vil en usikkerhed på måling af varmemønstrene få stor betydning for usikkerheden på tabet.

Resultatet bliver, at vi ikke ud fra målingerne kan bestemme varmetabet fra rørsystemet. I stedet kan tabet vurderes ud fra de øvrige målinger, d.v.s. temperaturmålinger, og ud fra beregnede tabskoefficienter og varmekapaciteter.

Kapacitetstab

Varmekapaciteten af rør og væske mellem solfanger og lagerbeholder udgør 804 kJ/°C. Kapacitetstab kan beregnes ud fra:

$$Q_{\text{tab}} = (t_f - t_{\text{tag}}) \cdot K - \Delta Q_+ \quad \text{kJ}$$

t_f er fremløbstemperaturen °C

t_{tag} er temperaturen i tagrummet °C

K er varmekapaciteten kJ/°C

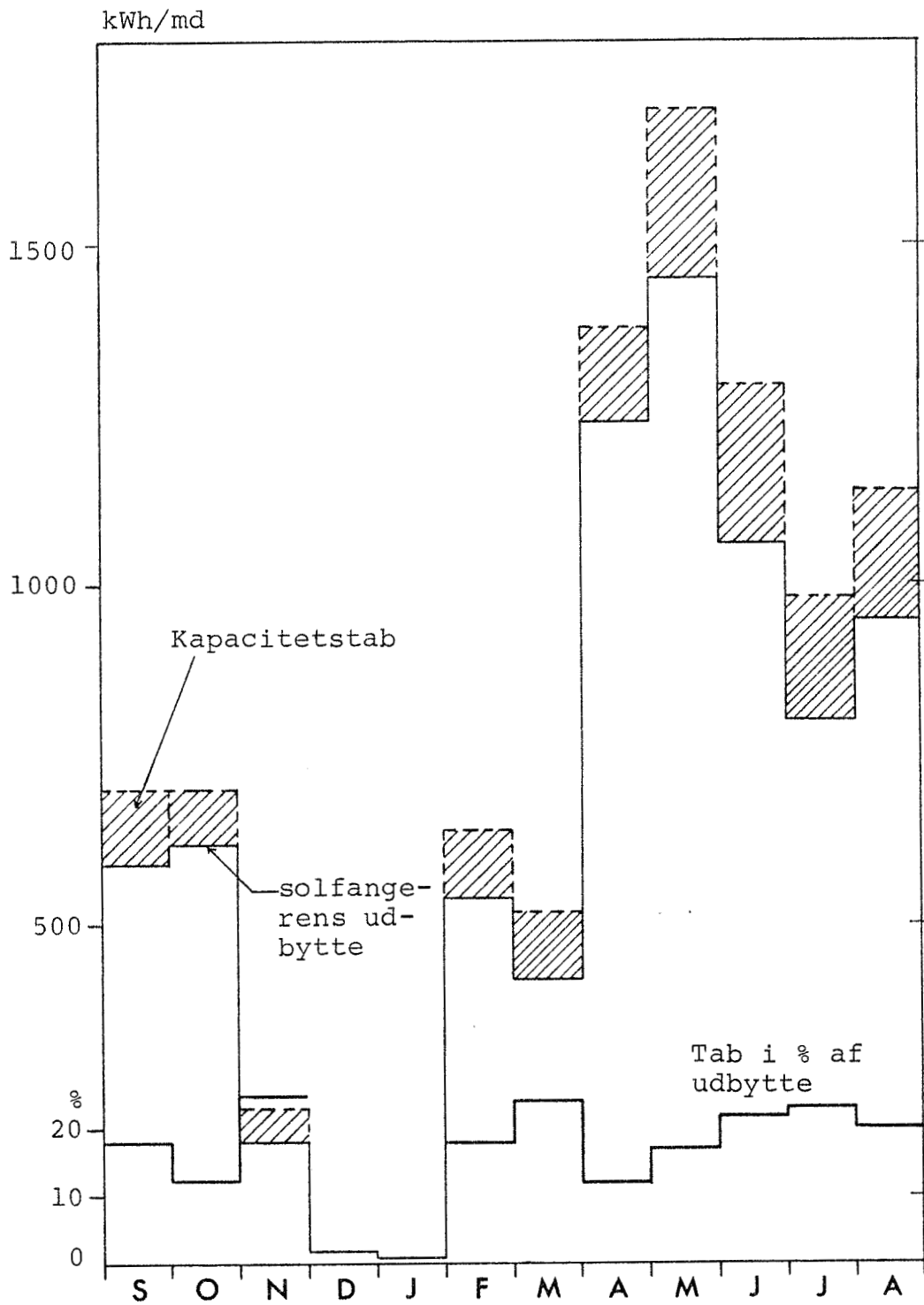
ΔQ_+ er forøget solfangerudbytte som følge af høj effektivitet i starten af en driftsperiode, hvor rørtemperaturen $\cong$ lufttemperaturen kJ

Denne størrelse er beregnet for hver driftsperiode, dog

højst én driftsperiode pr. dag. Er der flere driftsperioder kort tid efter hinanden, kan rørsystemet ikke nå at blive koldt. Endvidere udelades driftsperioder på under 5 min, idet rørsystemet i en sådan periode ikke når at blive varmet op. I beregningen er anvendt fremløbstemperaturen sidst i driftsperioden, således at det beregnede kapacitetstab både omfatter tabet ved opstarten og det løbende tab til opvarmning af rør og væske. Som omgivelsestemperatur anvendes temperaturen i tagrummet. En del af rørsystemet er placeret i bryggers, hvor temperaturen om vinteren vil være en del højere. Da det er under 10% af rørsystemet, der befinder sig i bryggers, ses der bort fra dette. ΔQ_+ er beregnet med maximal effektivitet (70%, se side 54) i første gennemløb af rørsystemet - ca. 7 minutter. En EDB beregning ud fra formlen giver ialt 193 driftsperioder med et samlet kapacitetstab på 1340 kWh. ΔQ_+ er beregnet til 100 kWh/år og er således lille i forhold til det resulterende kapacitetstab.

Fig. 38 viser udbyttet og kapacitetstabet i de enkelte måneder. Endvidere er kapacitetstabet i procenter af udbyttet vist. Månederne december og januar er udeladt, idet der her kun var henholdsvis een og to driftsperioder.

Det ses, at der ikke er den store årstidsvariation i det procentuelle tab. Den variation der er, skyldes forskelligheder i de enkelte måneders vejr. Eksempelvis har der været 20 driftsperioder i både marts og april, men i marts var det gennemsnitlige udbytte pr. periode 21 kWh, mens det i april var 62 kWh. Solfangeren har været i drift i mere end dobbelt så lang tid i april som i marts. Kapacitetstabet er altså proportionelt med temperaturdifferencen og antallet af driftsperioder, men ikke med driftstiden og udbyttet.



FIGUR NR. 38. Kapacitetstab og udbytte af solfanger.

Om sommeren, når lagertemperaturen er høj, er kapacitets-
tabet pr. driftsperiode stort. Til gengæld er udbyttet pr.
driftsperiode også stort, således at det procentuelle
tab bliver næsten det samme som om vinteren, når lagertem-
peraturen er lavere.

Transmissionstab

Varmetabskoefficienten for rørsystemet mellem solfanger
og lagerbeholder er beregnet til $31 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$.

Transmissionstabet kan beregnes ud fra

$$Q_{\text{tab}} = (t_{\text{rør}} - t_{\text{tag}}) \cdot d \cdot k \quad (\text{Wh})$$

$t_{\text{rør}}$	er middeltemperaturen i rørsystemet	$^{\circ}\text{C}$
t_{tag}	er tagrumstemperaturen	$^{\circ}\text{C}$
d	er driftstiden	timer
k	er tabskoefficienten	$\text{W/}^{\circ}\text{C}$

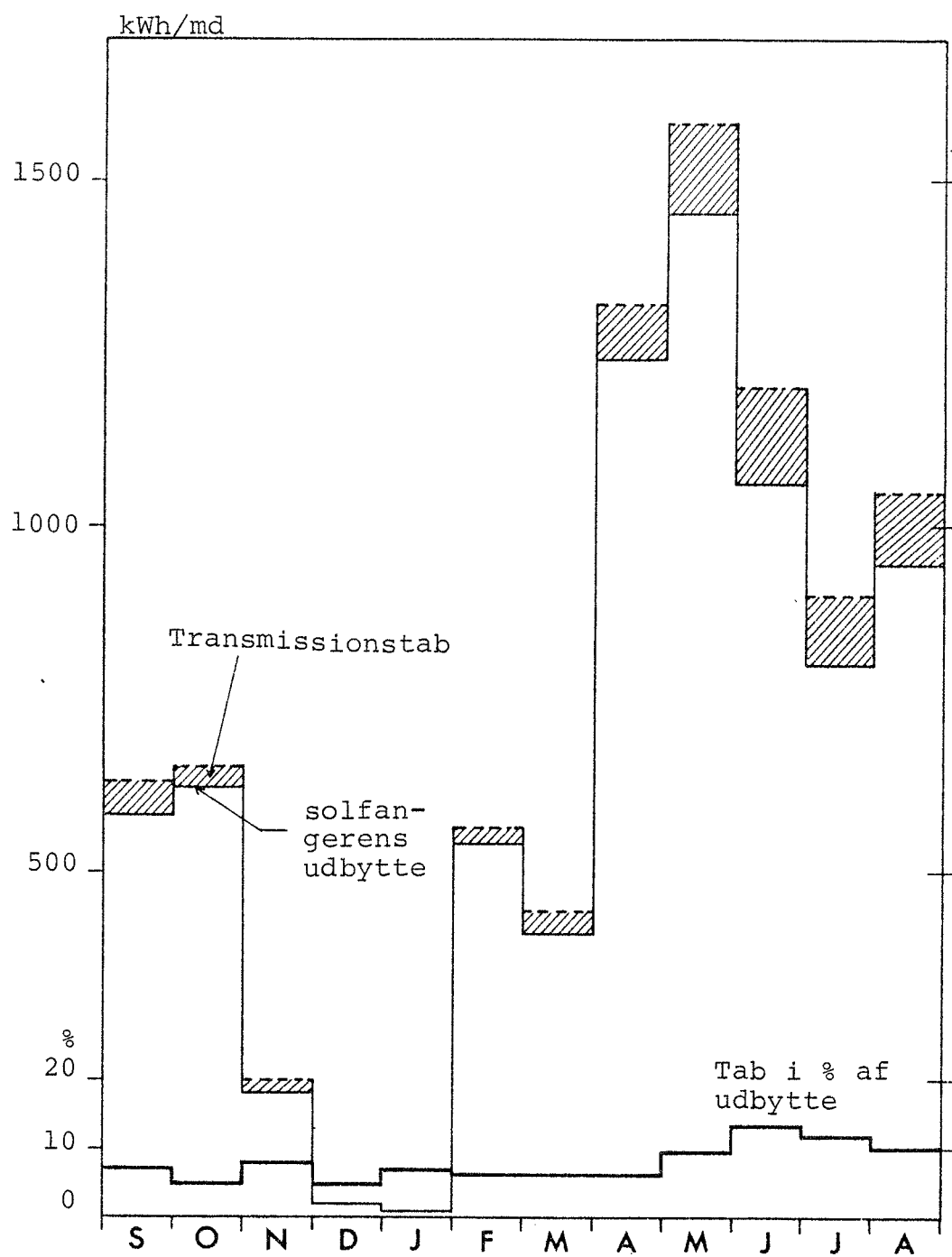
Denne størrelse beregnes for alle driftstimer og summeres.
Resultatet bliver et varmetab fra rørsystemet på ialt
 690 kWh .

Fig. 39 viser tabet og udbyttet af solfangeren, samt den
procentuelle fordeling.

Transmissionstabet er størst, både procentuelt og absolut,
i sommerperioden, idet tabet både er proportionalt med
driftstiden og med temperaturdifferencen.

Det samlede varmetab

Kapacitetstab udgjorde 1340 kWh og transmissionstabet
 690 . Det samlede tab i rørsystemet bliver således 2030 kWh .



FIGUR NR. 39. Transmissionstab og udbytte af solfanger.

Imellem målestederne for de to varmemstrømme befinder der sig 25% af varmekapaciteten og 20% af tabskoefficienten. Man kan således beregne tabet i denne del af rørsystemet til 470 kWh. Af fig. 16 ses at samme tab er målt til 709 kWh. Som nævnt er målingen af dette tab usikker, da den fremkommer som en differens mellem to store størrelser. I det følgende anvendes derfor den værdi, der er beregnet ud fra temperaturmålingerne.

Mellem varmemstrømsmålingen nærmest lagerbeholderen og lagerbeholderen befinder sig 6,7% af varmekapaciteten og 8,7% af tabskoefficienten. Dette svarer til et tab på 150 kWh.

Der er således tilført lagerbeholderen:

$$7900 - 470 - 150 = \underline{7280 \text{ kWh}}$$

og udbyttet af solfangeren har været:

$$7280 - 2030 = \underline{9310 \text{ kWh}}$$

Tabet i rørsystemet udgør altså 22% af udbyttet af solfangeren og 66% af tabet er kapacitetstab.

Solvarmeanlægget har ialt leveret 4190 kWh til huset. Tabet mellem solfangeren og huset udgør således ca. 5100 kWh svarende til 55% af solfangerydelsen. Varmebalancen kan nu opstilles ud fra ovenstående tal og figur 16:

Solfangerydelse	9310 kWh
Tab mellem solfanger og lagerbeholder	<u>2030 -</u>
Leveret til lageret	7280 kWh
Varmetab fra lageret	<u>2170 -</u>
Tappet fra lagerbeholder	5110 kWh
Tab mellem lager og hus	<u>920 -</u>
Leveret til huset	<u>4190 kWh</u>

Varmetabet fra lageret er beregnet som værdien fra fig. 16 minus de 150 kWh, der tabes fra lageret og hen til målepunktet.

Tabet på 5100 kWh fordeler sig således med 40% fra rørene mellem solfanger og lagerbeholder, 42% er varmetab fra lageret og de sidste 18% tabes fra rørene mellem lager og forbrugssteder.

Tabets betydning for ydelsen

At der tabes 22% mellem solfanger og lager betyder ikke, at det årlige udbytte kunne øges med 22%, hvis varmetabet fra rørsystemet kunne elimineres. Dette skyldes for det første, at en mindre varmetilførsel til lagerbeholderen (på grund af rørsystemet), betyder en lavere lagertemperatur i den følgende driftsperiode og dermed højere solfangereffektivitet og måske længere driftstid. For det andet vil en del af en extra varmetilførsel til lagerbeholderen (ved reduktion af rørsystemet) blive tabt på grund af øget varmetab.

Foreløbige beregninger, med det målte solindfald og forbrug, viser, at den udnyttede ydelse ville forøges med 11%, hvis varmetabet fra rørsystemet kunne elimineres.

I beregningerne i dette kapitel er tabet på grund af solfangerens store varmekapacitet ikke medtaget. Dette tab kan ikke beregnes på samme måde som tabet fra rørsystemet, men forudsætter brug af en edb-model, hvor solindfald og varmekapacitet kan varieres. Disse beregninger vil blive gennemgået i en senere rapport.

Tryktab og strømningsmængde

Pumpen i solfangerkredsen er en Grundfos UMS 50-60-106. Det er en tretrinspumpe og pumpen kører på højeste trin med et effektforbrug på ca. 325 W. Ved 50 l/min yder pumpen et tryk på 5,5 mVS.

Solfangeren er en type med store kanaler (stigrør) og stort væskeindhold, der er derfor næsten ikke noget tryktab i solfangerelementerne. Tryktabet er målt på prøvestand til 0,016 mVS (20°C) ved det pågældende flow.

Figur 40 viser væskegennemstrømningen som funktion af væskens temperatur, målt på anlægget. Det ses, at flowet kun varierer ca. 8% i intervallet 20 til 90 °C.

Indenfor det pågældende strømningsområde er pumpeydelsen næsten konstant.

Strømningsmodstanden i de lige rørstrækninger er med tilnærmelse proportional med viskositeten af vand-glucol blandingen, og idet viskositeten inden for det pågældende interval ændrer sig med en faktor 4, skulle man forvente, at strømningsmængden var mere temperaturafhængig. Imidlertid skyldes de største tryktab i systemet enkeltmodstande, altså rørbøjninger, ventiler m.v., og da strømningsmodstanden i disse er næsten uafhængig af viskositeten, bliver resultatet, som det fremgår af figur 41, en meget ringe temperaturafhængighed.

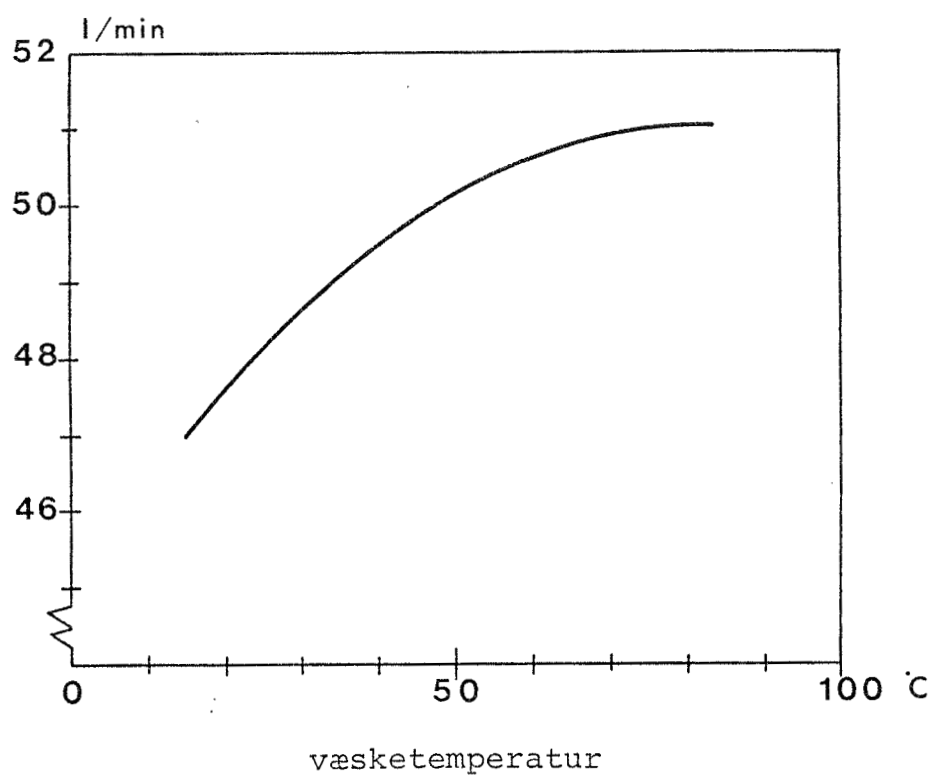
Da trykfaldet over solfangerelementerne er så lille, er det nødvendigt at udføre rørsystemet omkring elementerne symmetrisk og med vendt retur, idet man ellers ikke ville få samme gennemstrømning i alle elementerne.

Det er ved temperaturmåling på afgangsrørene konstateret, at der går næsten samme væskemængde gennem alle elementer.

Alternativt rørsystem

Rørføringen mellem solfanger og lagerbeholder er som nævnt ikke udført hensigtsmæssigt.

Det må dog her tilføjes, at anlægget er projekteret på et tidspunkt, hvor der endnu ikke forelå praktiske erfaringer med denne type solvarmeanlæg. Anlægget er således et korrekt projekteret anlæg, hvor der dog ikke er taget højde for detaljernes betydning.



FIGUR NR. 40. Strømningsmængde i solfangerkreds.

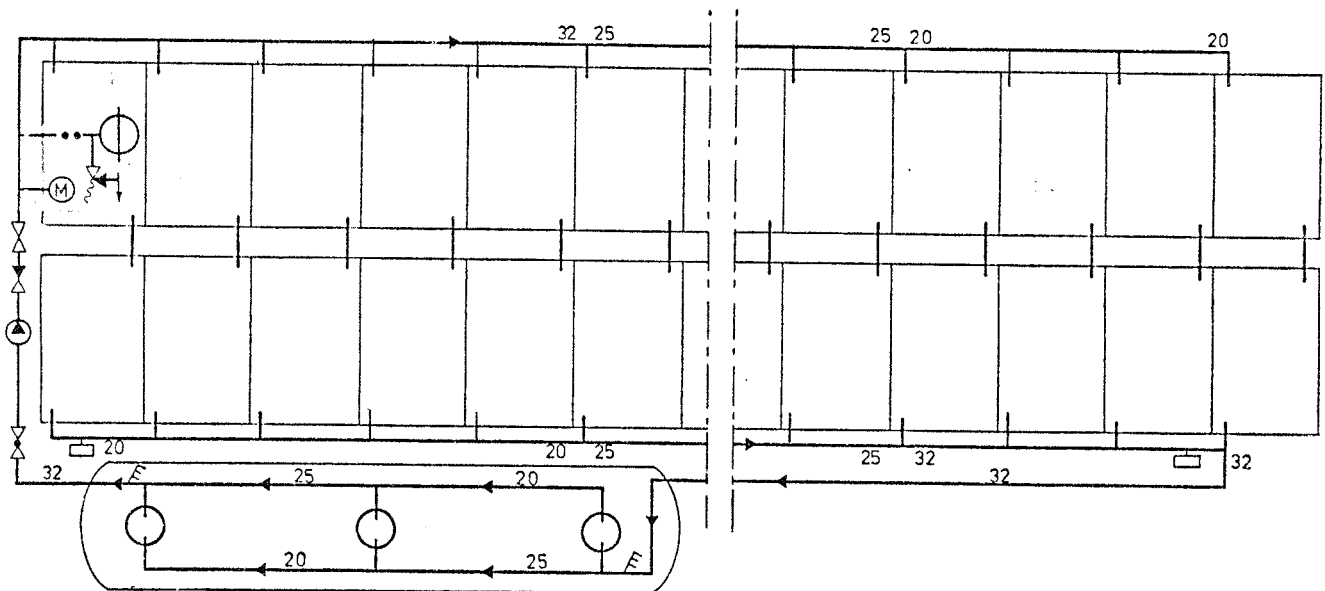
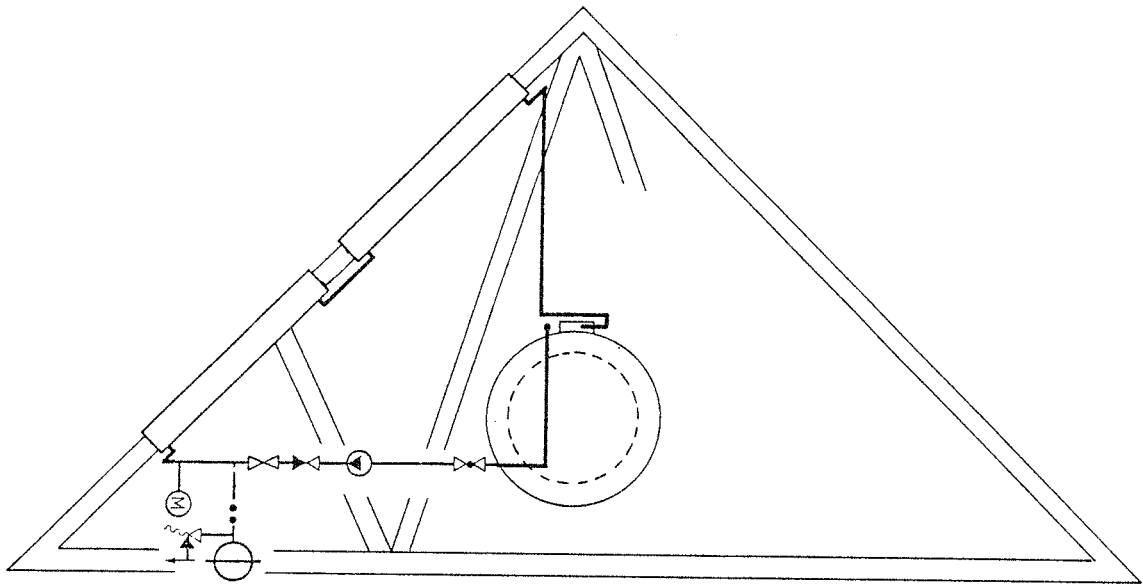
I betragtning af det store varmetab der er i rørsystemet, vil det være naturligt at se på mulighederne for en rationalisering af rørføringen.

De to væsentligste foranstaltninger i denne forbindelse er at undlade rørføringen gennem bryggers og at sætte elementerne i serie to og to. Derudover kan man afkorte rørsystemet ved at vælge den korteste vej. Disse foranstaltninger vil føre til en væsentlig reduktion i den samlede rørlængde og antallet af rørbøjninger, hvorfor rørdimensionerne kan sættes ned.

Fig. 41 viser et eksempel på en rørføring udført i overensstemmelse med ovenstående. Den samlede rørlængde er 69 m, altså omtrent en halvering. Varmekapaciteten bliver $258 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ ($183 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ for væsken og $75 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ for rørene) en reduktion på 68% i forhold til den eksisterende rørføring.

Tabet i rørsystemet ville da, alt andet lige, komme til at udgøre 7% af solfangerens udbytte i stedet for 22%. Som nævnt vil en reduktion af tabet ikke betyde at anlæggets årlige ydelse øges tilsvarende. Ydelsen vil derimod kun øges med 7-8% svarende til halvdelen af den procentvise reduktion i rørtabet. I dette tilfælde reduceres rørtabet med 1400 kWh/år (15% af solfangerydelsen på 9310 kWh/år), mens den nyttiggjorte ydelse øges med ca. 300 kWh/år (7,5% af 4190 kWh/år). En merydelse på 300 kWh - her $6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$ - er ikke ret meget, men da den er resultatet af en forenklet og dermed billigere rørføring, er den ikke uden betydning.

En anden måde at anskueliggøre besparelsen på er at reducere solfangerarealet svarende til det mindre rørtab. Herved fås, at med den ændrede rørføring vil en $7,5 \text{ m}^2$ mindre solfanger give samme årlige nyttiggjorte ydelse som det aktuelle anlæg.



FIGUR NR. 41. Alternativt rørsystem.

Driftserfaringer

Indkøring af anlæg

Efter færdiggørelse af anlægget i marts 1978 fulgte en periode, hvorder blev lokaliseret fejlfunktion på en del af anlæggets komponenter. Fejlene blev udbedret, og anlægget er indkørt og indreguleret umiddelbart efter varmesæsonens begyndelse i efteråret 1978. Følgende problemer viste sig i indkøringsperioden:

Kogningssikringen for solfangerkredsen var oprindeligt forbundet således, at solfangerpumpen altid var stoppet for tanktemperaturer over 85°C . Dette blev ændret til den korrekte funktionsmåde, således at pumpen altid kører for tanktemperaturer over 85°C .

Det inderste glaslag i to af solfangerelementerne revnede, sandsynligvis på grund af at temperaturen i solfangerne har nået stagnationsniveau. Dette kan være sket på en klar solskinsdag, hvor pumpen fejlagtigt ikke har kørt. Det bemærkes, at en 2-lags solfanger under alle omstændigheder bør kunne modstå stagnationstemperaturer, idet der er stor sandsynlighed for, at den vil blive udsat herfor mindst én gang i sin levetid.

Pumpen i solfangerkredsen måtte udskiftes. Der var installeret en såkaldt hydroforpumpe, der via en konsol var boltet til den bagvedliggende væg. Støjniveauet, når pumpen var i drift, var helt uacceptabelt, og den blev udskiftet ved en støjfri pumpe uden behov for bæringer (Grundfos UMS 50-60-106).

Omstyring af radiatorretur sker som før beskrevet ved hjælp af to magnetventiler. Disse styres af en differenstermostat med en føler på radiatorreturledningen og en i lagerbeholderen. Det viste sig, at de to føleres forbindelse til differenstermostaten var blevet forbyttet. Desuden viste de to magnetventiler sig at være ensvirkende og ikke modsatvirkende som forudsat.

Kontraventilen i solfangerkredsen viste sig ikke at lukke helt tæt. Årsagen var, at den var tætnet med en nylon 0-ring, der ikke i længere tid var bestandig over for glucol. Problemet med naturlig cirkulation om natten og deraf følgende varmetab viste sig imidlertid kun i specielle tilfælde. Det optrådte ved meget lave tanktemperaturer (under $20-30^{\circ}\text{C}$), dvs om vinteren. Dette kan forklares ved, at rørsystemet mellem lagerbeholderen og solfanger forløber gennem bryggers, og dermed under niveau af lagerbeholderen, se figur 8. Herved fungerer rørsystemet i sig selv som en kontraventil. Naturlig cirkulation kan nu forekomme, når den laveste del af rørsystemet, der er beliggende i bryggers, er varmere end i lagerbeholderen. Kontraventilen er blevet udskiftet med en type med viton 0-ring, der har vist sig at kunne holde.

Det er vanskeligt at opgøre, hvor stort et tab selvcirkulationen har været årsag til, idet tabet i perioder skjules af en lille nulpunktsfejl på flowmåleren i solfangerkredsen. Det samlede tab skønnes til 100-150 kWh, hvoraf hovedparten tabes i februar og marts.

Foruden udbedring af fejl og mangler ved anlægget, har der været tale om en generel indregulering af anlægget. Der har i dette tilfælde været endog meget gode muligheder for at verificere korrekt funktion af anlægget ved hjælp af det indstallerede målesystem. Med henblik på de anlæg, der ikke er instrumenterede, bør der foretages en vurdering af, hvilke muligheder man da har for at kontrollere funktionen af dets komponenter. Specielt tænkes der her på korrekt indstilling af stop-differensen for solfangerkredsen.

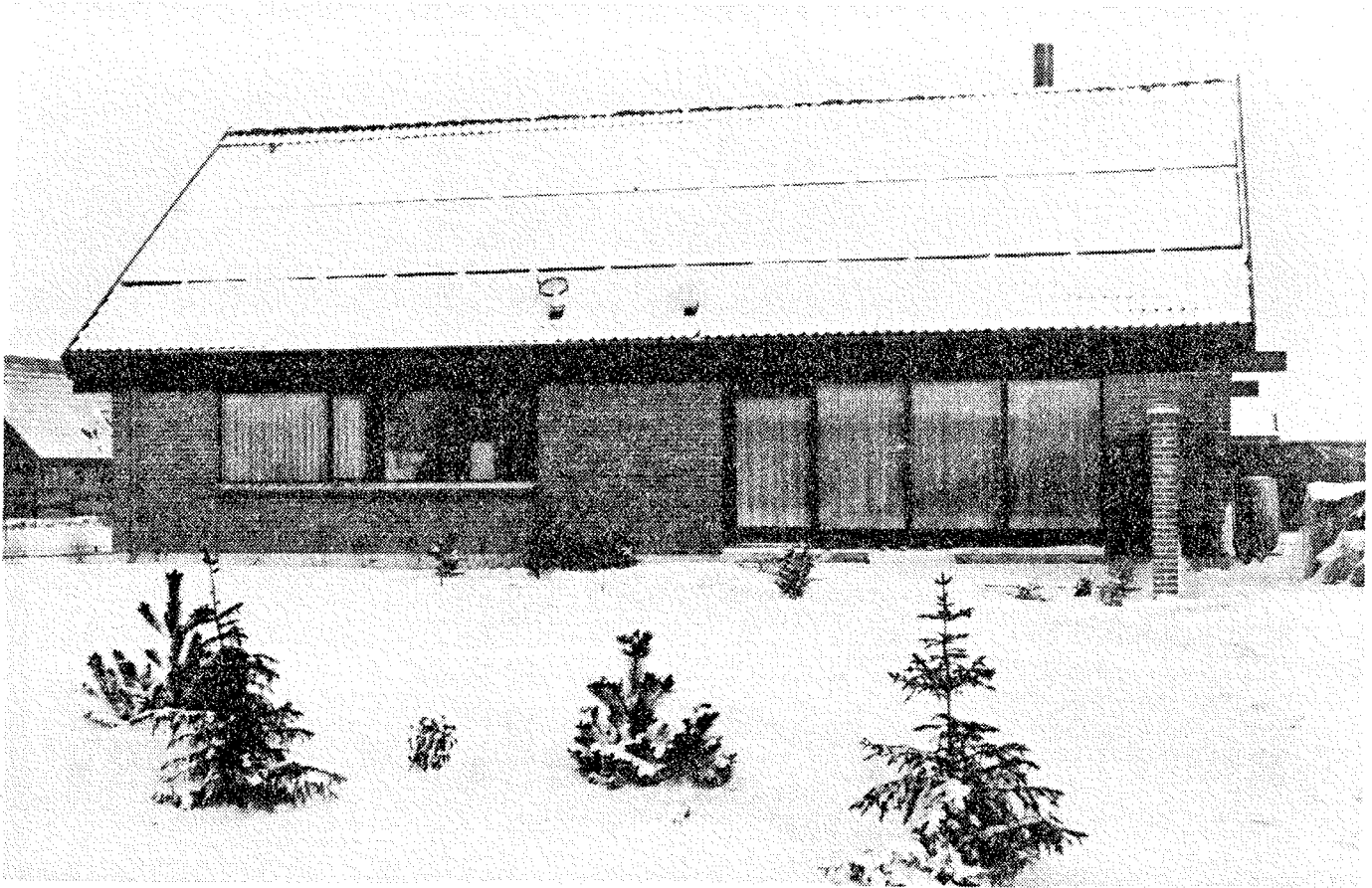
Drift og driftforstyrrelser

I enkelte af solfangerens elementer har der vist sig kondens på indersiden af det yderste glaslag. Det har i alle tilfælde kun haft udstrækning som et bånd af få cm's bredde langs nederste kant. Det har derfor ikke haft nogen indflydelse på solfangerens ydelse, ligesom det ikke umiddelbart giver anledning til betænkeligheder med hensyn til solfangerens holdbarhed.

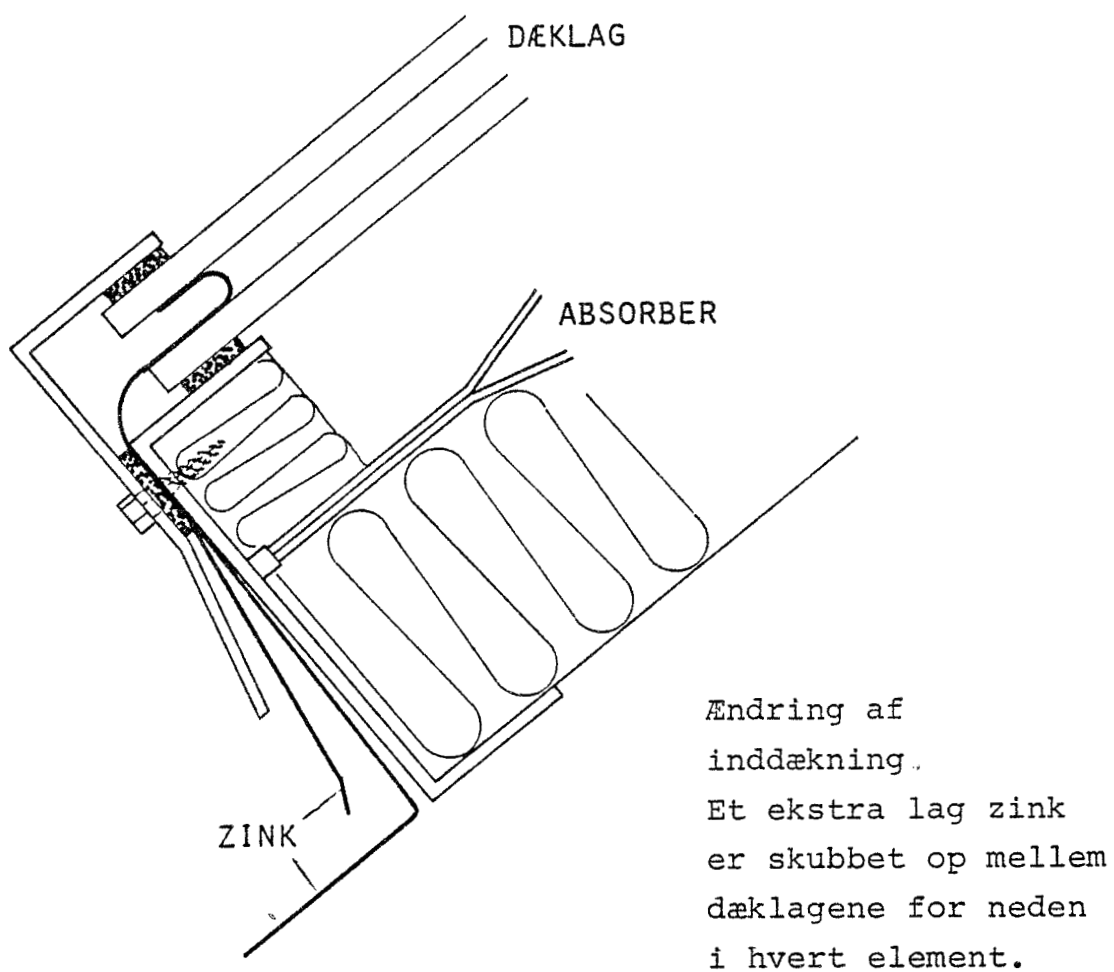
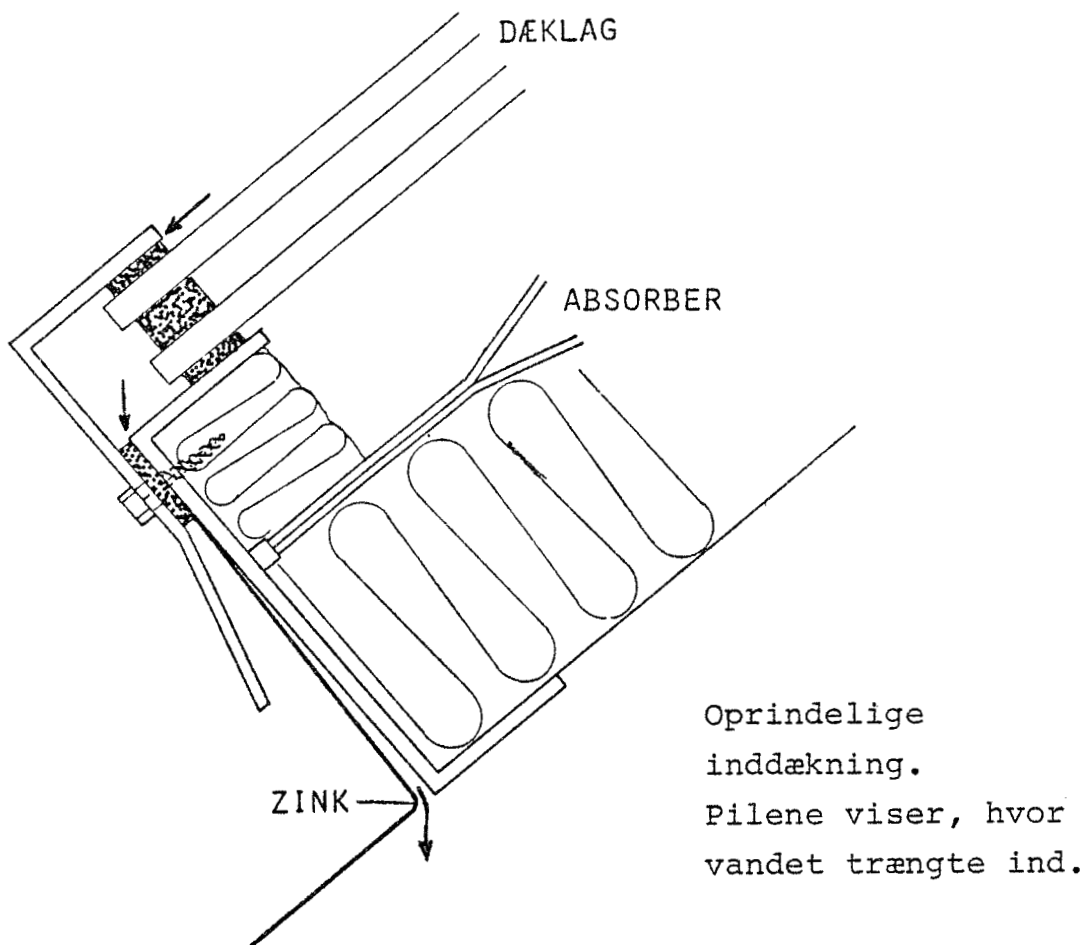
I vintermånederne er det et par gange observeret, at solfangeren har været dækket af sne trods klart solskin, se figur 42. På grund af snedækket har solfangeren ikke kunnet starte op, og anlægget er gået glip af et værdifuldt varmetilskud. Følgende faktorer er medvirkende til at dette problem kan opstå: Solfangerelementerne udgør en ujævn flade med flere tværgående sprosser, der kan bremse sneen; solfangerens hældning er forholdsvis beskeden, 38° ; der er ikke bag solfangerfladen et varmere rum, der kan bevirke at grænselaget mellem yderste glas og snedækket kan blive optøet.

Siliconefugen mellem glaslisten og yderste dæklag kunne ikke holde, hvorved vandet trængte ind i solfangerrammen. Her blev det ikke, som forudsat, opfanget af den del af zinkinddækningen, der var bukket op under glaslisten, men fortsatte ind bag inddækningen og ned i loftrummet, se figur 43. Løsningen på problemet blev udarbejdet af Afdelingen for Byggeteknik, Teknologisk Institut og er ligeledes vist på figur 43. Glaslisten skrues af og butylbåndet mellem glaslagene fjernes ved elementernes nederste kant. Her placeres så en ekstra zinkinddækning, som går uden på den oprindelige. Dette gøres desuden et stykke op på begge sider af hvert element.

Leverandøren af anlægget har ydet 5 års garanti, men på grund af tvivl om hvem af de implicerede parter (leverandøren, blikkenslageren eller solfangerfabrikanten), der skulle udføre reparationen, gik der desværre 4 mdr. før arbejdet blev udført. Dette kunne være undgået, hvis der i garantibestemmelserne var sat en tidsfrist for eventuelle reparationsarbejder.



FIGUR NR. 42. Solfanger dækket af sne.



FIGUR NR. 43. Inddækning af solfanger.

Vedrørende problemet med inddækningen blev det senere oplyst, at fejlen kunne skyldes, at siliconefugemassen ikke kunne binde på den type maling, som var anvendt på glaslisten. Det må dog anbefales, at man ikke baserer solfangerens tæthed alene på en fuge mellem glas og glasliste.

Efter sommerens stop af oliefyret viste der sig problemer med at tænde det igen. Det viste sig nødvendigt at foretage en rensning af oliefyr og kedel før problemfri drift kunne opnås.

Oliefyret blev tændt den 22/9, men havde driftstop den 27/9 til 10/11. I den første del af denne periode opretholdes rumtemperaturen nogenlunde på 21°C ved tapning af varme fra lagerbeholderen, men fra midten af oktober falder tanktemperaturen til omkring 20°C , og rumtemperaturerne falder dermed også. Det er dog bemærkelsesværdigt, at tanktemperaturer på helt ned til ca. 30°C viser sig at være tilstrækkelige til opretholdelse af rimelige indendørs temperaturer. Udetemperaturen varierer i perioden, hvor oliefyret har driftstop, mellem 5°C og 12°C .

Kogningssikringen på solfangerkredsen har været i funktion én gang, den 4/6. I dagtimerne passerede tanken 85°C , der var valgt som sætpunkt for kogningstermostaten. Efter solnedgang kørte solfangerpumpen derfor videre indtil kl. 23, hvor middeltanktemperaturen var faldet til 77°C . Efter en vurdering af det målte udbytte af solfangeren ved dette temperaturniveau og det målte varmetab fra lagerbeholderen blev kogningssikringen sat op til 88°C . Da varmetabet fra lageret bevirker et fald i temperaturen på ca. 2°C inden en eventuel driftsperiode den følgende dag, bliver den maximale lagertemperatur ca. 95°C .

9. Det videre arbejde

Den samlede måleperiode strækker sig over to år og forventes afsluttet pr. 31. august 1980. Med to års målinger er der mulighed for dels at få data fra en periode, hvor både anlæg og måleudstyr er indkørt, dels at vurdere anlæggets ydelse og drift under skiftende vejrforhold og varmekonsum. Desuden vil kun det andet måleår indeholde et "rigtigt" varmtvandsforbrug, idet huset først blev beboet den 1. april 1979.

Målingerne vil blive benyttet til vurdering af edb-simuleringsprogrammerne, der beregner varmestrømmene i anlægget hver halve time. Med en eventuel forbedret model vil det være muligt at bestemme forskellige parameters indflydelse på anlæggets drift. Her tænkes først og fremmest på varmekapacitet og flow i solfangerkreds samt solindfald - parametre, som har vist sig at være af stor betydning i det første måleår. Desuden vil tankstørrelsens betydning kunne vurderes ud fra de målte vejrdata, hvor der forekommer længere perioder uden sol end i referenceåret.

10. Resumé

Huset i Greve blev opført i efteråret 1977 og i begyndelsen af 1978 blev solvarmeanlægget installeret. Da det allerede under projekteringen af huset blev bestemt, at det skulle være med i demonstrationsprojektet, var der her mulighed for at ændre på typehusprojektet af hensyn til indpasning af solvarmeanlægget. Der blev således ændret på bl.a. taghældning og radiatoranlæg.

Solfangeren på $50,3 \text{ m}^2$ er indbygget i den sydvestvendte tagflade. Lagerbeholderen på 5450 l er placeret i det uopvarmede tagrum. Anlægget udnyttes til både rumopvarmning og varmt brugsvand.

I måleperioden september 1978 - august 1979 har solvarmeanlægget dækket 22% af husets samlede varmebehov på 19000 kWh. Dette svarer til en ydelse på 83 kWh pr. m^2 solfanger. Solfangeren har ydet 185 kWh/m^2 - tabet mellem solfanger og forbrugssteder udgør altså 55% af solfangerydelsen.

Solvarmeanlæggets årlige ydelse på 4200 kWh betyder en besparelse på 500 liter olie. Lægges hertil de 125 liter olie, der spares ved at slukke oliefyret i de 4 mdr., hvor hele forbruget dækkes af solvarme, bliver den samlede årlige besparelse 625 liter olie.

Det totale solindfald er målt til 960 kWh/m^2 , hvilket er 215 kWh/m^2 mindre end middelværdien af solindfaldet beregnet ud fra 15 års målinger i perioden 1959 - 1973 i Tåstrup. Dette har stor betydning for anlæggets ydelse - øges solindfaldet med de 215 kWh/m^2 viser beregninger, at ydelsen øges med 33%.

Med hensyn til driften af anlægget viste det sig i starten af måleperioden at en del komponenter, bl.a. relæ til kogningssikringen samt magnetventilerne til styring af radiatorreturen, var forbundet forkert. Efter udbedring af disse fejl har anlægget kørt tilfredsstillende.

11. Referencer

- [1] H. Lawaetz og L.S. Jørgensen: Dimensionering af et solvarmesystem til et typehus. Laboratoriet for Varmeisolering, meddelelse nr. 63, april 1977.
- [2] T.V. Esbensen og V. Korsgaard: Erfaringer og måleresultater fra Nul-energihuset på Danmarks Tekniske Højskole, Laboratoriet for Varmeisolering, November 1977.
- [3] Referenceåret - vejrdato for VVS-beregninger. SBI-rapport nr. 89, 1974.
- [4] N.F. Bisgård: Opvarmning og ventilation, bind I, Varmetransmission, 1972.
- [5] H. Lawaetz og S. Svendsen: Termisk effektivitet af en solfanger, beregnet og målt. Laboratoriet for Varmeisolering, meddelelse nr. 57, april 1977.
- [6] Gröber, Erk und Grigull: Die Grundsetze der Wärmeübertragung, 1963.
- [7] Solvarme, Vejledning i projektering og udførelse af anlæg, 2. udgave, april 1980.

12. Projektorganisation

Styregruppe Energimisteriet har udpeget følgende styregruppe for projektet:

H. Ibsen, civilingeniør, Boligministeriet (formand)
P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S
E. Christoffersen, afdelingsleder, Statens Byggeforskningsinstitut
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening
M. Dyre, civilingeniør, forskningschef, Danfoss
E. Eckert, afdelingsingeniør, Teknologisk Institut (sekretær)
K.H. Frier, direktør, civilingeniør, Foreningen af rådgivende ing.
V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH
C. Kortzau, cand.jur., Foreningen af typehusproducenter i Danmark
J. Lemming, civilingeniør, Handelsministeriet
V.S. Pejtersen, civilingeniør, Risø
P. Snare, ekspeditionssekretær, Energistyrelsen
H. Schiøler, direktør, H. Schiøler & Co. K/S
P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut
H. Tindal, arkitekt m.a.a., Praktiserende Arkitekters Råd

Projektmedarbejdere

Laboratoriet for Varmeisolering

K. Ellehauge, civilingeniør
N. Mejlhede Jensen, civilingeniør
L. Sønderskov Jørgensen, civilingeniør
P.E. Kristensen, akademiingeniør
H. Lawaetz, akademiingeniør
Sv.E. Mikkelsen, civilingeniør
C. Nielsen, civilingeniør
S.Aa. Svendsen, civilingeniør

Teknologisk Institut

L. Hallgren, ingeniør, lic.techn.
T. Vest Hansen, ingeniør
M. Lange, ingeniør
O. Paulsen, civilingeniør, lic.techn.
P. Steensen, civilingeniør (projektkoordinator)

I forbindelse med demonstrationsprojekterne har endvidere medvirket de pågældende byggeriers arkitekt og rådgivende ingeniør.

Adresser:

Laboratoriet for Varmeisolering
Bygning 118
Danmarks tekniske Højskole
2800 Lyngby
Tlf. 02-883511

Teknologisk Institut, Varmeteknik
Gregersensvej
2630 Tåstrup
Tlf. 02-996611

Bilag I - data for solvarmeanlægget

Solfanger

Fabrikat: Eversol v/E.W. Rasmussen Horsens A/S.

Solfangeren består af 30 elementer anbragt i to rækker. En tegning af et element er vist på figur 10.

Areal: 50,3 m² (gennemskinneligt glasareal)
Hældning: 38° fra vandret
Orientering: 30° mod vest i forhold til syd
Dæklag: 2 lag 4 mm alm. glas

Data for dæklag:	Brydningsindeks	n	1,526	1)
	Ekstinktionskoefficient	K mm ⁻¹	0,0191	1)
	Emissionskoefficient	ε	0,88	1)
	Transmissionskoef.	$\tau_r = \frac{2n}{1+n^2}$	0,917	2)
	"	$\tau_a = e^{-KL}$	0,926	2)
	"	$\tau = \tau_r \cdot \tau_a$	0,849	2)
	Afstand til absorber	mm	25	
	Afstand mellem dæklag	mm	5	3)

1) Standardværdier

2) Beregnet ud fra standardværdier

3) Denne afstand burde have været større, minimum 10 mm -
se side 55.

Absorber: Dobbelt stålplade med parallelle kanaler,
Pladetykkelse (yderst/inderst): 0,9 mm/0,9 mm
Kanaldimensioner - se figur 10
Absorberbelægning: Matsort maling
Emissionskoefficient: = 0,82 ⁵⁾
Absorptionskoefficient: = 0,96 ⁵⁾

5) Målt på Laboratoriet for Varmeisolering

Bagsideisolering: 30 mm mineraluld

Absorberens varmekapacitet:	1073 kJ/°C
heraf væske:	716 -
Varmekapacitet af rør mellem solfanger og tank:	795 -
heraf væske:	585 -
Varmetabskoef.for rør mellem solfanger og tank:	31 W/°C

Lagertank

Fabrikat: HS Kedler, Tarm

Længde, kantlinie	5,15 m (hjørnet ikke afrundet)
Længde, centerlinie	5,48 m
Radius i kuglekalot	1,15 m
Indvendig diameter	1,14 m
Volumen	5450 l (20°C)
Overfladeareal	20,9 m ² (20°C)
Isolering	200 mm mineraluld
Varmekapacitet incl. stål	22,9 MJ/°C (40°C)
Varmevekslereffektivitet	0,52 (Svarer til 49 W/°C·m ² og tanktemperatur = 46°C, se side 57).

Varmtvandsbeholdere

Forvarmebeholder	volumen	130 l
	isolering	50 mm mineraluld
Eftervarmebeh.	volumen	80 l