Solvarmeanlæg i Gentofte

MÅLINGER PÅ ANLÆG TIL RUMOPVARMNING
OG VARMT BRUGSVAND - ÅRSRAPPORT

AF

SVEND ERIK MIKKELSEN
LEIF SØNDERSKOV JØRGENSEN
POUL ERIK KRISTENSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MEDDELELSE NR. 96
FEBRUAR 1980

Indholdsfortegnelse

side

Forord..... 1

Figurliste..... 4

1. Indledning..... 6

2. Projektets start..... 7

3. Huset..... 8
Det oprindelige varmeanlæg..... 8

4. Beskrivelse af solvarmeanlægget..... 15
Anlæggets virkemåde..... 15
Driftsforhold..... 22
Styring af anlægget..... 22
Anlæggets opbygning..... 24
Beskrivelse af komponenter..... 27

5. Beskrivelse af målesystemet..... 32
Hvad måles?..... 32
Måleudstyr 33
Varmestrømme..... 34
Opsamling af måledata..... 36
Behandling af måledata..... 40

6. Måleresultater for første måleår..... 41
Korrektioner af månedsværdier for manglende måledata..... 41
Måleresultater..... 42

7. Behandling af måleresultater..... 56
Ydelse og dækningsgrad..... 56
Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning..... 57
Solfangerens effektivitet..... 59
Driftsforhold..... 63
Driftsforstyrrelser..... 65
Temperaturforhold i lagerbeholderen..... 66
Stratificeringens betydning for anlæggets ydelse.. 68
Følerplacering i lagerbeholderen..... 69
Følerplaceringens betydning for ydelsen..... 71

side

Indstilling af start og stopdifferens 71
Lagerbeholderens varmekapacitet 72
Tab fra lagerbeholderen 72
Tab fra for- og eftervarmebeholderen 74
Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder 75
Kogningssikring 82
Dugdannelser på solfangeren 83
Utætheder i solfangerens inddækning 83
Sammenligning med f-chart-beregninger 84
Vurdering af anlæggets dækning af rumvarme 89
Ydelsen med et og med to dæklag på solfangeren 90

8. Planer for det videre arbejde 91
Målinger 91
Den videre behandling af måledata 92

9. Resume 93

10. Referencer 94

11. Projektorganisation 95

Bilag nr. I - Data for solvarmeanlægget 96

Figurliste

		side
1.	Huset i Gentofte med og uden solfanger.....	10
2.	Kælderplan.....	11
3.	Stueplan.....	12
4.	Tagplan.....	13
5.	Snit.....	14
6.	Principdiagram over solvarmeanlæg	16
7.	Foto fra loftsrum	17
8.	Foto fra fyrrum.....	18
9.	Foto fra fyrrum.....	19
10.	Rumvarmeforbrug, 3 driftstilfælde.....	21
11.	Diagram over installationer i fyrrummet.....	25
12.	Diagram over installationer i loftsrummet.....	26
13.	Tegning af solfangerelementerne.....	28
14.	Tegning af lagerbeholderen.....	29
15.	Foto af lagerbeholderen.....	30
16.	Principdiagram med målesystem.....	35
17.	Diagram over dataopsamlingssystem.....	37
18.	Foto af måleskab og elskab.....	38
19.	Flowdiagram til kalkulatorens program.....	39
20.	Tabel over måleresultater for første måleår.....	44
21.	Solindfaldet og udbyttet af solfangeren.....	47
22.	Effektiviteten af solfangeren, månedsværdier.....	48
23.	Ydelse, tab i rør og lager og udnyttet energi.....	49
24.	Forbruget og soldelen af forbruget.....	50
25.	Totalstrålingen på solfangerens plan.....	51
26.	Diffus stråling på solfangerens plan.....	52
27.	Direkte stråling på solfangerens plan.....	53
28.	Fremløbstemperatur, rumtemperatur og lufttemp.....	54
29.	Lagerbeholderens middeltemperatur.....	55
30.	Tabel over energibesparelse og oliefortrængning...	58
31.	Effektiviteten af solfangeren, timeværdier.....	60
32.	Effektiviteten af solfangeren, stationære forhold.	62
33.	Effektiviteten af solfangeren, med grænser for visse parametre.....	62
34.	Oversigt over driftsforholdene.....	64
35.	Temperaturforhold i lagerbeholderen.....	67
36.	Temp. forhold i lagerbeholderen ved input.....	73

side

37. Tabel over værdier for rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder..... 76
38. Transmissionstab i rørsystemet i solfangerkredsen.. 80
39. Tabel over sammenligning med f-chart-beregninger... 85
40. Ydelsen som fkt. af forbruget af varmt brugsvand... 88

1. Indledning.

Nærværende rapport er en årsrapport vedrørende målinger på et solvarmeanlæg i Gentofte i perioden nov. 1978 til okt. 1979.

Rapporten indeholder en beskrivelse af solvarmeanlægget, bygningen det er installeret i samt en beskrivelse af målesystemet.

Resultaterne af første års målinger præsenteres, og der foretages en indledende behandling af disse, samt en beregning af den sparede energimængde.

De erfaringer, vi har indhentet gennem målingerne og gennem den jævnlige besigtigelse af anlægget, og som vil ligge til grund for de videre målinger og for udarbejdelse af den endelige rapport, vil blive omtalt.

Et væsentligt formål med projektet er en validering af EDB-beregninger på solvarmeanlæg. Arbejdet hermed er ikke tilendebragt og vil ikke blive præsenteret i nærværende rapport.

2. Projektets start.

Projektet er et delprojekt under 1. og 2. fase af Handelsministeriets (nu Energiministeriets) Forsknings- Udviklings- og Demonstrationsprogram vedrørende solvarmeanlæg. Formålet med de ialt otte demonstrationsprojekter er dels at bestemme anlæggenes ydeevne og følge driften over en 2-årig periode, dels at sammenligne målinger med EDB-programmernes beregningsresultater.

I nedenstående tidstabel er projektet i Gentofte fra starten på 1. møde i styregruppen, nedsat af Handelsministeriet (se side 95) til måleperiodens begyndelse, gennemgået

februar	1977	På 1. møde i styregruppen vedtages at påbegynde udvælgelse af egnede bygninger til demonstrationsprojekterne, herunder et eksisterende parcelhus, hvor solvarmeanlægget skal benyttes til både rumopvarmning og varmt brugsvand.
april	1977	De indhentede forslag til demonstrationsanlæg gennemgås på 2. møde i styregruppen, hvor man efterlyste et typisk ældre parcelhus med 45° taghældning. Det blev besluttet at indhente yderligere emner evt. ved annoncering. Efter annoncering i et lokalblad blev huset i Gentofte stillet til rådighed for installation af solvarmeanlægget og målinger i to år.
november	1977	Anlægget er projekteret og udbydes i licitation.
december	1977	Ved licitationen viste det sig at kun et af de fem firmaer, der var indbudt til at deltage, var i stand til at bygge det ønskede anlæg, hvor solfangerens placering tværs over taget umuliggjorde brug af standardelementer. Dette firmas tilbud på i alt 81450 kr. excl. moms blev derfor accepteret. Prisen er relativ høj pga. de specielle installationsforhold.
jan.-feb.	1978	Installationer i fyrrummet udføres.

marts 1978 Kommunen giver tilladelse til installation af solfanger under forudsætning af, at der anvendes refleksfrit glas.

april 1978 Solfangeren monteres.

maj 1978 Anlæg færdiggøres, bl. a. monteres rørtilslutninger mellem solfanger og lagertank.

juni-juli 1978 Måleudstyr monteres og afprøves.

august 1978 Målinger påbegyndes.

november 1978 I de første tre måneder af måleperioden er der ofte udfald af måleudstyret. Det første måleår regnes derfor fra 1. november 1978.

Ud af de 8 demonstrationsprojekter er de tre bygget på parcelhuse. Et brugsvandsanlæg på 10 m^2, anlægget i Gentofte på 28 m^2 og et anlæg på 50 m^2 til rumopvarmning og varmt brugsvand i et nyt hus.

Med disse tre anlæg opnås erfaringer med varierende solfangerarealer, udnyttelse til såvel opvarmning af brugsvand som til kombineret rumopvarmning og varmt brugsvand, samt installation i eksisterende kontra nye huse.

3. Huset

Huset er beliggende på en villavej i Gentofte. Det er opført i 1937 og er typisk for den tids byggeri. Fig. 1 viser huset med og uden solfanger. Fig. 2-5 viser planer og snit af huset. Solfangeren er, som det fremgår, placeret højt på taget, terrænet foran solfangeren skråner nedad, og der er ikke noget, der skygger for solfangeren.

Huset er opført med fuld kælder og udnyttet tagetage. Grundarealet er på 90 m^2 excl. garage og veranda.

Bruttoetagearealet (incl. ydervægge) er 249 m^2, fordelt med 99 m^2 i kælderplan, 86 m^2 i stueplan og 64 m^2 udnyttet tagetage.

Garage, hele kælderen med undtagelse af strygerum, veranda i stueplan og pulterrum i tagetagen er ikke opvarmet. Et kontor i stueetagen opvarmes kun lejlighedsvis, og endvidere står strygerummet uopvarmet en stor del af tiden.

Ydervæggene i huset består af en traditionel 31 cm hulstensmur. Først i halvfjerdserne er hulmuren blevet efterisoleret med polystyrengranulat.

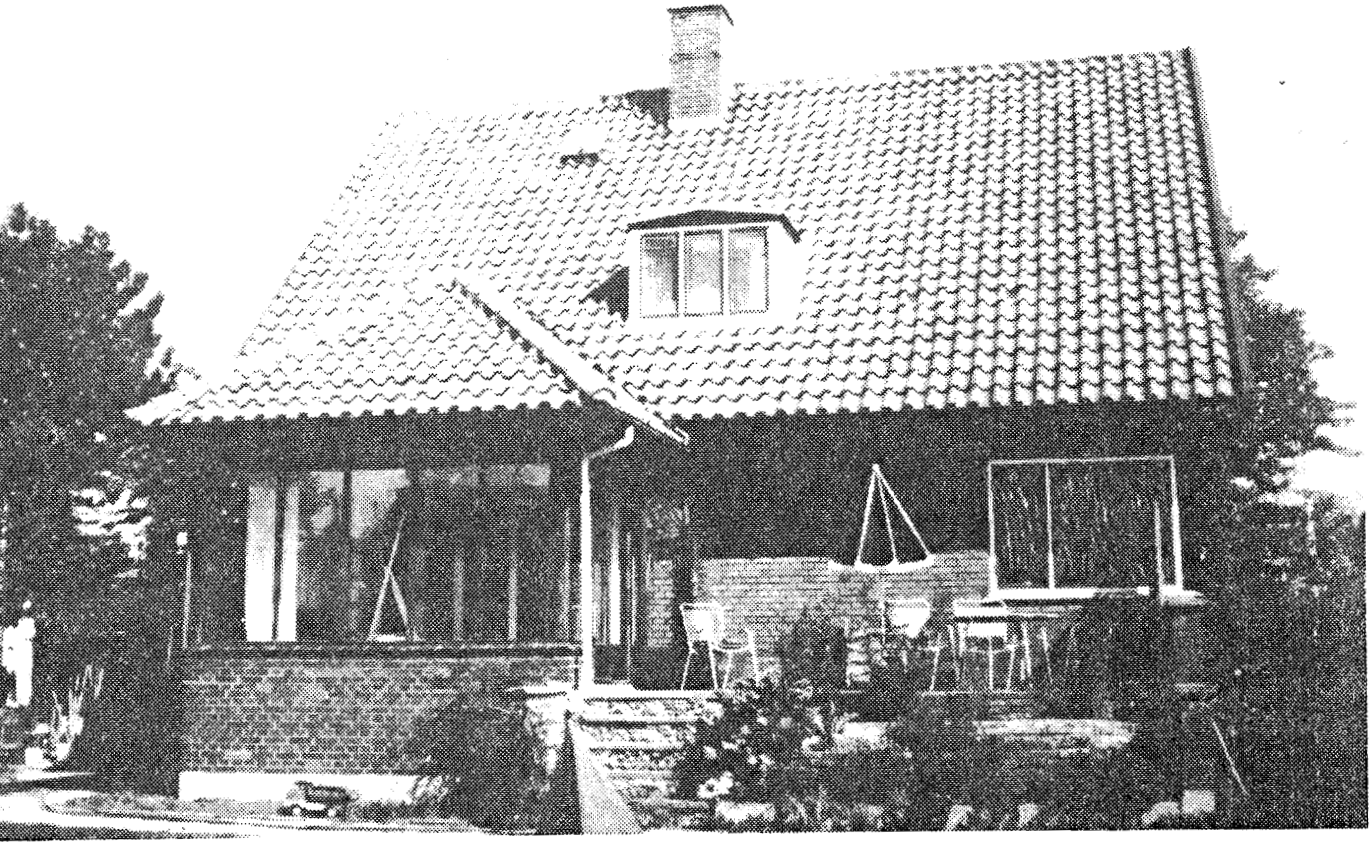
Væggene i tagetagen er isoleret med 50 mm mineraluldsmåtter og loftet med 100 mm.

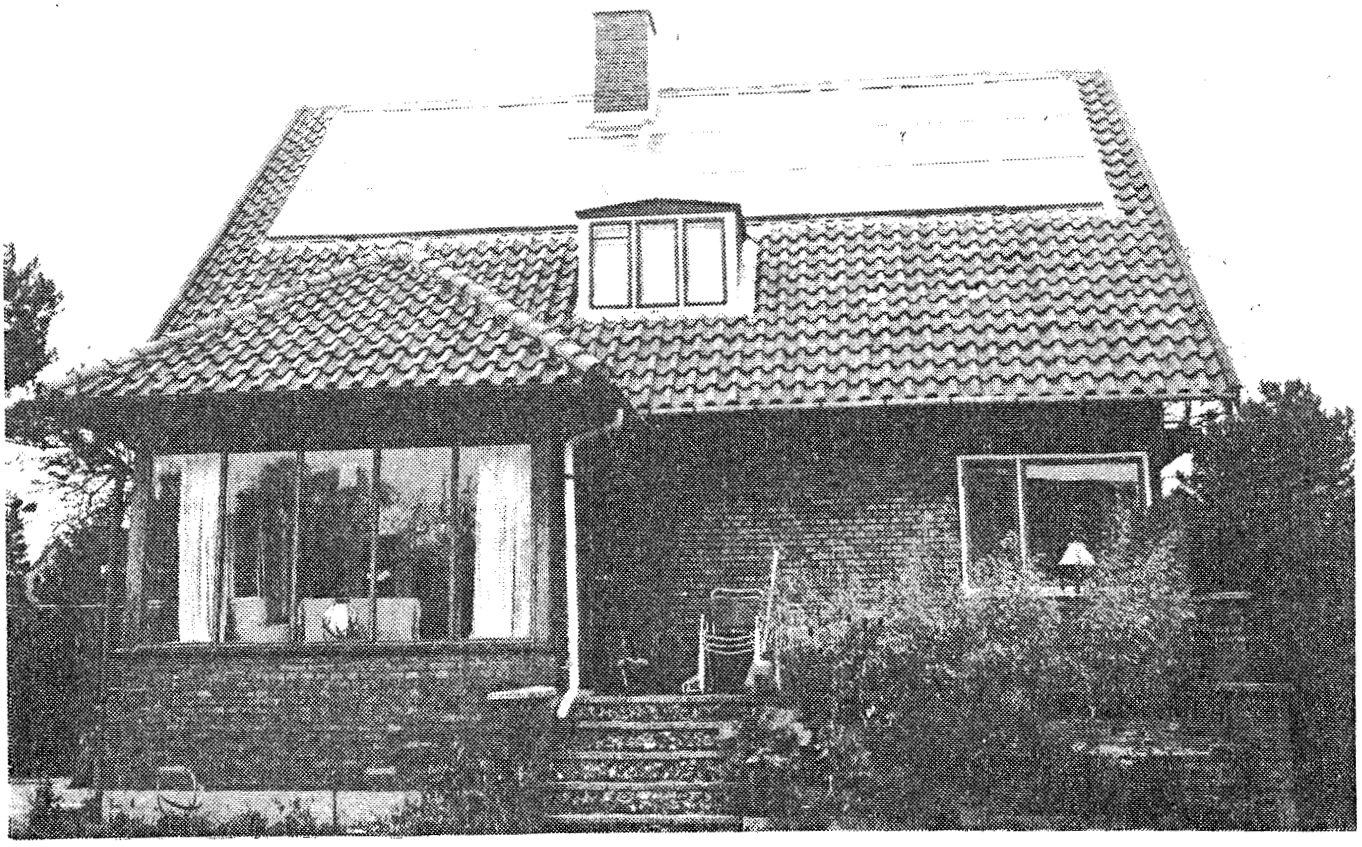
Det totale vinduesareal (excl. veranda) er på 32 m^2, fordelt med 3 m^2 i kælderplan, 21 m^2 i stueplan og 8 m^2 i tagetagen. Vinduer i kælderen har et lag glas. Alle andre vinduer til opvarmede rum har to enkelte lag glas.

Huset beboes af en familie på 4, 2 voksne og 2 børn på 8 og 2 år (1979).

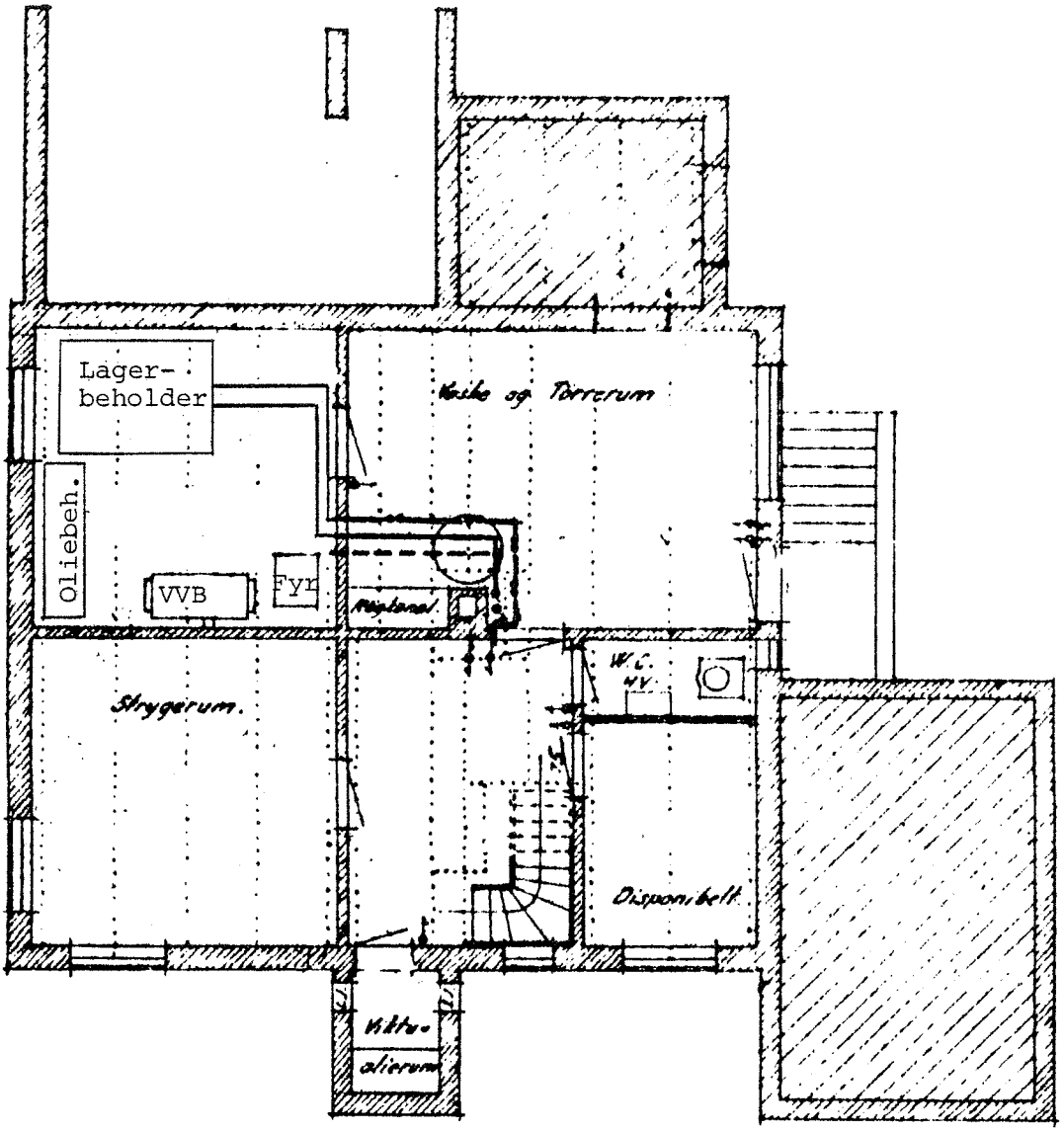
Det oprindelige varmeanlæg:

Det oprindelige varmeanlæg bestod af en støbejernskedel til oliefyr. Varmt brugsvand blev leveret via en separat varmtvandsbeholder på 300 l. Opvarmningen foregik via et radiatoranlæg med naturlig cirkulation. Kedlen og oliefyret er bibeholdt, hvorimod varmtvandsbeholderen er udskiftet.



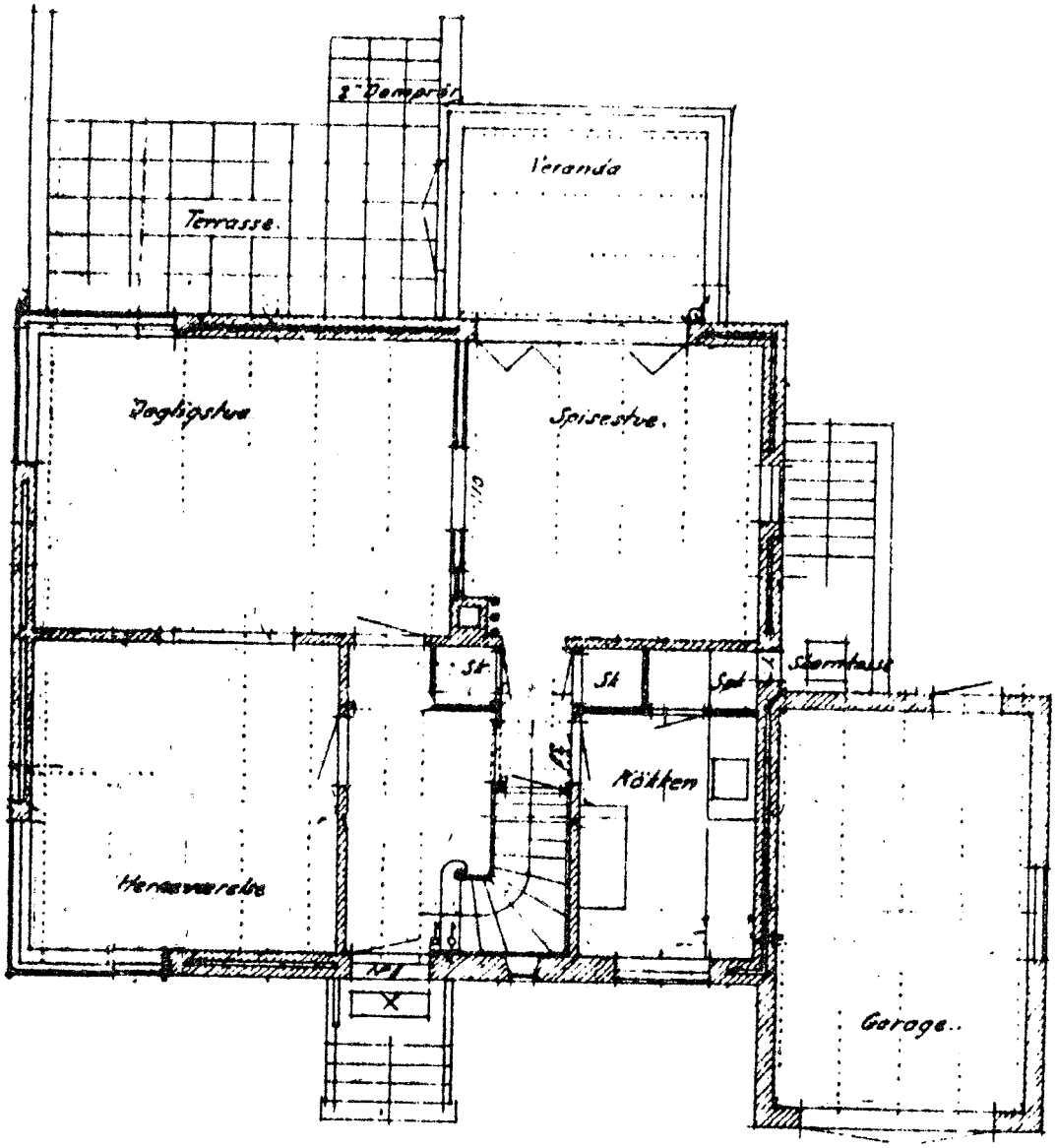


FIGUR NR. 1 - Huset i Gentofte med og uden solfanger.



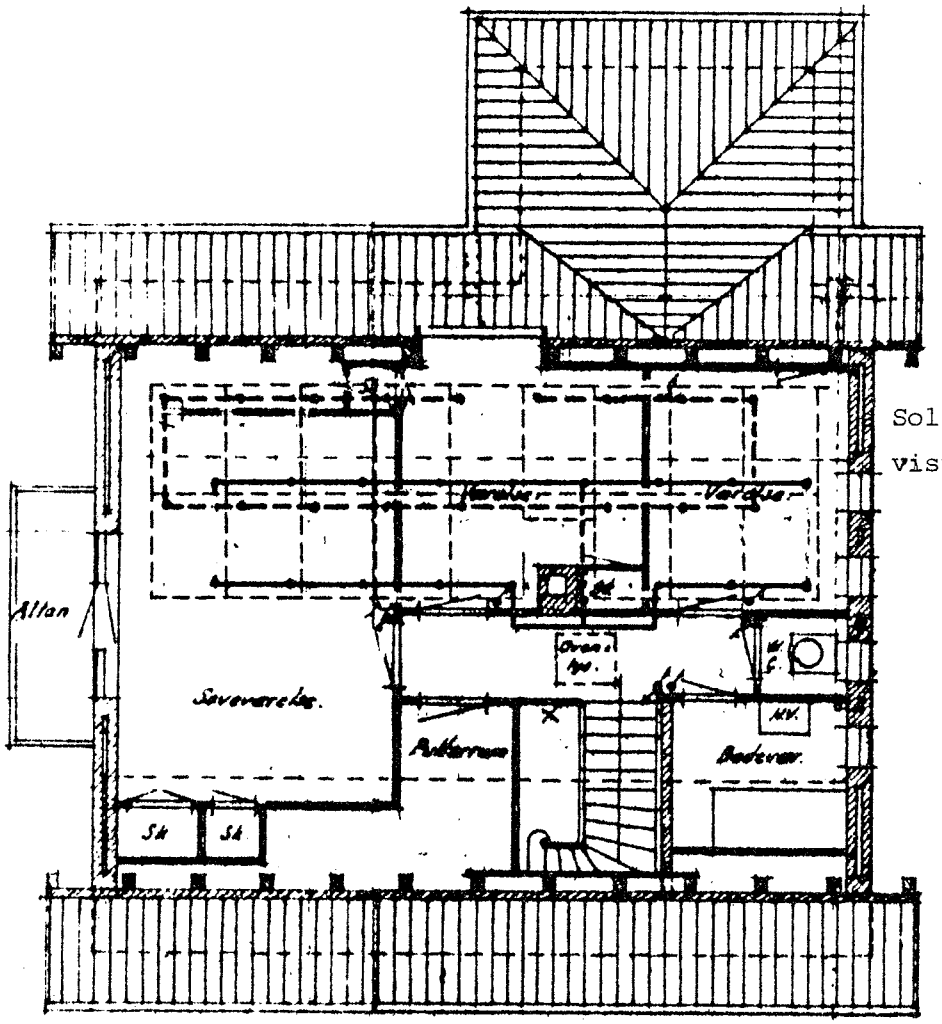
KÆLDERPLAN 1:100

FIG. NR. 2



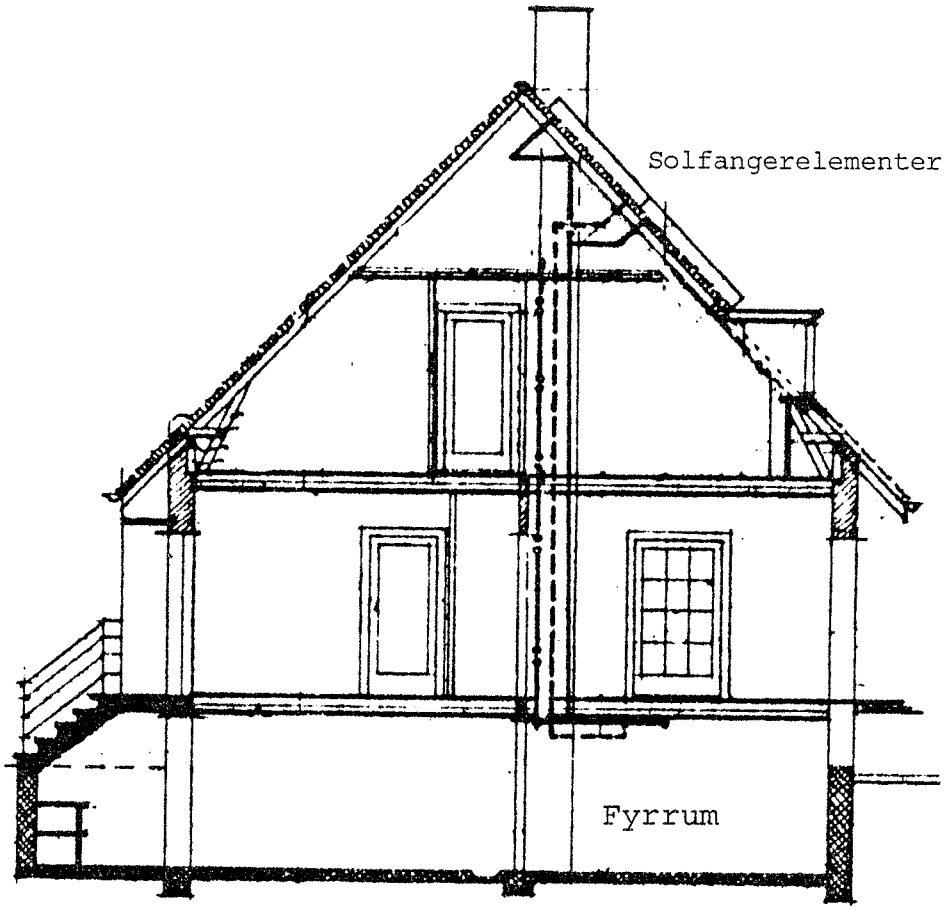
STUEPLAN 1:100

FIG. NR. 3



TAGPLAN 1:100

FIG. NR. 4



SNIT 1:100

FIG. NR. 5

4. Beskrivelse af solvarmeanlægget

Indledning:

Solfangeren, der er på 28,1 m^2 transparent glasareal, er indbygget i taget. Hældningen er 45° og orienteringen stik syd. Resten af anlægget inclusiv lagerbeholderen er installeret i et 15 m^2 fyrrum i kælderen.

Solvarmeanlægget leverer varme både til brugsvand og til rumopvarmning.

Fig. 6 viser opbygningen af anlægget. Der er på figuren kun vist det armatur, der ville være, hvis der ikke skulle foretages målinger på anlægget. Det virkelige anlæg er derudover forsynet med dykrør til temperaturmålinger samt vandmålere, der ved hjælp af ventiler kan afspærres. I fyrrummet er installeret en lagerbeholder på 2000 l, to varmtvandsbeholdere til varmt brugsvand, hver på 200 l, samt en oliefyret kedel.

Det skal bemærkes, at der i solfangerkredsen burde være monteret en snavssamler med afspærringsventiler omkring. Der har dog endnu ikke vist sig problemer i den anledning.

Fig. 7 viser foto af loftsrummet. Fig. 8-9 viser foto fra fyrrummet.

Anlæggets virkemåde:

Solenergien overføres til lagerbeholderen via en varmeveksler.

Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder er et lukket system med trykekspansion. Væsken i systemet er en vandethylenglucolblanding med et frysepunkt på ca. -15°C.

Den ene varmtvandsbeholder bliver opvarmet med vand fra lagerbeholderen (solvarme) Om sommeren er temperaturen her i reglen tilstrækkelig høj, og brugsvandet ledes direkte til tapstederne.

I den øvrige del af året ledes brugsvandet gennem den anden varmtvandsbeholder, som bliver opvarmet i kedlen. I denne situation bliver brugsvandet forvarmet i førstnævnte beholder,og den benævnes derfor forvarmebeholderen.

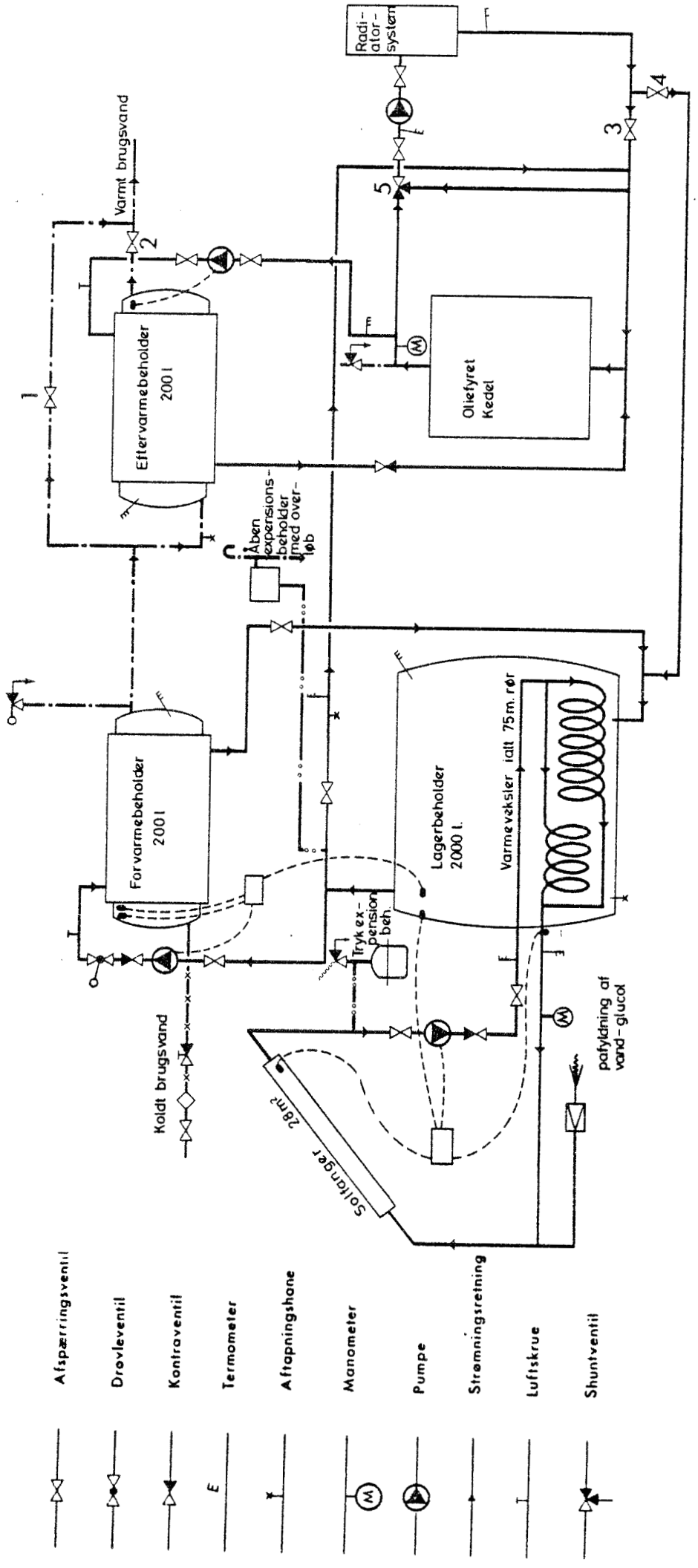
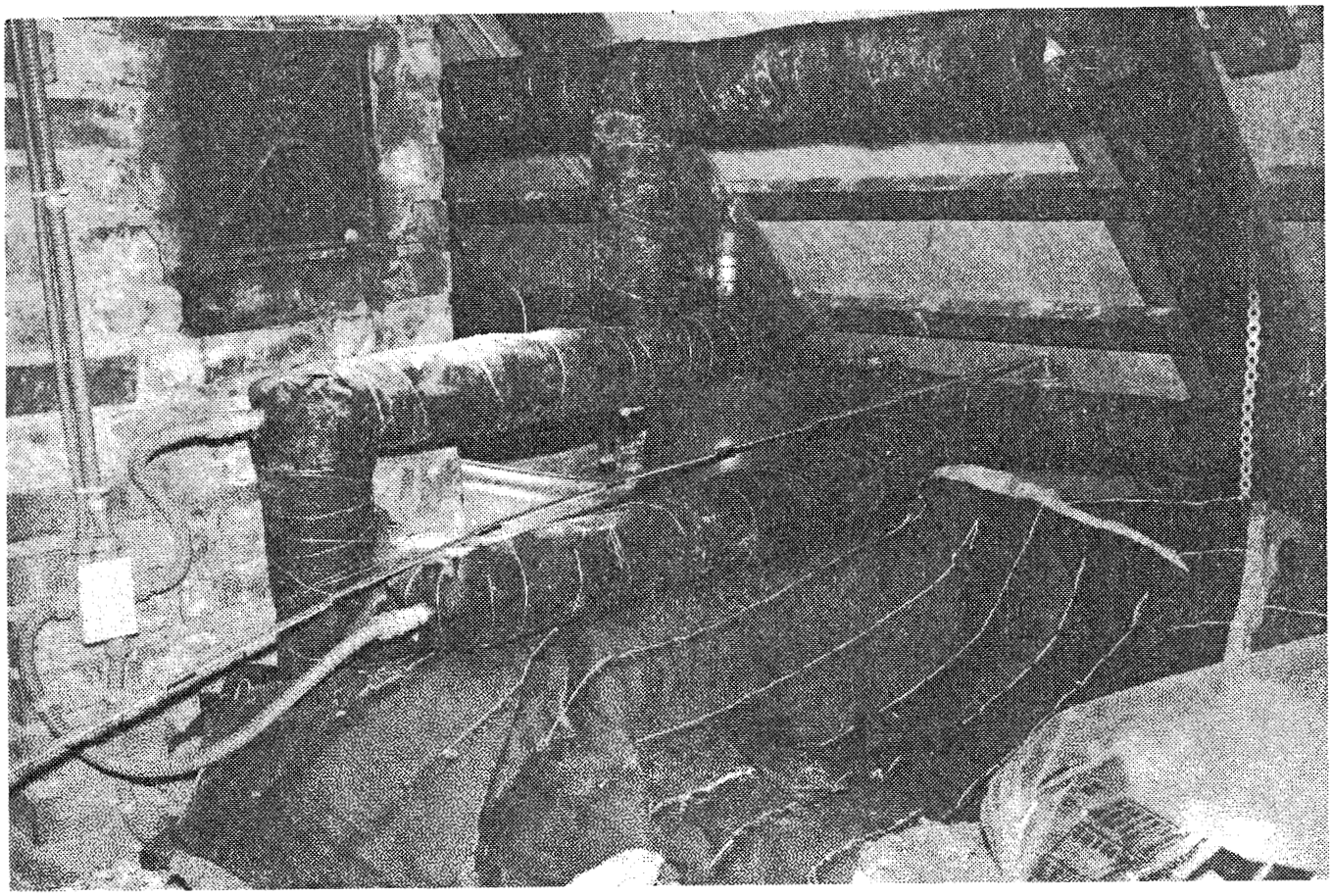
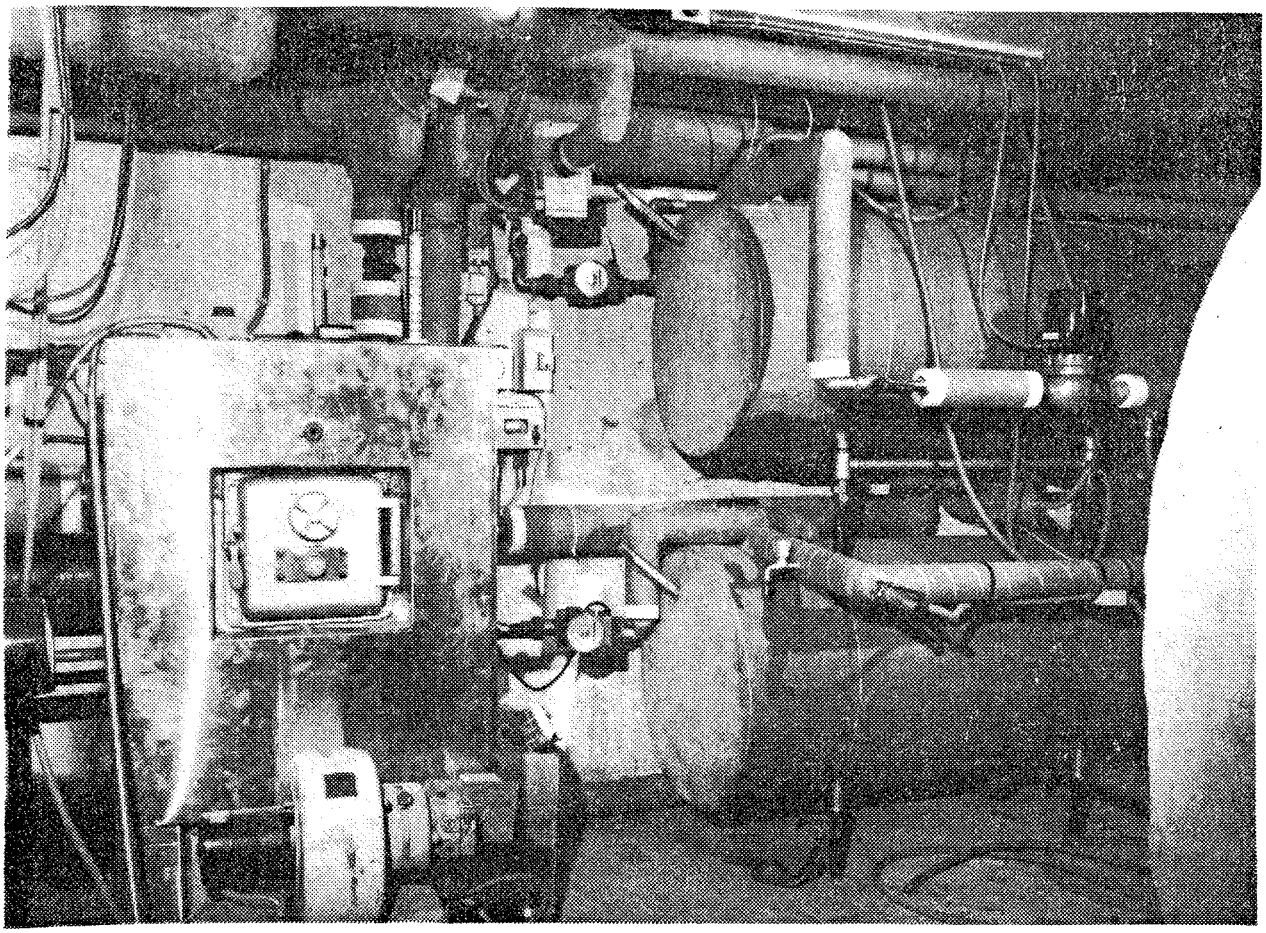


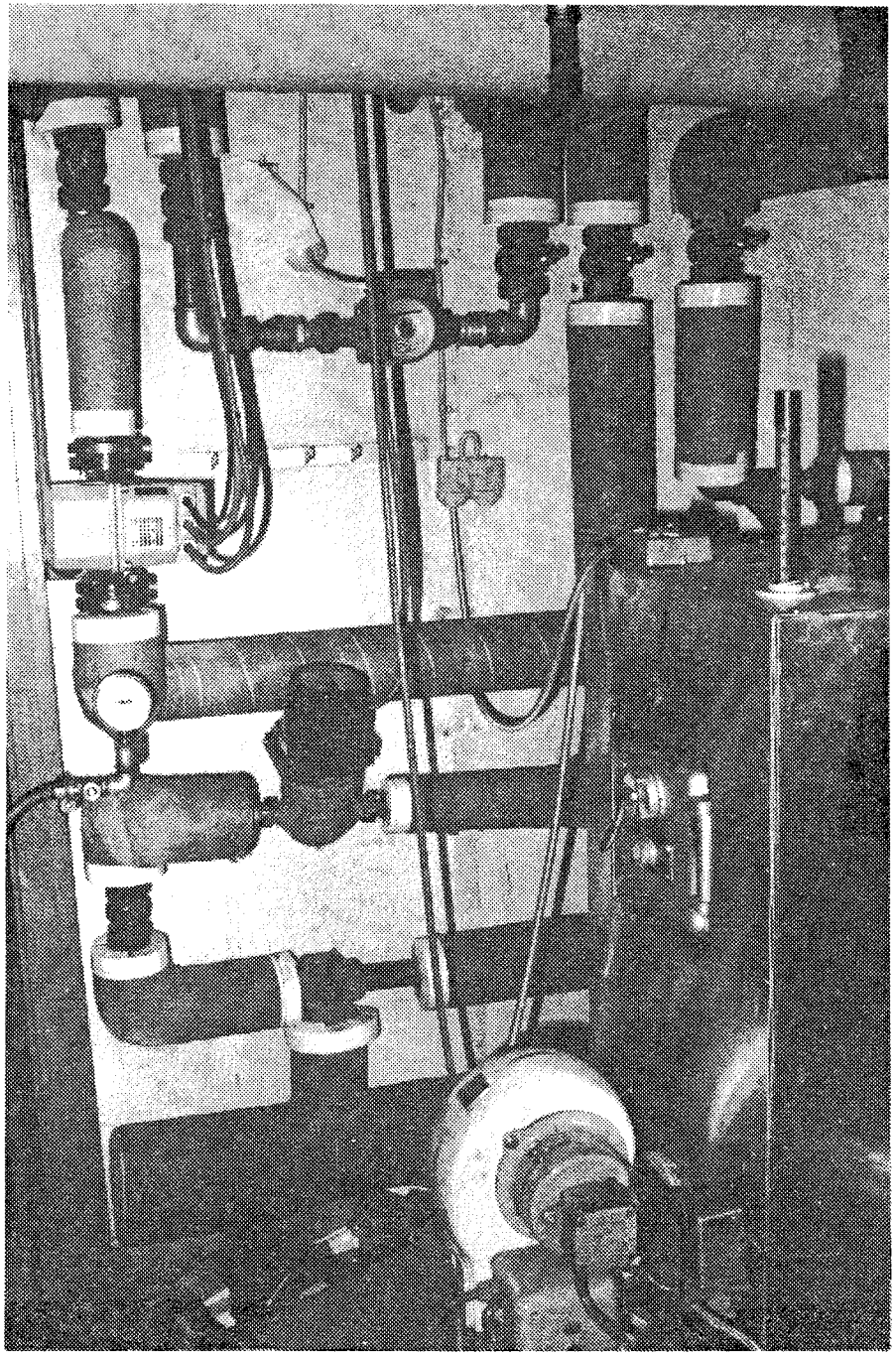
FIG. NR. 6 Principdiagram over solvarmeanlæg - uden målesystem.



FIGUR NR. 7 - Fordelerrør bag solfangerelementerne på loftet. I midten skimtes trykekspensionsbeholder med sikkerhedsventil.
Til venstre ses dykrør til måling af temperaturdifferens over solfangeren.



FIGUR NR. 8 Foto fra fyrrummet, til venstre kedelen, til højre de to varmtvandsbeholdere.



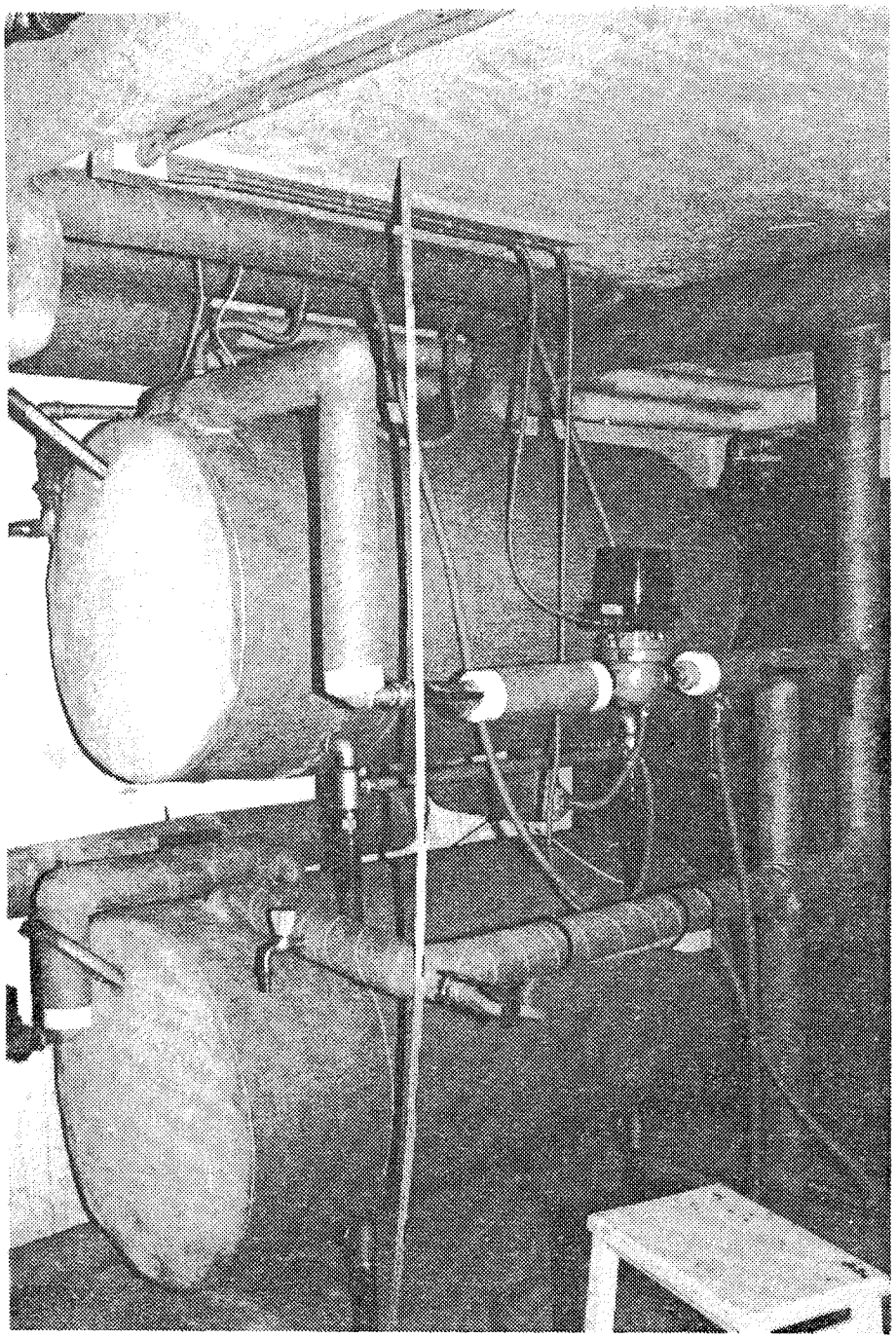


FIG. NR. 9.

Øverst - Pumpe og måler i solfangerkreds.
Nederst - Måler og trevejsventil i radiatorkredsen.

Øverst - Forvarmebeholderen.
Nederst - Eftervarmebeholderen.

Den anden varmtvandsbeholder benævnes eftervarmebeholderen. Udkobling af eftervarmebeholderen sker manuelt ved betjening af afspærringsventilerne, ventil 1 og 2 på fig. 6 .

Vandet i lagerbeholderen, radiatorerne og på kappen i for- og eftervarmebeholderne står i forbindelse med hinanden i et anlæg med åben ekspansion.

Med hensyn til rumopvarmning er der tre driftstilfælde (se fig.10):

Driftstilfælde 1 - kun solvarme:

Oliefyret er ikke i drift. Shuntventilen 5, som betjenes manuelt, stilles så der ikke cirkulerer vand gennem kedlen, og fremløbstemperaturen til radiatorerne bliver lig temperaturen i toppen af lagerbeholderen. Ventil 3 lukkes og ventil 4 åbnes, så returvandet ledes tilbage til lagerbeholderen. Ventil 3 og 4 betjenes også manuelt.

Driftstilfælde 2 - solvarme og oliefyr:

Radiatorvandet forvarmes i lagerbeholderen og eftervarmes i kedlen. Shuntventilen 5 kan stilles, så der sker en opblanding af vand fra lagerbeholderen og vand der har været gennem kedlen. Det er således muligt at regulere fremløbstemperaturen til en værdi mellem lagertemperaturen og kedeltemperaturen. Ventil 3 og 4 stilles som i tilfælde 1, så radiatorreturen går gennem lagerbeholderen.

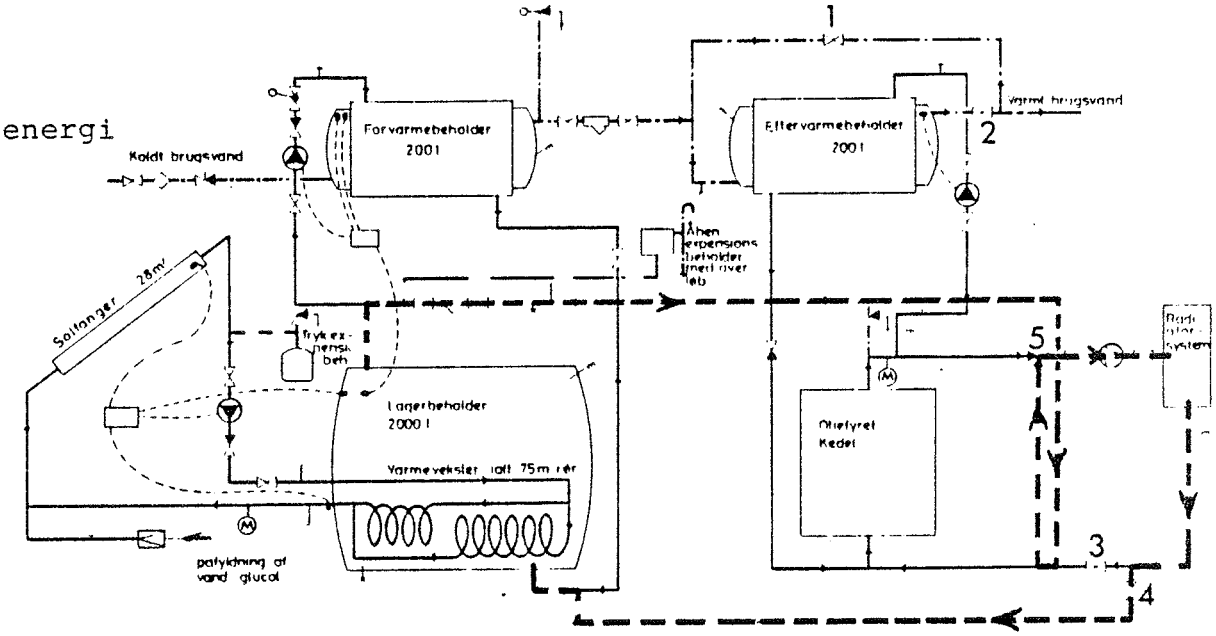
Så længe returtemperaturen fra radiatorerne er lavere end temperaturen i lagerbeholderen, kan lagerbeholderen bidrage til rumopvarmningen.

Under de ujævne driftsforhold man har i overgangsperioden - forår og efterår, hvor der kun periodevis er behov for rumvarme, vil returtemperaturen variere meget, og da man ikke kan stille om på ventilerne 3 og 4 i overensstemmelse hermed, vil oliefyret af og til opvarme lagerbeholderen.

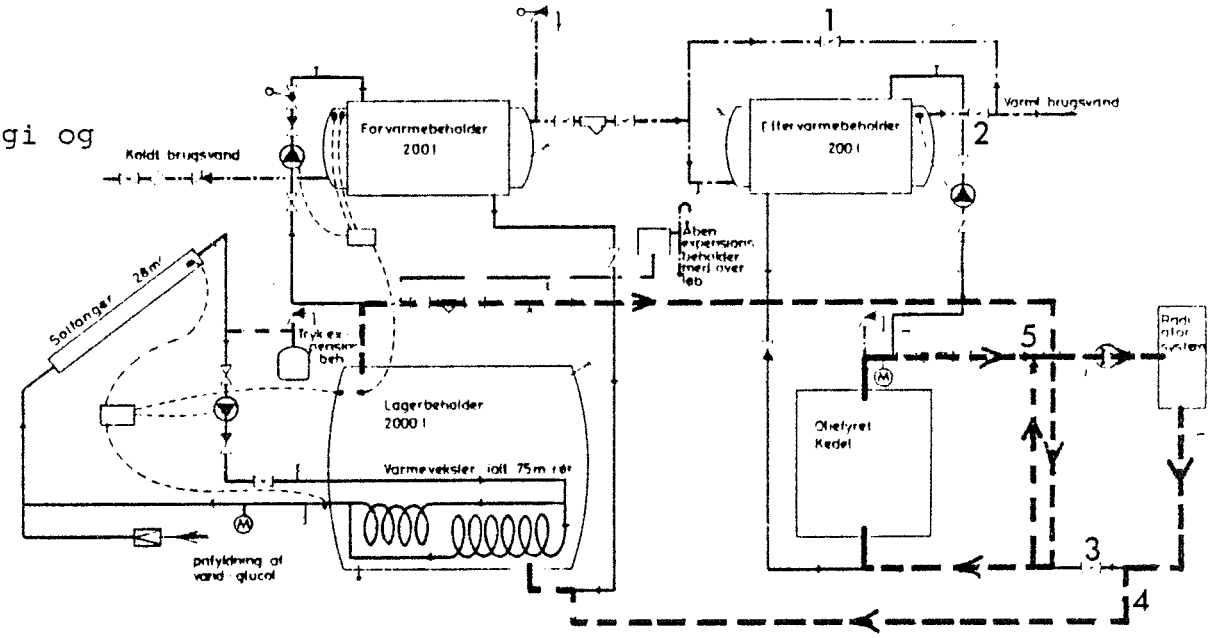
Driftstilfælde 3 - kun oliefyr:

Når radiatorreturen over en længere periode er konstateret lavere end temperaturen i lagerbeholderen, lukkes ventil 4 og ventil 3 åbnes. Rumopvarmningen foregår nu udelukkende

1. Kun solenergi



2. Solenergi og oliefyr



3. Kun oliefyr

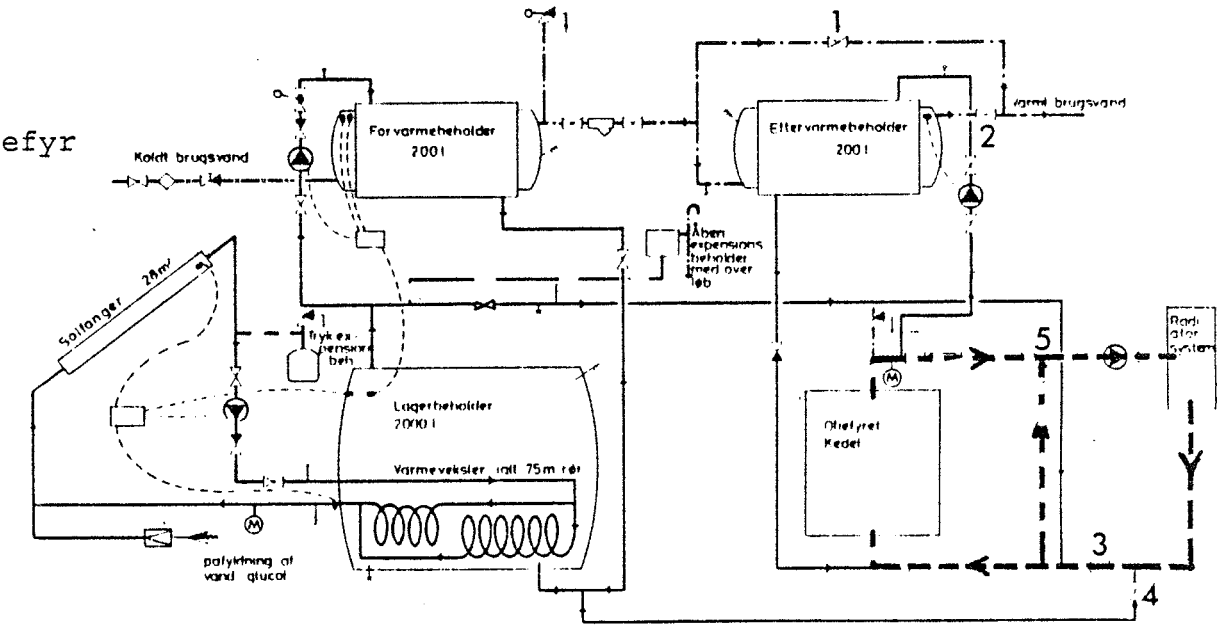


FIG. NR. 10 Rumvarmeforbrug, 3 driftstilfælde.

med oliefyret.

Shuntventilen kan nu bruges til at sænke fremløbstemperaturen til under kedeltemperaturen ved at opblande med returvandet.

Det var tanken, at ejeren, ud fra returtemperaturen og lagertemperaturen, skulle foretage omkobling af radiatorreturen to gange om året - forår og efterår. Der er dog, for at udnytte anlægget mest muligt, skiftet noget oftere.

Driftsforhold:

Om sommeren vil anlægget under normale forhold køre i driftstilfælde 1, oliefyret er afbrudt, og eventuelt behov for rumopvarmning tages fra lagerbeholderen.

Om vinteren vil solvarmeanlægget kun bidrage til forvarmning af det varme brugsvand.

På et tidspunkt om efteråret vil der opstå et behov for at starte oliefyret, enten fordi fremløbstemperaturen til radiatorerne (lagertemperaturen) er for lav til at klare behovet, eller fordi temperaturen af det varme brugsvand ikke bliver høj nok. Der kan da være en periode, hvor oliefyret kun tjener til rumopvarmning eller kun til varmt brugsvand.

Tilsvarende forhold gør sig gældende om foråret.

Styring af anlægget.

Af fig. 6 fremgår placering af følere, og det er vist til hvilket relæ de er tilknyttet.

Solfangerkredsen:

Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med en føler på absorberen ved udløb fra solfangeren og en føler i lagerbeholderen. Termostaten indstilles, så solfangerpumpen starter, når temperaturen af føleren på absorberen er den indstillede værdi over temperaturen af føleren i lagerbeholderen.

Tilsvarende kan termostaten stilles til en stopdifferens med en bestemt tidsforsinkelse, således at solfangerpumpen stopper, når differensen mellem temperaturen af de to følere i den indstillede tidsperiode har været lavere end den indstillede værdi.

Placeringen af føleren i lagerbeholderen har været problematisk, og vi har flere gange flyttet den. Herom mere i kapitel 7.

For at forhindre kogning i lagerbeholderen er der anbragt en tredie føler i toppen af lagerbeholderen. Hvis temperaturen her, efter en solrig dag, når op over en bestemt værdi (omkring 80 ^{o}C), kører solfangerpumpen videre, eventuelt natten over, med negativt udbytte, til temperaturen i lagerbeholderen igen er nået ned på de 80 ^{o}C. Med den effektivitet, som solfangeren har i dette temperaturområde, vil der på den måde altid være 'plads' til en solrig dags produktion, uden at vandet i lagerbeholderen begynder at koge.

Forvarmebeholderen:

Pumpen til forvarmebeholderen er styret af en differenstermostat med en føler i forvarmebeholderen og en føler i lagerbeholderen. Denne termostat kan stilles til en bestemt startdifferens og en bestemt stopdifferens på tilsvarende måde som termostaten i solfangerkredsen, blot er der her ikke nogen tidsforsinkelse.

Desuden er der en absoluttermostat med en føler i forvarmebeholderen. Denne bevirker, at pumpen ikke starter, når

temperaturen i forvarmebeholderen har nået den ønskede maximumtemperatur på det varme brugsvand , selv om temperaturen i lagerbeholderen er højere.

Eftervarmebeholderen:

Pumpen i kredsen fra kedlen til eftervarmebeholderen styres af en absolut termostat, der indstilles til den ønskede temperatur på det varme brugsvand. Denne har vist sig at være 50 °C.

Radiatorkredsen:

Der er installeret et ur til cirkulationspumpen i radiatorkredsen, så der er mulighed for forudindstillet stop af pumpen om natten. Dette har dog ikke noget med solvarmeanlægget at gøre og er installeret på ejerens initiativ.

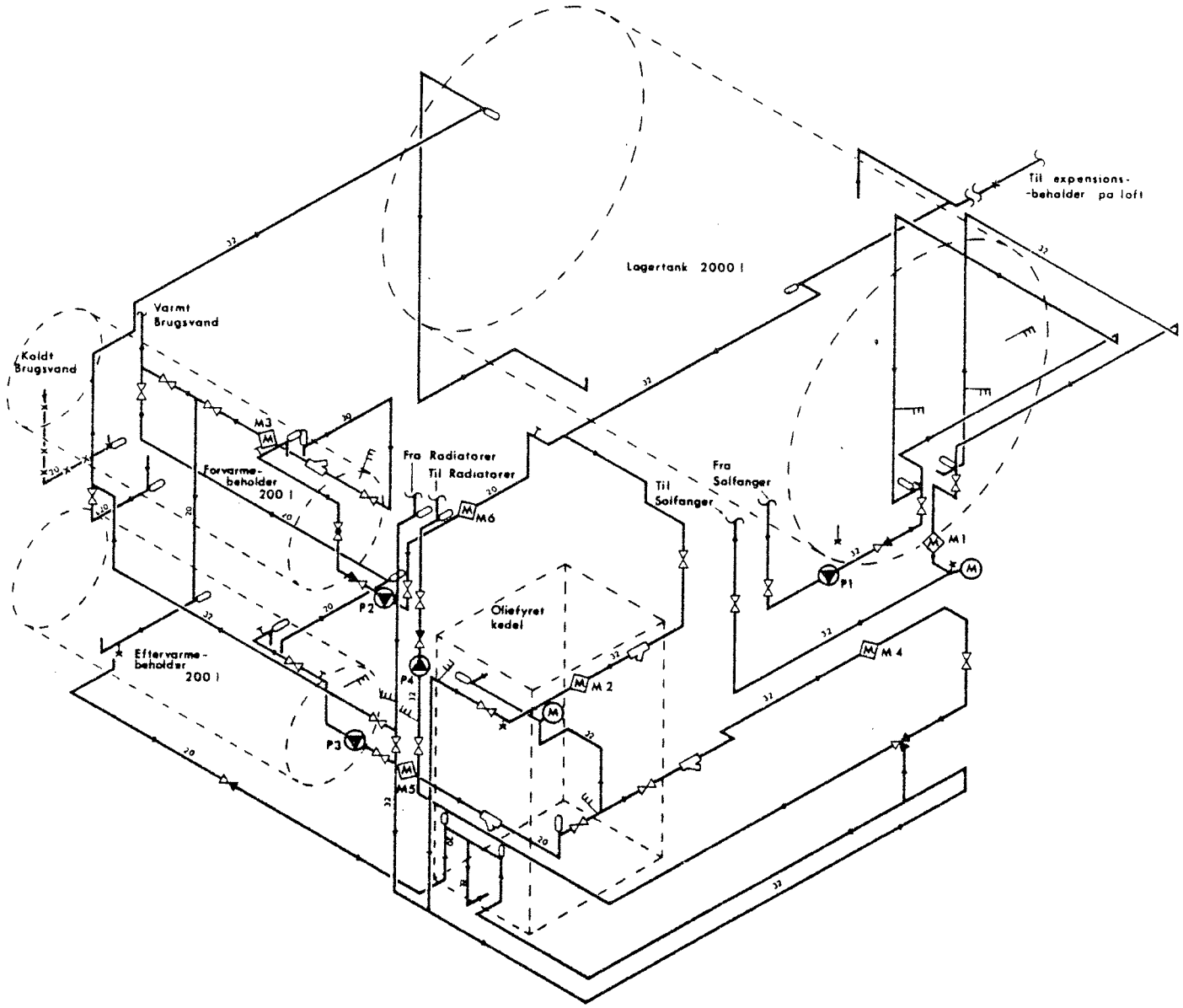
Anlæggets opbygning

Af fig.11 fremgår anlæggets rumlige opbygning.

Tegningen viser anlægget som det ser ud nu. Rørføringen er ret kompliceret og der er en del flere bøjninger end på arbejdstegningen. En del af disse bøjninger er udført af hensyn til placering af målere, og af hensyn til placering af dyklommer til placering af temperaturfølere.

Som hovedregel er rørene isoleret. Rør af betegnelse 32 er isoleret med 40 mm mineraluld, rør af betegnelse 20 med 30 mm mineraluld. Rør der er placeret i hjørnet bag kedlen er ikke isoleret, idet det ikke var muligt at komme til. Omkring målere, snavssamlere, pumper og diverse ventiler er der ingen isolering.

Man kan da sige at målesystemet har påført anlægget et extra tryktab som følge af dykrør, målere og rørbøjninger, og et større varmetab som følge af uisolerede målere og tilhørende ventiler.



Dykrør til termoelementer eller termosejler

Afspærringsventil

Drøvleventil

Kontraventil

Termometer

Aftapningshane

Flowmåler

Manometer

Snavssamler

Pumpe

Strømningsretning

Luftskrue

Shuntventil

FIG. NR. 11 Diagram over installationer i fyrrummet, isometrisk.

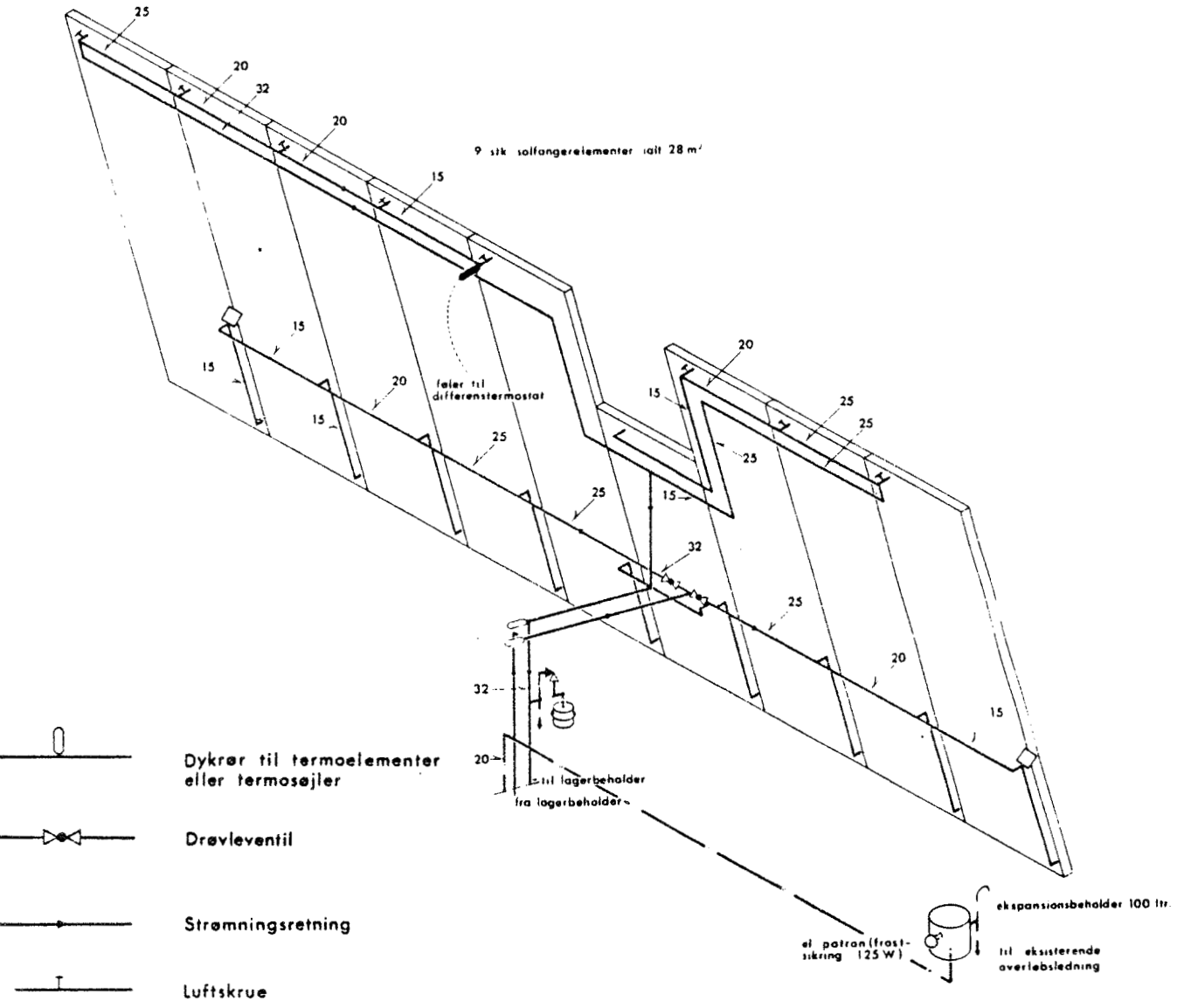


FIG. NR. 12 Diagram over installationer på loftsrum, isometrisk.

Beskrivelse af komponenter

Solfangeren

Solfangeren er leveret af Dansk Solvarme K/S. På figur 13 er vist firmaets tegning af solfangeren. I forhold til firmaets normale solfangerelement er der foretaget følgende ændringer: Yderste dæklag er efter krav fra Gentofte kommune erstattet med en refleksfri glastype. Desuden er længden øget fra 3065 mm til 3460 mm for at opnå et areal på ca. 30 m^2.

Solfangeren består af 9 elementer på 3,46 x 0,97 m^2. Den øverste tredjedel af elementet ved skorstenen er et blindelement. Et element er afgrænset af en ramme af træ. Det yderste glaslag er anbragt oven på trærammen med en gummitætningsliste imellem. Det inderste glaslag er anbragt i et spor i de lange sider af trærammen. I enderne er glasset fastholdt af en gummiklods, så der opstår en spalte mellem glasset og træet på ca. 10 mm. Absorberen består af to punktsvejste aluminiumsplader med mellemliggende rørrist. Den yderste plade er anbragt i et spor i trærammen. Afstanden mellem glas or absorber er ifølge fabrikanten 1,6 cm. De to tilslutninger er anbragt diagonalt bag på solfangeren.

Med hensyn til solfangerens øvrige data henvises til bilag I.

Lagerbeholderen:

På fig. 14 er vist en tegning af lagerbeholderen. Fig. 15 viser et foto af beholderen.

Beholderen er på 2000 l, og udført af stålplader, svejst op på stedet, idet det ellers ikke var muligt at få den ind i fyrrummet.

Beholderen er isoleret med 200 mm rockwool, opbygget af 4 lag 50 mm lamelmåtter, dækket med lærred og holdt på plads af ståltråd.

Understøtningerne, ialt 4, er opbygget af 6 mm svejst pladejern - se fig. 15.

Som det fremgår, er varmeveksleren todelt. Spiralen består af 1" middelsvære gevindrør (svejst). Den samlede rørlængde er 75 m, svarende til et varmeoverførende areal på 7,9 m^2. Effektiviteten er beregnet til o,75, svarende til en varmeoverføringskoefficient på 115 $W/^oC$ pr. m^2 solfanger.

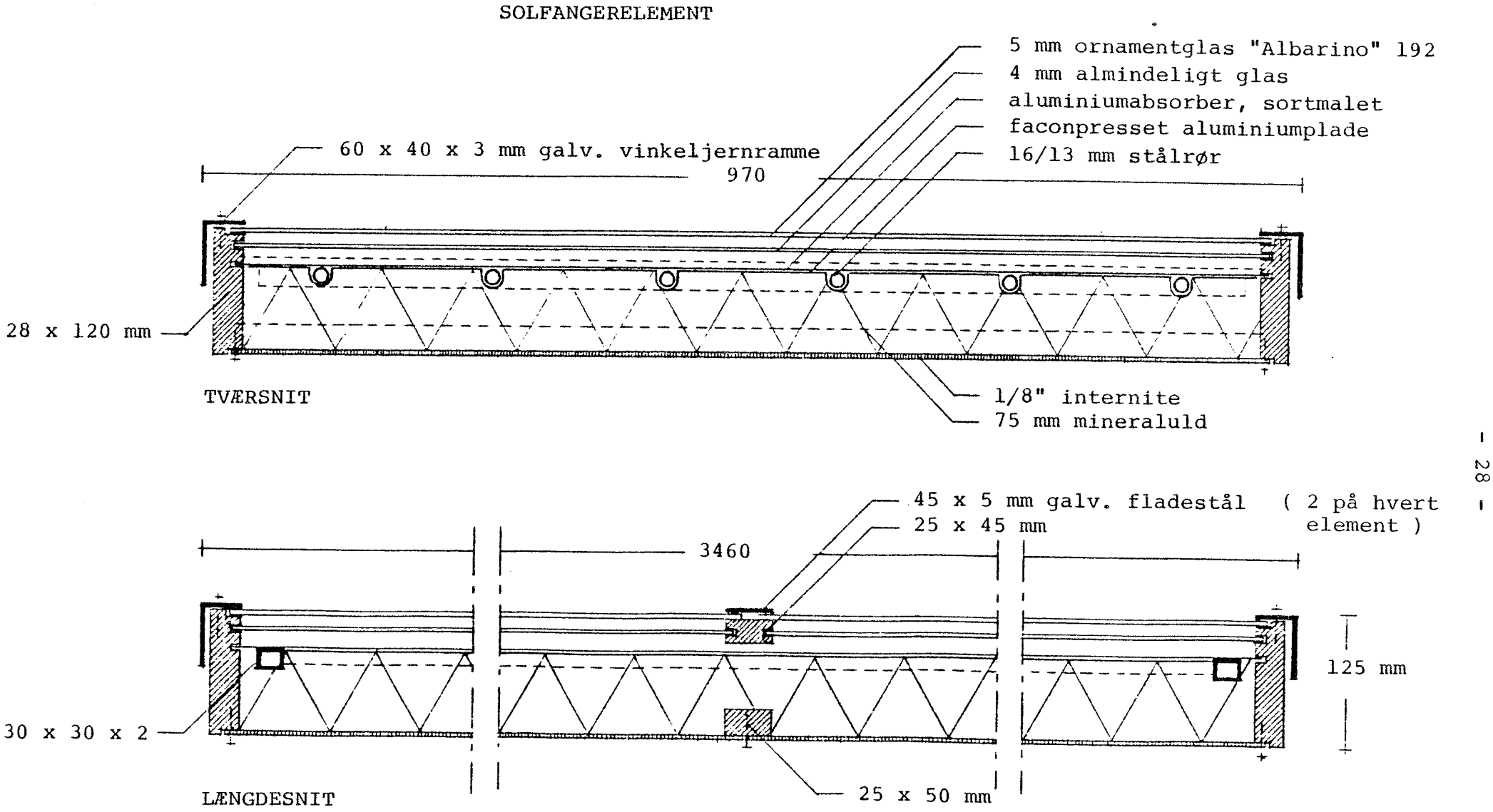


FIG. NR. 13 Solfangerelementerne (fabrikantens tegning med enkelte ændringer)

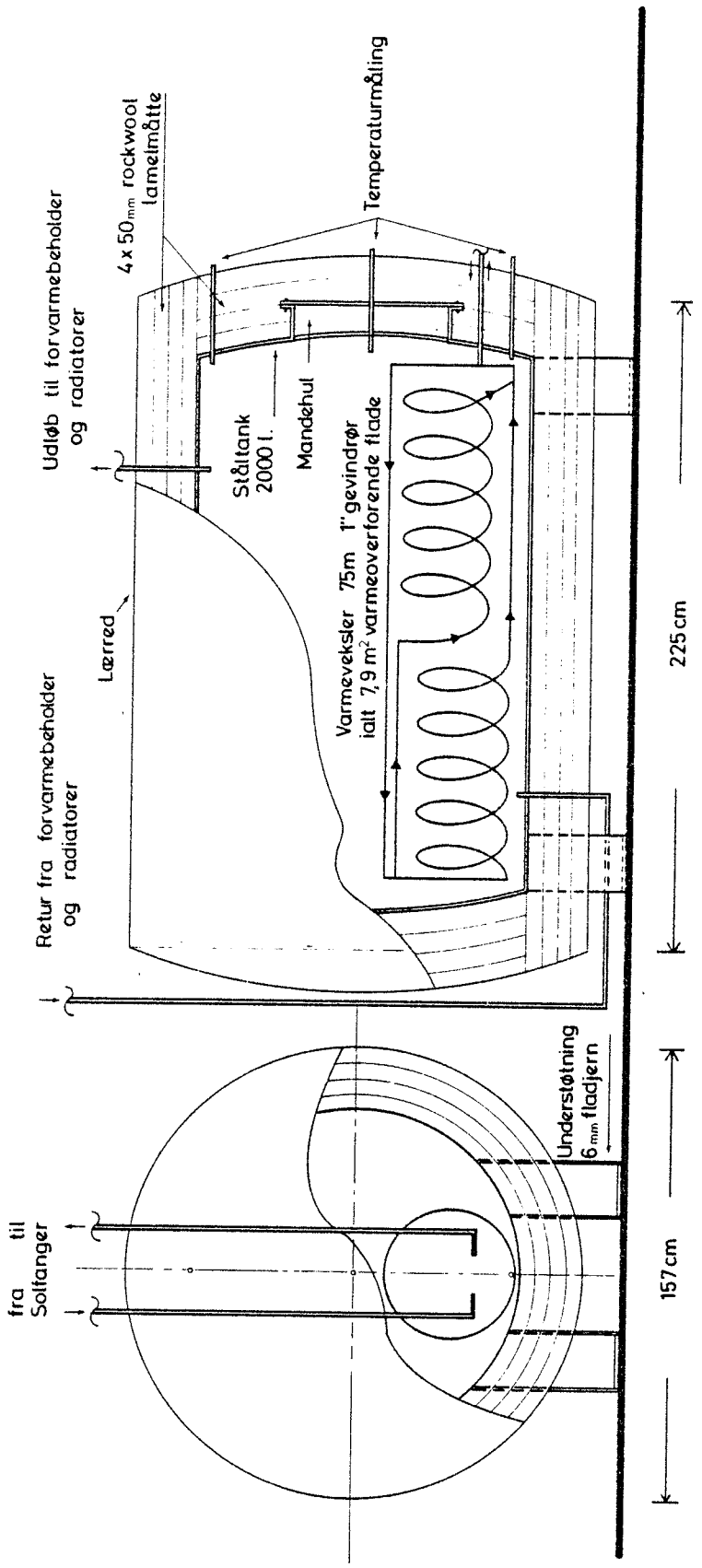
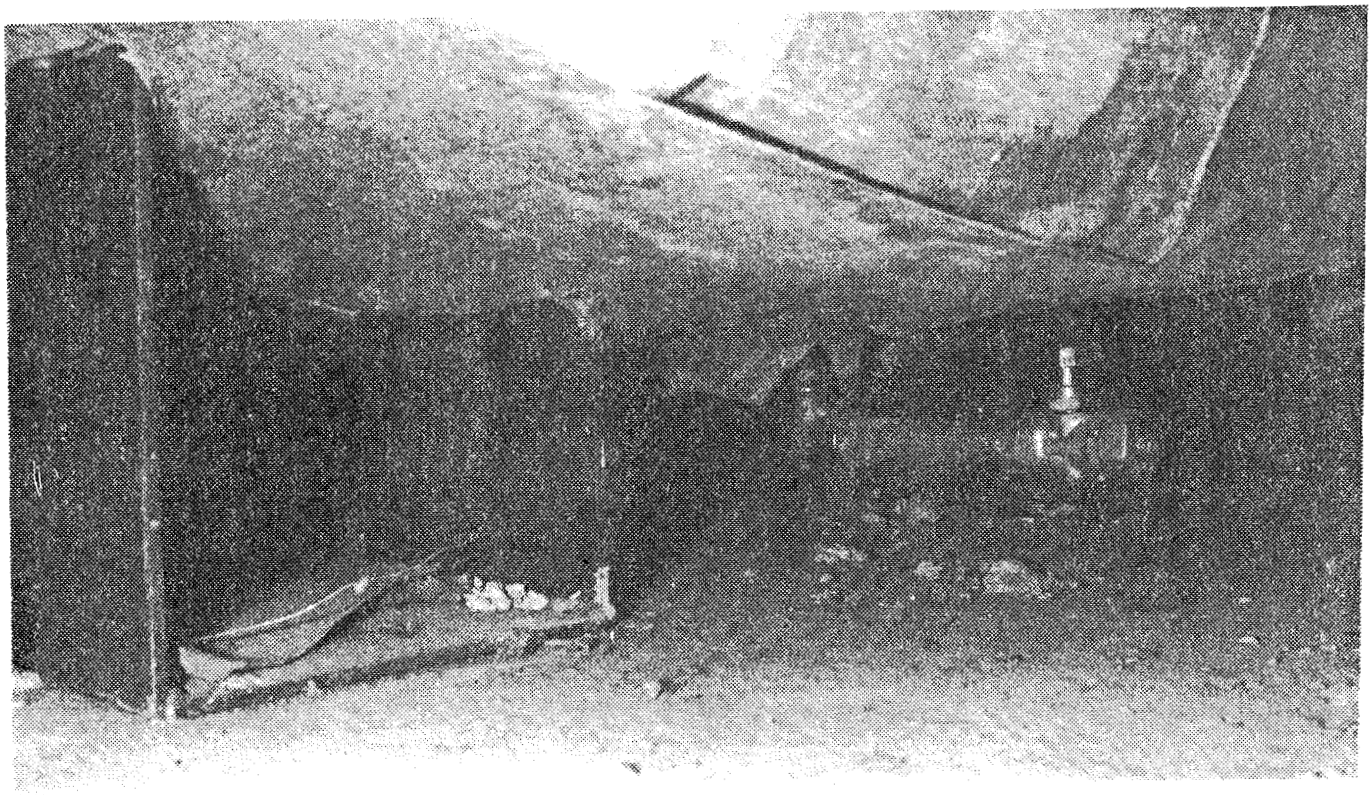
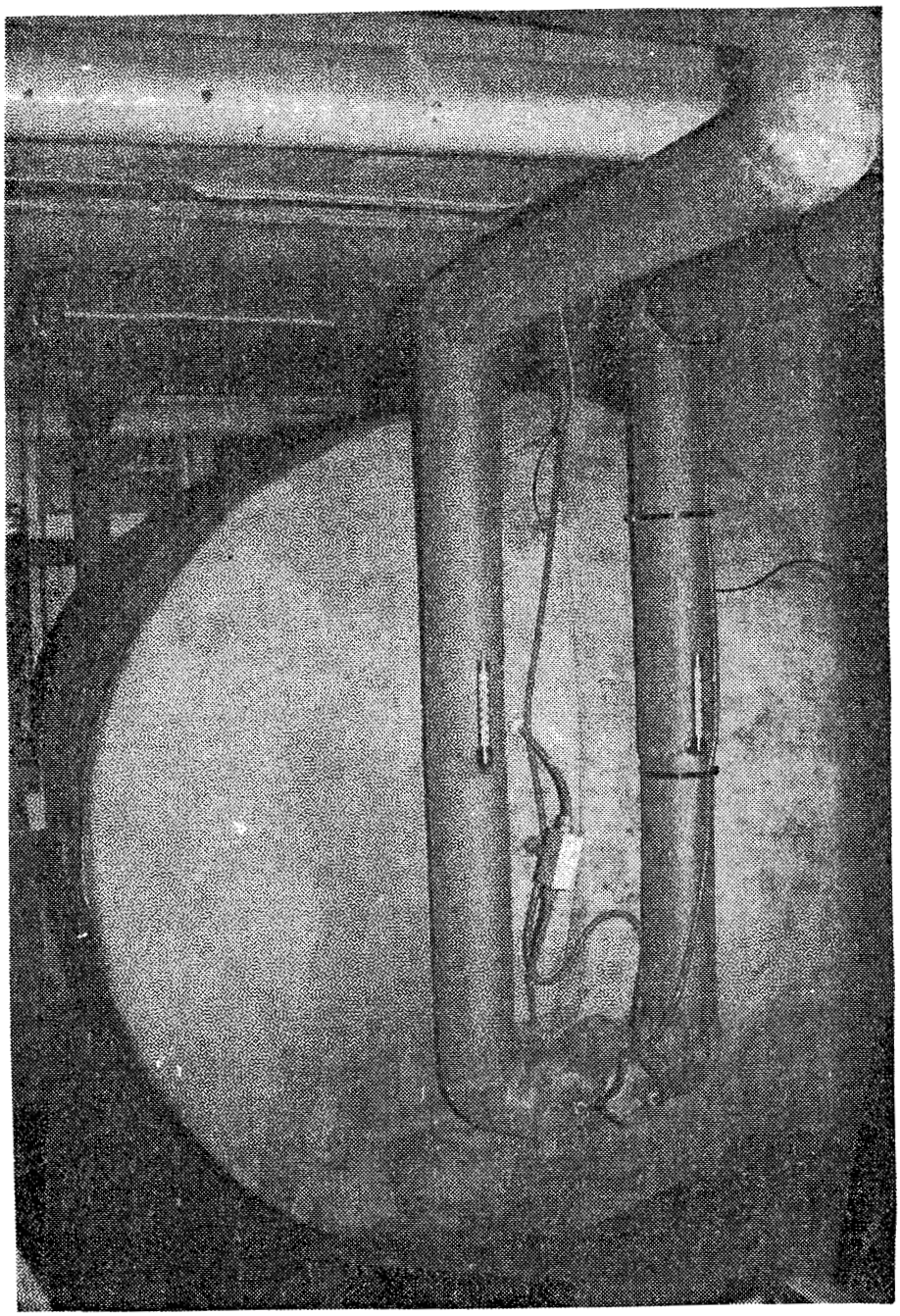


FIG. NR. 14 Lagerbeholderen. På tegningen er kun vist en del af varmevekslerens vindinger.





Lagerbeholderen:
Øverste billede viser en af de 4 fødder beholderen står på.

Nederste billede viser beholderen med ind- og udløb til varmeveksleren og dykrør til måling af temperaturdifferencen over varmeveksleren.

FIG. NR. 15

For- og eftervarmebeholder:

For- og eftervarmebeholderne er identiske. Beholdervolumenet er 200 l, og det drejer sig om traditionelle varmtvandsbeholdere med kappevarmeveksler. De er isoleret med 80 mm rockwool lamelmåtter.

Fig. 8 viser foto af beholderne.

Pumper:

Alle pumper er af fabrikatet Grundfos.

Pumpen i solfangerkredsen er en UP 26-65.

Pumpen i kredsen til forvarmebeholderen og i kredsen til eftervarmebeholderen er en UMS 20-20.

Pumpen i radiatorkredsen er en UPS 20-45.

Alle pumper, undtagen pumpen i solfangerkredsen, er totrinspumper.

Kontraventiler:

Der er placeret 4 kontraventiler i systemet. En i solfangerkredsen, en i kredsen fra lageret til forvarmebeholderen, en i kredsen fra kedlen til eftervarmebeholderen og en i radiatorkredsen. Kontraventilerne i kredsen til forvarmebeholderen og i radiatorkredsen er monteret af måletekniske årsager - se kapitel 7.

Shuntventil:

Shuntventilen i radiatorkredsen er en Tas-y-shunt fra T. Smedegård A/S.

Rør:

Alle rør er middelsvære gevindrør. Dimensionerne fremgår af fig. 11.

Ekspansionbeholder:

Den åbne ekspansionbeholder er på 100 l og anbragt på loftet. Den er frostsikret med en elpatron på 125 W.

5. Beskrivelse af målesystemet.

Et af formålene med projektet er at kunne foretage sammenligninger mellem beregninger med simuleringsprogrammer til solvarmeanlæg og målinger på virkelige anlæg, med henblik på kontrol og evt. forbedring af beregningsmodellerne. Der foretages derfor ret omfattende målinger.

Hvad måles ?

Generelt måles både input og output fra de forskellige beholdere og rørsystemer, således at der er mulighed for at bestemme tab i beholdere og rørsystemer.

Udover varmestrømmene, og de dertil knyttede volumenstrømme, måles:

- Udelufttemperatur.
- Diffust solindfald på solfangerens plan.
- Totalt solindfald på solfangerens plan.
- Totalt solindfald i solfangerens driftstid på solfangerens plan.
- Temperaturen i lagerbeholderens ene ende - 10 cm fra toppen, i midten og 10 cm fra bunden.
- Temperaturen på absorberen ved udløb - samme sted som føleren til differenstermostaten.
- Diverse rumtemperaturer.
- Vindhastigheden langs solfangeren.
- Driftstiden af solfangerpumpen.
- Driftstiden af pumpen til forvarmebeholderen.
- Driftstiden af pumpen til eftervarmebeholderen.
- Driftstiden af oliefyret.
- Driftstiden for tapning af varmt brugsvand.

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

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

Olieforbruget i liter (foretages også af husets beboere hver dag).
Antal start af oliefyret.
Trykket i solfangerkredsen.
Trykket i radiatorkredsen.

Som kontrol, og for at kunne 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, gennem kedlen, 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 strømningsmodstand. Måleren afgiver et analogt signal.

Måleren i kredsen til forvarmebeholderen og måleren, der måler volumenstrømmen fra lagerbeholderen til radiatorsystemet, er ligeledes magnetiske Eckardt-målere.

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 et udstyret med supplerende mekanisk tælleværk. Ulemperne er et stort tryktab, samt følsomhed for snavs.

Måleren i kredsen fra kedlen 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, ca. +/- 0,1 ^{o}C, på måling af de små temperaturdifferenser.

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

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, Schilltknecht.

Olieforbruget måles med en såkaldt positiv fortrængningsmåler.

Varmestrømme.

Fig. 16 viser placeringen af flowmålere og dykrør med termotråde og termosøjler. Der er endvidere medtaget ventiler m.v., som er monteret af hensyn til målesystemet, demontering af målere m.v., således at diagrammet viser al monteret armatur.

Af fig. 11 fremgår dykrørenes virkelige placering i systemet. Det skal her bemærkes, at dykrørene der måler temperaturdifferensen over solfangeren, er anbragt, så at rørtabet i fordelerrør fra målepunkterne til solfangerelementerne målemæssigt tilhører solfangeren.

Dykrørene omkring lagerbeholderen er anbragt, så varmetabet fra omkring 7 m isolerede rør, målemæssigt, tilhører lagerbeholderen.

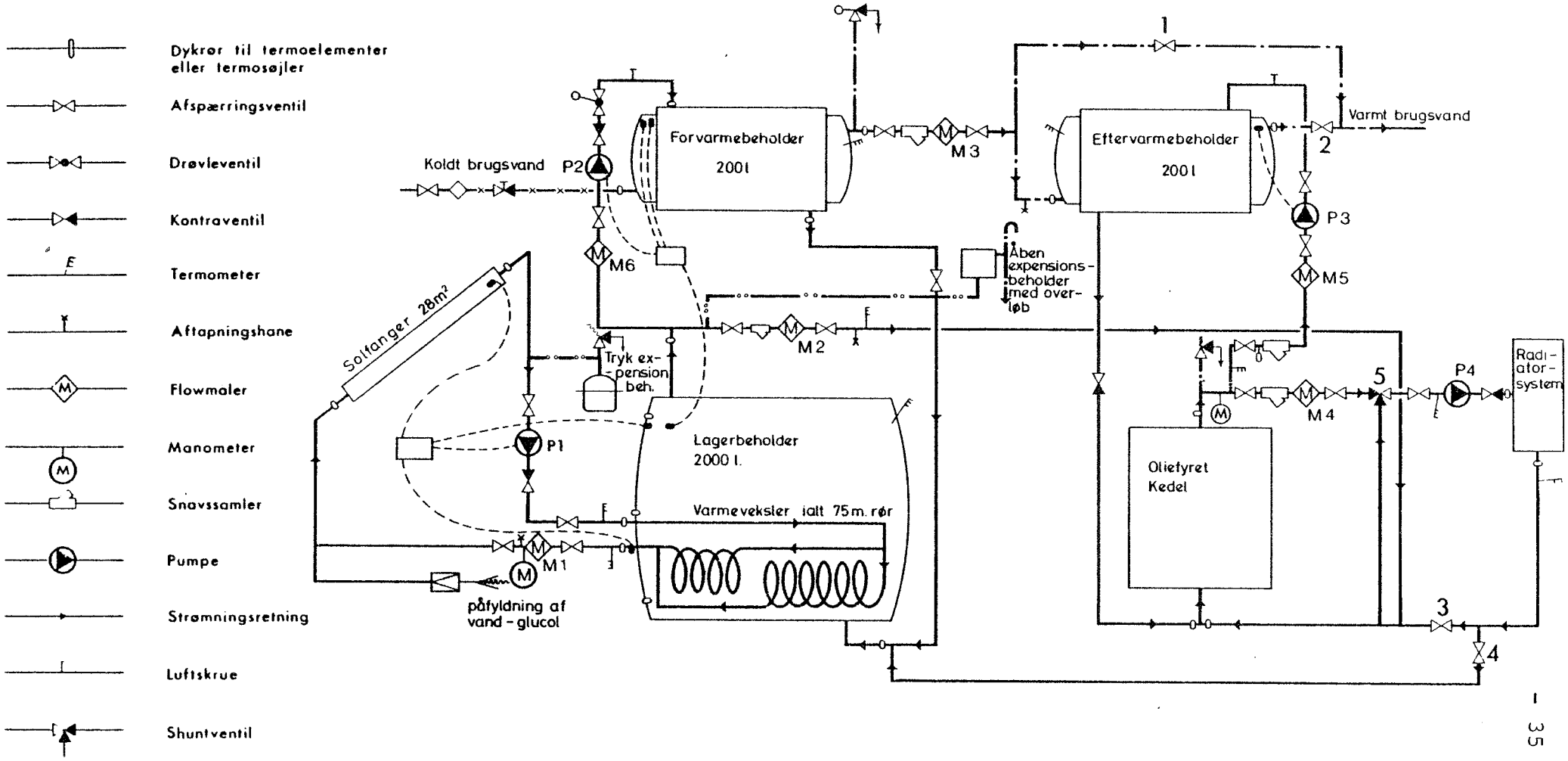


FIG. NR. 16 Principdiagram over solvarmeanlæg - med målesystem.

Opsamling af måledata.

Fig. 17 viser systemet til opsamling af måledata. Fig. 18 viser foto af måleskab med diverse måleudstyr, og fig. viser foto af elskab med forstærkere, omformere m.v.

Fig. 19 viser flowdiagrammet til kalkulatorens program. Kalkulatorens autostart, der aktiveres, når strømmen sluttes, 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 puncheren er nået. Efter en serie aflæsninger eller udskrifter 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 mv. Massefylde og varmefylde bestemmes, hvorefter varmestrømmene beregnes og summeres i div. registre. Med passende mellemrum udskrives middelværdier af temperaturer, solindfald mv., samt summer af varmestrømme på papertapen.

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

Aflæsningerne 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.

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

Vi har i det forløbne år hovedsagelig 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

DATAOPSAMLINGS SYSTEM

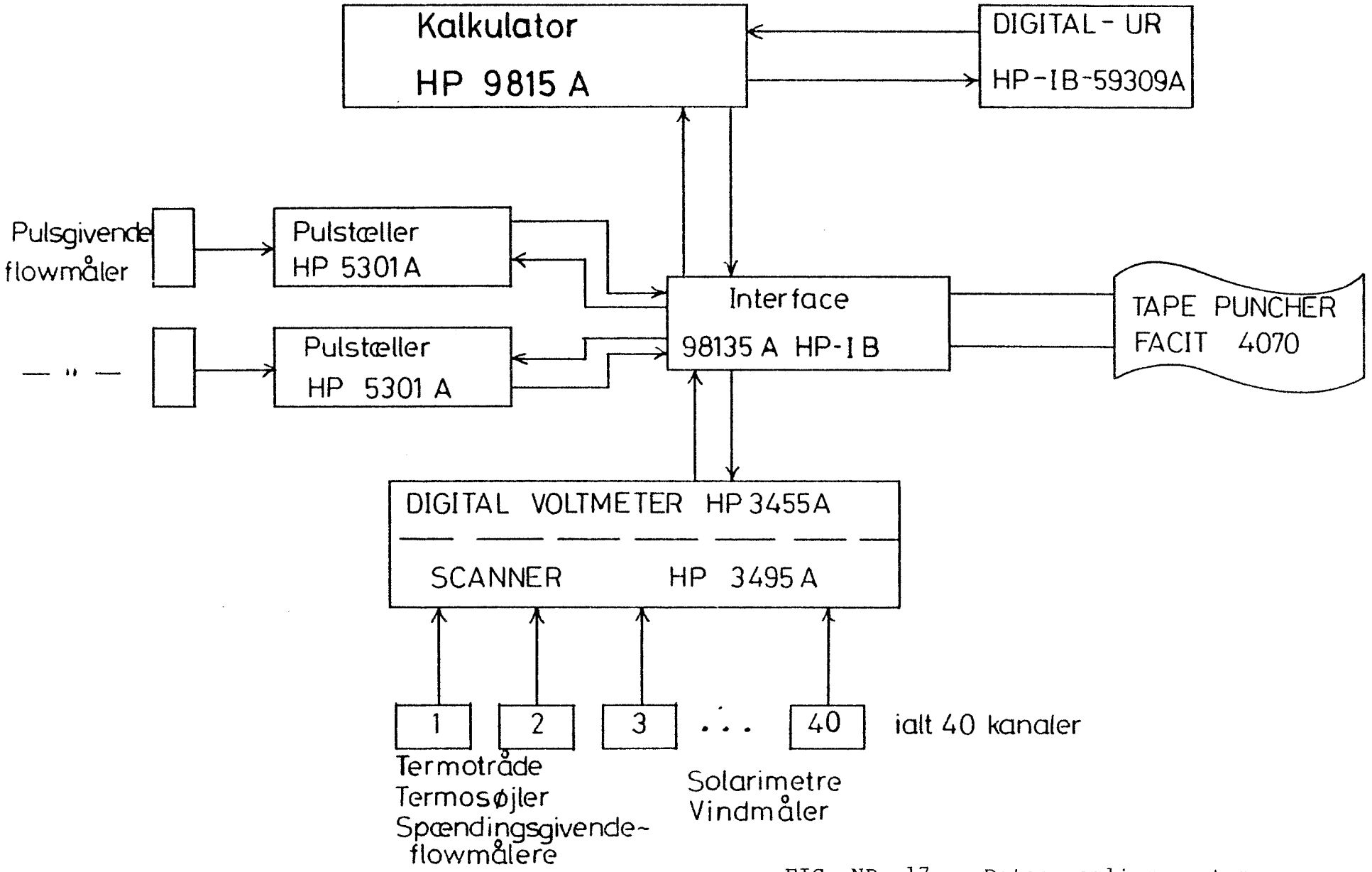
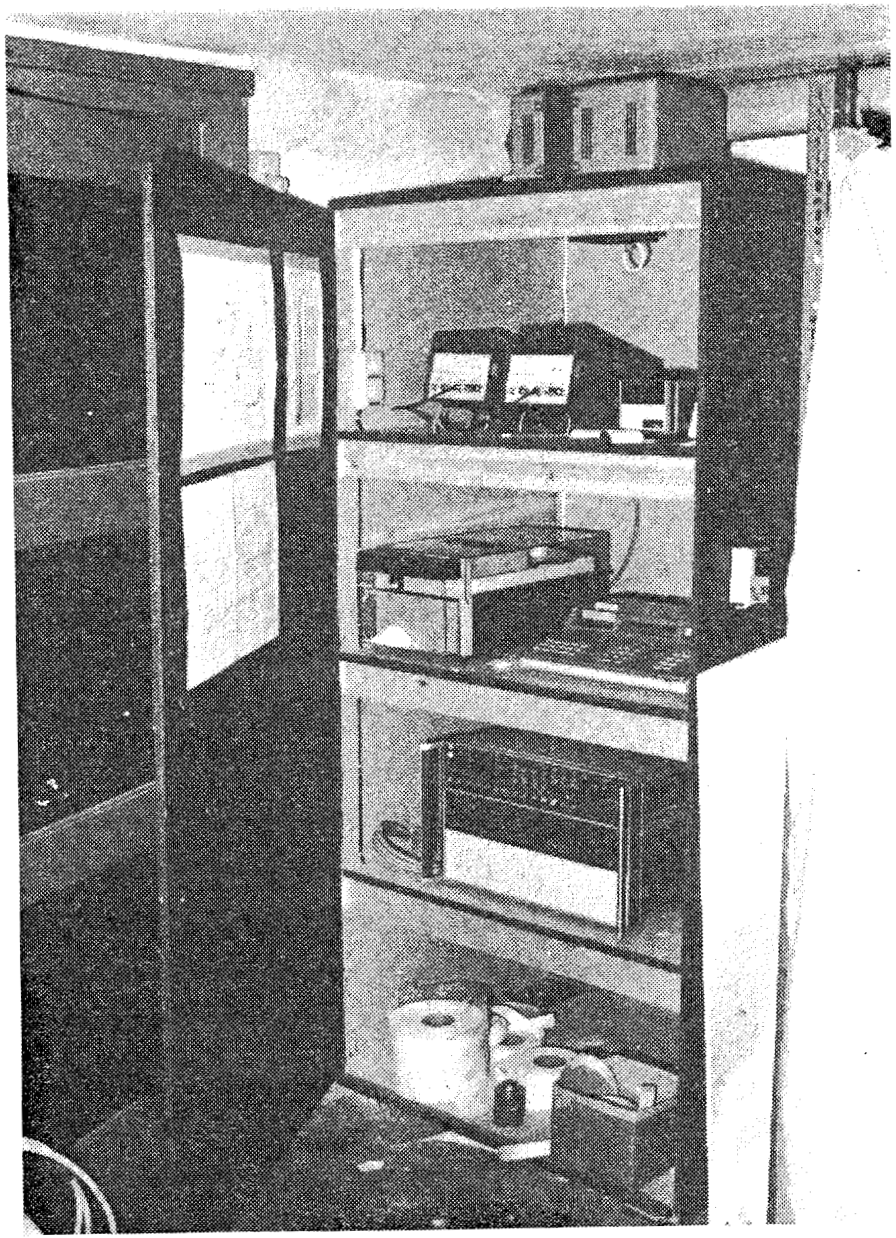
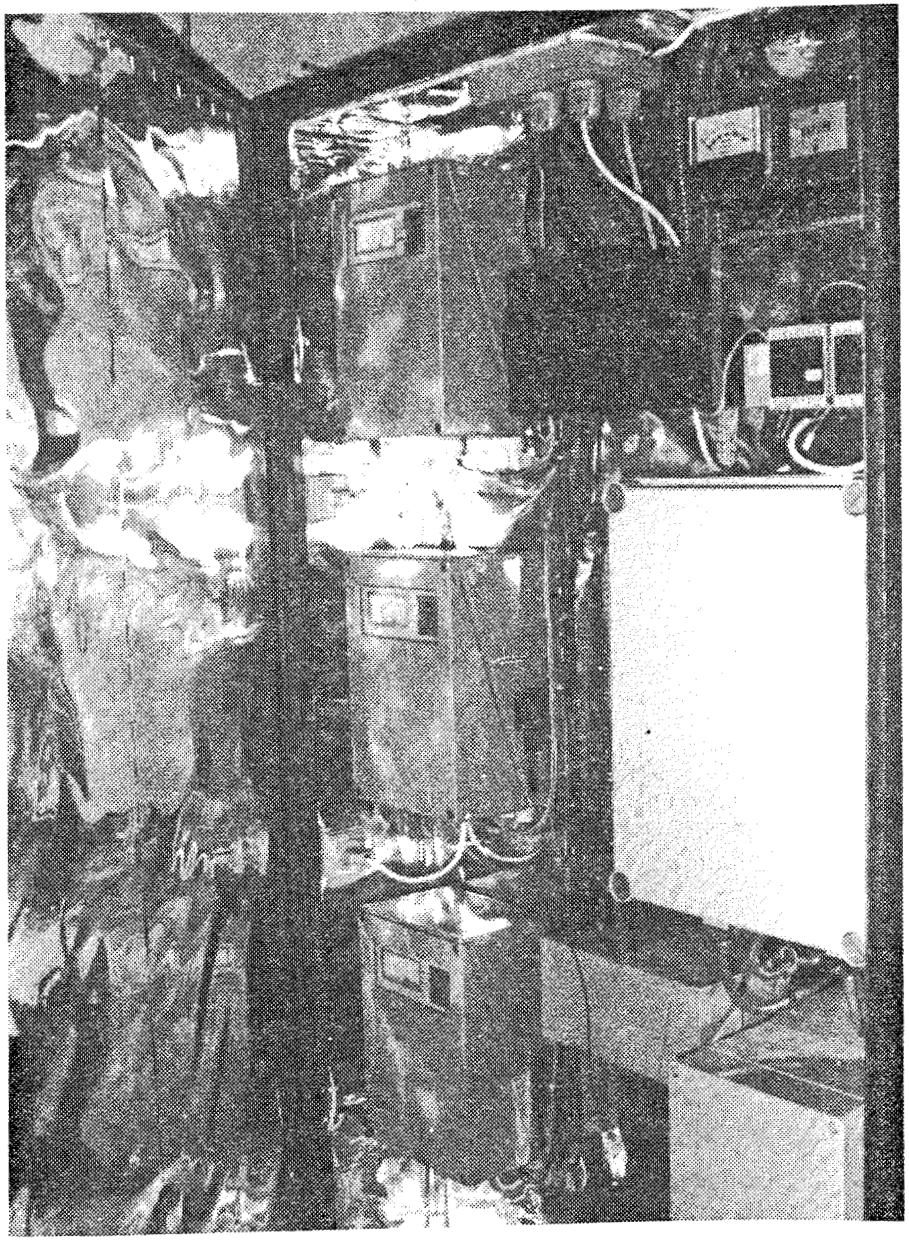


FIG. NR. 17 Dataopsamlingssystem





FIGUR NR. 18 Måleskab:

Øverste hylde - Tællere til pulsmålere og HP-ur.
Midterste hylde - Puncher og kalkulator.
Nederste hylde - Scanner og voltmeter.

Elskab:

Forskellige forstærkere og omformere til flowmålere, og referencebox til termoelementer. Skabet er afskærmet mod elektrisk støj med aluminiumsfolie.

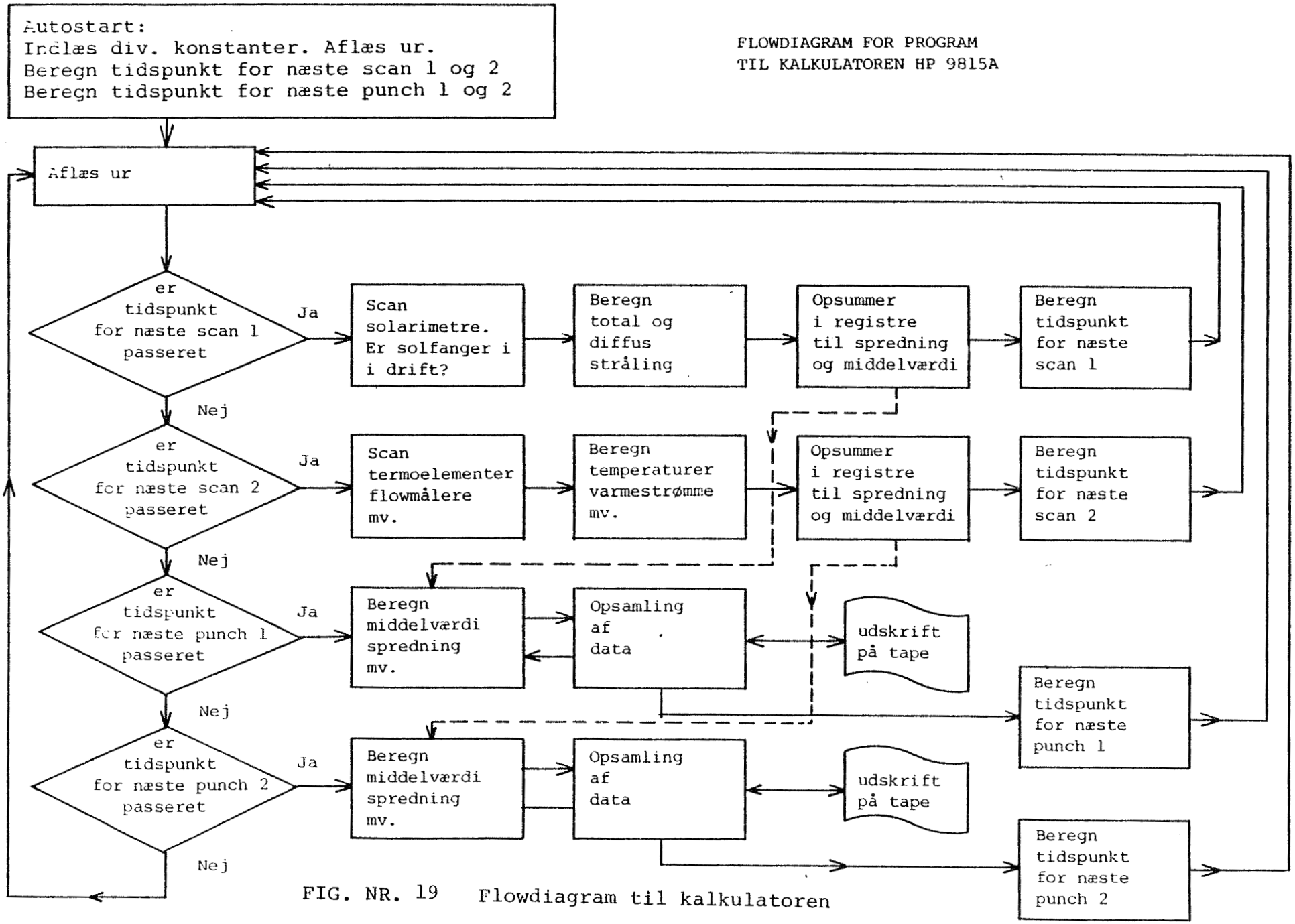


FIG. NR. 19 Flowdiagram til kalkulatoren

udskrift for hver 60 minutter. Der er på den måde plads til 11 dages målinger på en papertape. For ikke at miste for mange data har vi i juli 79 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 gang, og udfaldsperioderne er blevet væsentligt afkortet.

Behandling af måledata.

Den første behandling af måleresultater foretages i programmeringssproget SAS, 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.

Korrektioner af månedsværdier for manglende måledata.

For at få måleresultater, der repræsenterer et helt år, har vi korrigeret de vigtigste størrelser, først og fremmest varmestrømme, for manglende måledata. Vi har for perioden måledata for 93% af tiden.

40% af de manglende data stammer fra en periode på 10 dage i januar, hvor puncheren var gået i stykker umiddelbart efter tilsyn - det var før vi fik installeret alarmsystemet. Da januar er den måned, der har haft mindst solindfald, får dette udfald ikke så stor betydning for varmestrømme fra solfanger samt til og fra lagerbeholder.

Derudover har vi et udfald i maj måned på godt 6 dage, i februar på 3 dage og derudover udfald på en dag og derunder.

Korrektioner er foretaget udfra 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 udfra forbruget i liter i perioden (aflæst på måler med mekanisk tælleværk), og udfra tilført varmemængde pr. liter brugsvand i perioden før og efter udfaldet. Er der både for- og eftervarmning af brugsvandet, fordeles behovet for for- og eftervarmning på tilsvarende måde.

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 i måleperioden er meget forskellig fra lagerets temperaturniveau i perioden med manglende måledata, er der beregnet en ny middellagertemperatur, under antagelse af lineært temperaturforløb i lagerbeholderen i perioden med manglende måledata.

5) Herudfra fås, så at sige bagfra, hvor meget solvarme der må være tilført lageret.

6) Solindfaldet (totalt og i driftstiden) beregnes udfra antagelse af uforandret nyttevirkning af solfangeren.

Da der som nævnt er målt i 93 % af tiden, vil selv en forholdsvis stor unøjagtighed på de beregnede værdier for udfaldsperioderne ikke influere væsentligt på de korrigerede måledata.

Måleresultater

Fig. 20 viser de således korrigerede målinger.

Tabet fra kedel, eftervarmebeholder og rør mellem disse er baseret på en måling af fyrets tomgangsforbrug. Værdierne er overslagsmæssige idet de vil afhænge af kedeltemperaturen, men de er medtaget til sammenligning med lagerbeholderens tab.

Fyrets nyttevirkning er defineret som den varmemængde der er tappet til rumvarme og til brugsvand fra eftervarmebeholderen i pct. af brændværdien (nedre) af den indfyrede oliemængde. Den højeste nyttevirkning er 62 %. Det er således et meget dårligt oliefyr, og det bør derfor udskiftes. Dette ligger dog uden for dette projekts rammer.

De vigtigste værdier fra tabellen er vist i histogrammer fig. 21 til fig. 27.

Fig. 21 viser solindfaldet og udbyttet af solfangeren, og fig. 22 de tilhørende effektiviteter.

Solfangeren har opsamlet 21 % af den totale stråling, eller 37 % af strålingen i driftstiden.

Effektiviteten af solfangeren mht. solindfaldet i driftstiden har været lav i månederne december og januar, idet intensiteten af solstrålingen i driftstiden har været lav. Det samme gælder månederne september og oktober. I disse har driftstiden af solfangeren været meget lang i forhold til årstiden, og udbyttet har været stort.

Fig. 23 viser hvor meget af solfangerens udbytte, der er tabt i rørsystemet fra målepunkterne efter fordeler- og samlerrør og til lagerbeholderen, og hvor stor en del af hver enkelt måneds produktion der er udnyttet direkte.

Fig. 24 viser forbruget til varmt brugsvand og til rumopvarmning, og den del der er dækkes af solvarme.

Af fig. 25 fremgår totalstrålingen på solfangerens plan i måleperioden sammenlignet med middelværdien af 15 års målinger, målt i perioden 1959 til 1973 ved Højbakkegård i Tåstrup.

Det målte solindfald har i hele perioden været lavere end middelværdierne, bortset fra den sidste måned, oktober 1979.

Det totale solindfald i måleperioden er målt til 947 kWh/m^2, hvorimod middelværdien af de 15 år er 1207 kWh/m^2.

Totalstrålingen har altså været 22 % mindre end middel. Totalstrålingen i de 15 år svinger mellem 1324 kWh/m^2 i 1959 og 1050 i 1966, der er således tale om et helt usædvanligt lavt solindfald i måleperioden. Det kan da også lige nævnes at der i juli måned blev målt det laveste antal solskinstimer nogensinde i Danmark.

Fig. 26 viser den diffuse stråling sammenlignet med det modificerede referenceår, dels totalt i kWh/m^2, dels i procent af den totale stråling.

Det modificerede referenceår bygger på solstrålingsdata fra målingerne i Tåstrup. Totalstrålingen i det modificerede referenceår svarer til middelværdien af totalstrålingen i de 15 år.

TABEL OVER MÅLERESULTATER FOR FØRSTE MÅLEÅR, KORRIGERET FOR MANGLENDE MÅLEDATA

		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Sum/middel
Måletid	%	100	100	68	88	99.	100	75	94	99	99	97	98	
Totalt solindfald	kWh	615	295	424	1245	1815	2830	3770	4091	3205	3527	2488	2298	26603∿947 kWh/m^2
Diffust solindfald pct. af total	%	46	42	50	39	57	44	46	43	55	47	47	29	46%
Totalt solindfald i driftstiden	kWh	341	140	120	702	809	1807	2320	1894	1476	1941	1910	1785	15245∿543 kWh/m^2
Diffust solindfald i driftstiden, pct. af totalt i driftstiden	%	28	16	13	17	37	29	34	32	35	36	40	23	32%
Driftstid af solfanger	h	34	15	10	45	49	91	123	103	88	111	161	119	949 h
Udbytte af solfanger	kWh	123	41	35	274	302	672	882	712	579	750	622	612	5604 kWh
Effektivitet mht. totalt solindfald	%	20	14	8	22	17	24	23	17	18	21	25	27	21%
Effektivitet mht. totalt solindfald i driftstiden	%	36	30	29	39	38	37	38	38	39	39	32	34	37%
Tab i rør mellem solfanger og lager	kWh	10	0	1	27	33	67	114	130	101	121	83	66	753 kWh
Middeltemperatur af lagerbeholder	°C	28	24	21	33	39	44	55	64	57	58	44	43	42,5°C
Varmetab fra lager	kWh	43	21	20	81	144	200	317	321	261	319	196	186	2109 kWh

FIG. NR. 20: Tabel over måleresultater for første måleår - fortsættes.

Tappet fra forvarme-beholder	kWh	79	59	34	99	167	172	261	250	165	269	180	183	1918 kWh
Tappet fra efter-varmebeholder	kWh	165	177	182	110	107	31	0	0	0	0	24	77	873 kWh
Samlet varmtvands-forbrug	kWh	244	236	216	209	274	203	261	250	165	269	204	260	2791 kWh
Heraf solvarme	%	32	25	16	47	61	85	100	100	100	100	86	70	68%
Tab fra kedel, efter-varmebeholder og rør	kWh	500	500	500	500	500	500	150				250	500	3900 kWh
Fyrets nyttevirkning	%	62	62	63	62	62	57	52				39	50	57%
Tappet fra kedel til rumvarme	kWh	1628	3491	3927	3400	2955	1370	399	0	0	0	128	814	18112 kWh
Tappet fra lagertank til rumvarme	kWh	0	0	0	0	0	140	84	13	17	17	149	169	589 kWh
Samlet forbrug til rumvarme	kWh	1647	3516	3952	3421	2980	1533	493	13	17	17	286	997	18872 kWh
Heraf solvarme	%	0	0	0	0	0	9	17	100	100	100	52	17	3%
Samlet varmeforbrug	kWh	1891	3752	4168	3630	3254	1736	754	263	182	286	490	1257	21663 kWh
Olieforbrug	l	326	612	677	585	516	285	95	0	0	0	48	212	3356 l

FIG. NR. 20: Table over måleresultater for første måleår - fortsat.

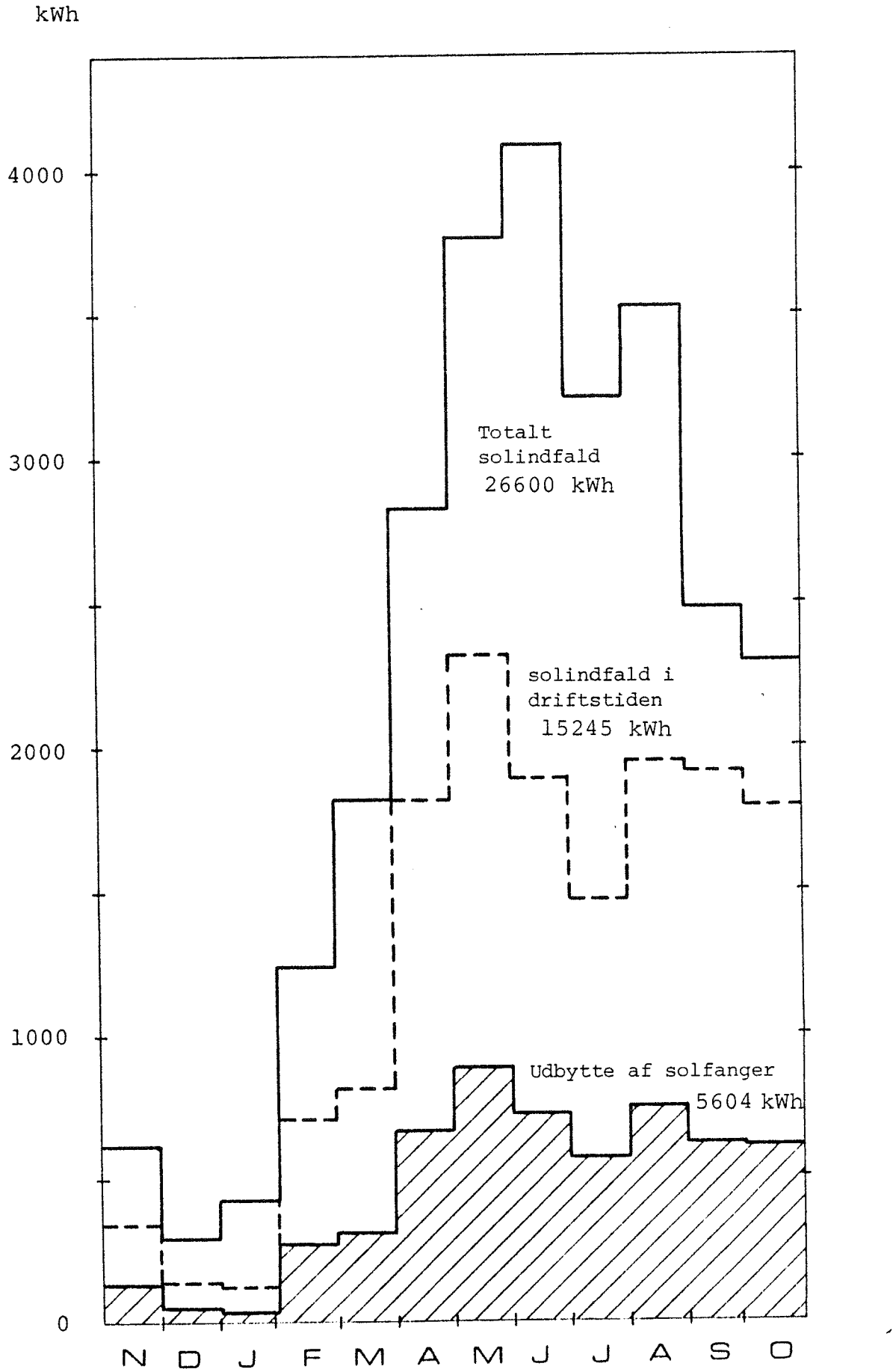
Det ses, at den diffuse stråling i måleperioden ikke afviger meget fra det modificerede referenceårs, hverken i fordeling eller totalt. Heraf følger så, som det fremgår af fig. 26, at den diffuse stråling i procent af den totale har været meget stor i måleperioden. Således er der målt 46 % diffus stråling, mod normalt 39 %.

Fig. 27 viser så den direkte stråling, totalstråling minus diffus stråling, i måleperioden og i det modificerede referenceår. Den direkte stråling er målt til 513 kWh/m^2, en reduktion i forhold til det modificerede referenceår på 33%.
Det er således, hvad man kunne forvente, først og fremmest den direkte stråling der reduceres i en periode med ringe solindfald.

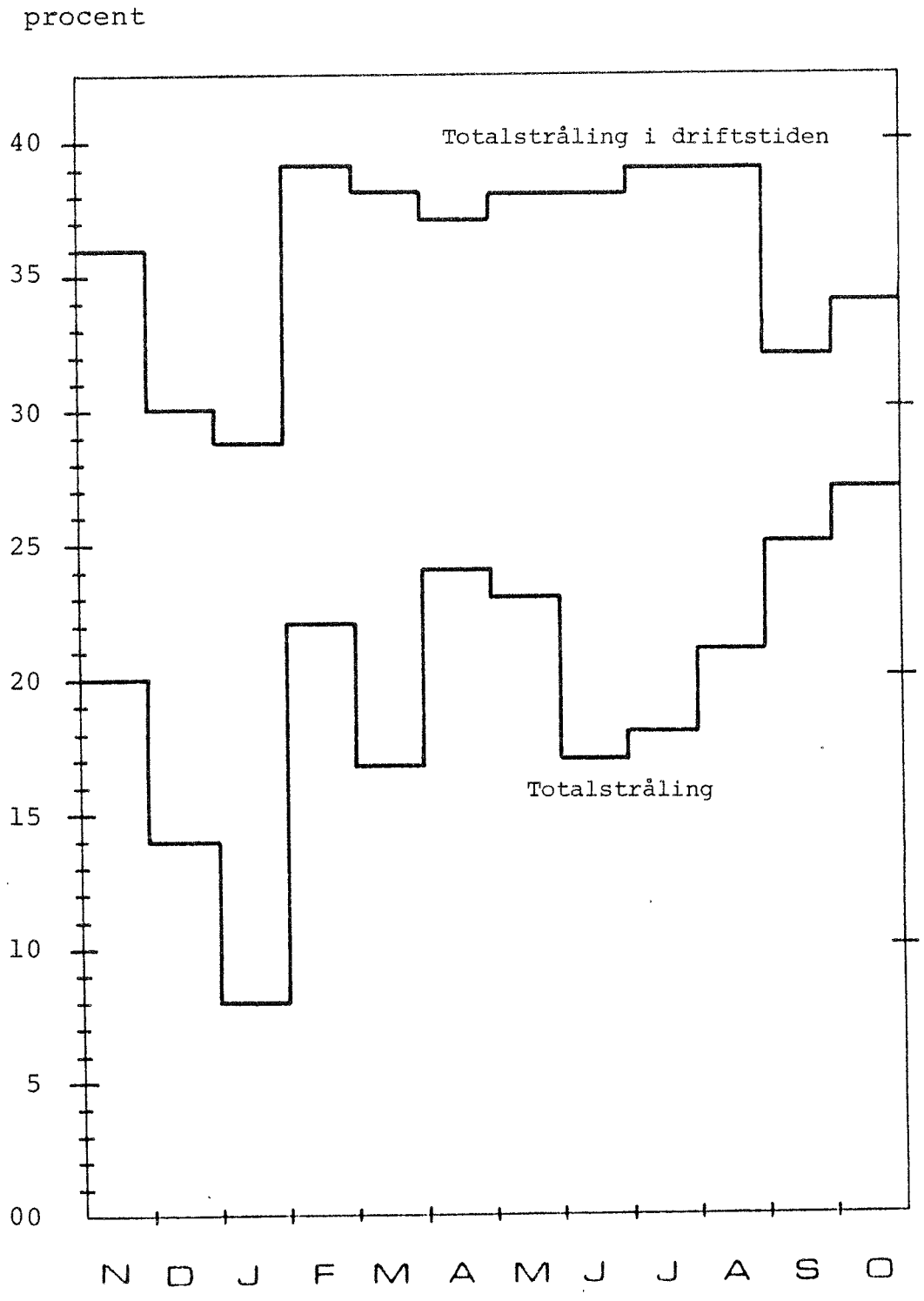
Fig. 28 viser fremløbstemperaturen til radiatorerne, rumtemperaturen og udelufttemperaturen.

Fremløbstemperaturerne er angivet som den maximale timemiddelværdi hvert døgn.Det bemærkes,at der kræves en ret høj fremløbstemperatur på trods af den ret lave rumtemperatur,der har været i fyringssæsonen. Rumtemperaturen er middelværdien af temperaturen i opvarmede rum.

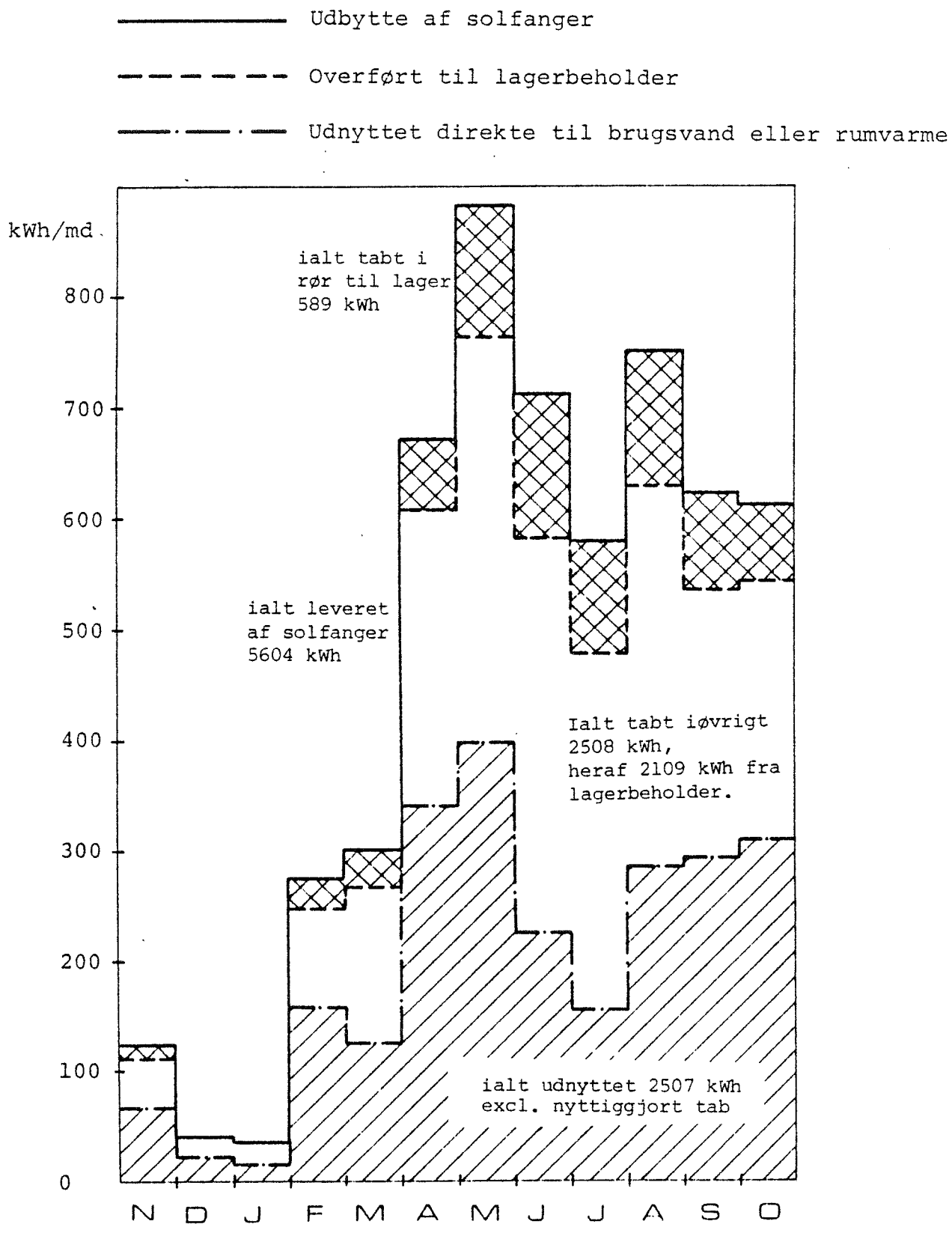
Fig. 29 viser lagerbeholderens middeltemperatur.



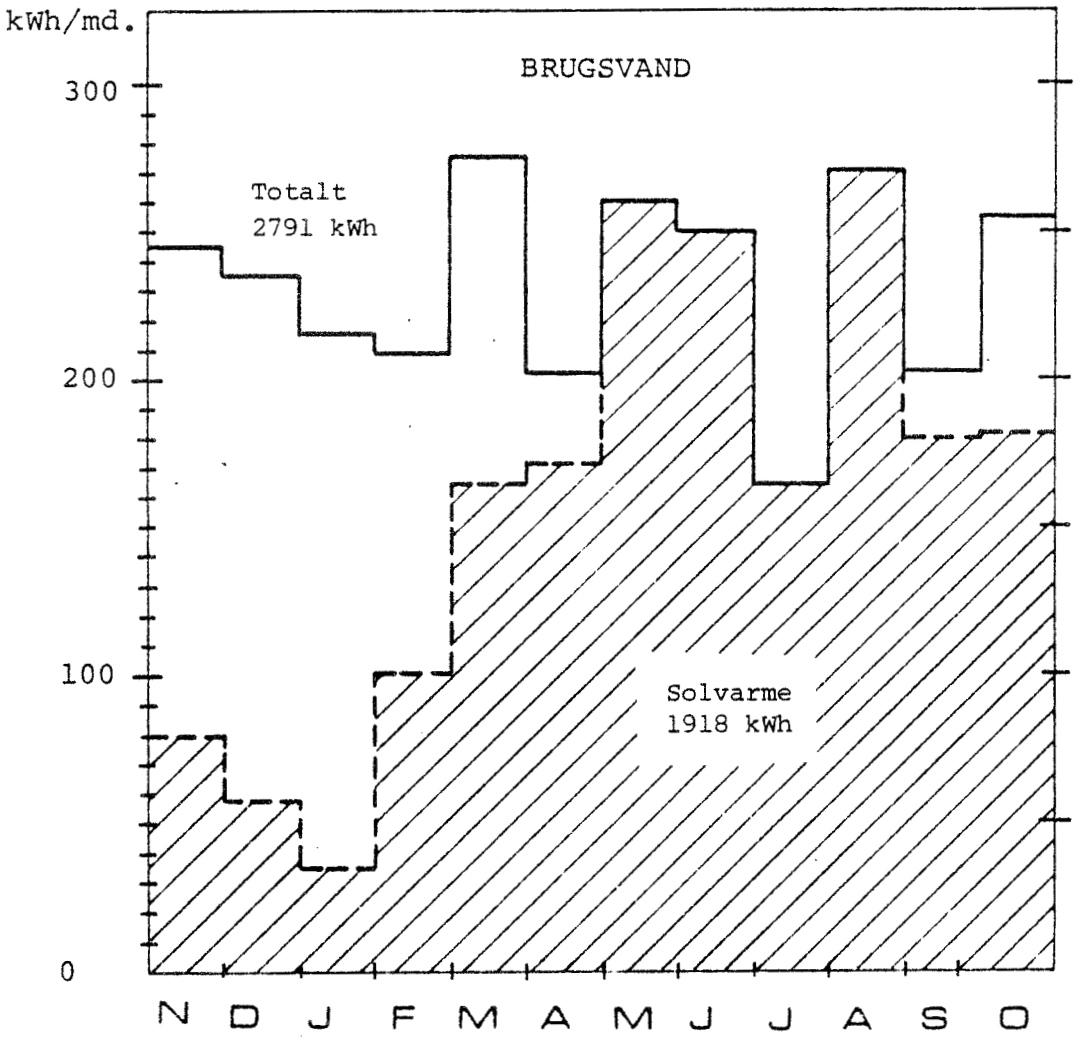
FIGUR NR. 21 Solindfald på de 28 m^2, og udbytte af solfangeren.

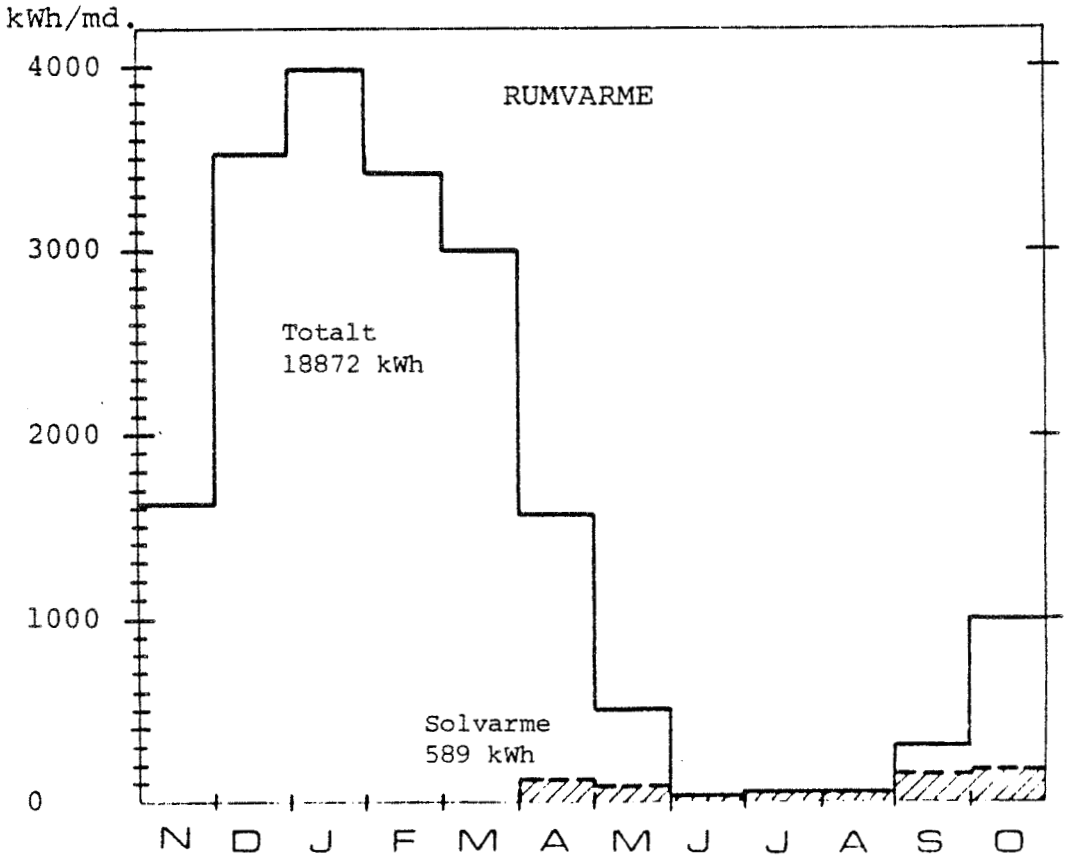


FIGUR NR. 22 Effektivitet af solfanger mht. totalstrålingen og totalstrålingen i driftstiden.

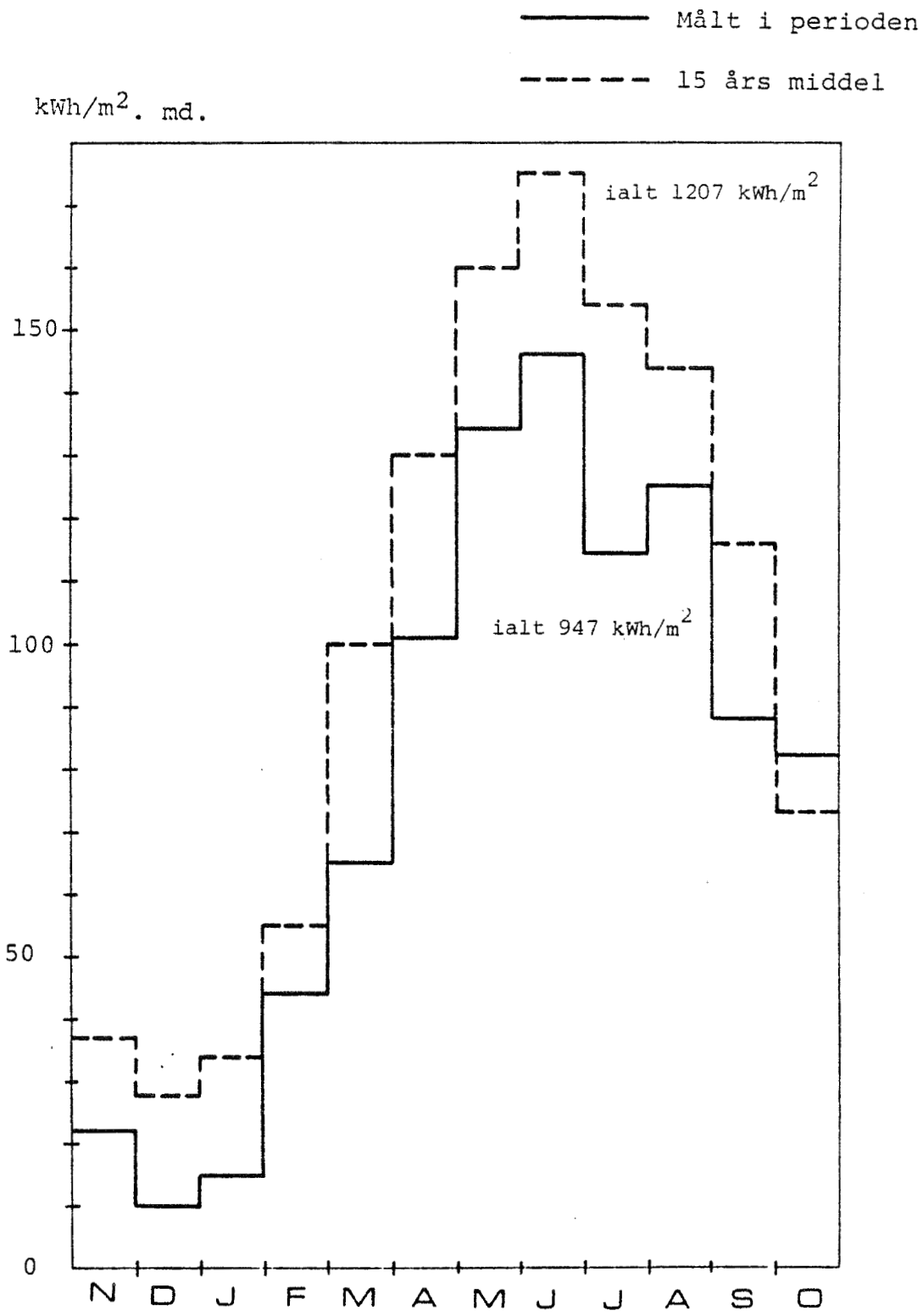


FIGUR NR. 23 Solfangerydelse, tab i rør og lager og udnyttet solenergi.

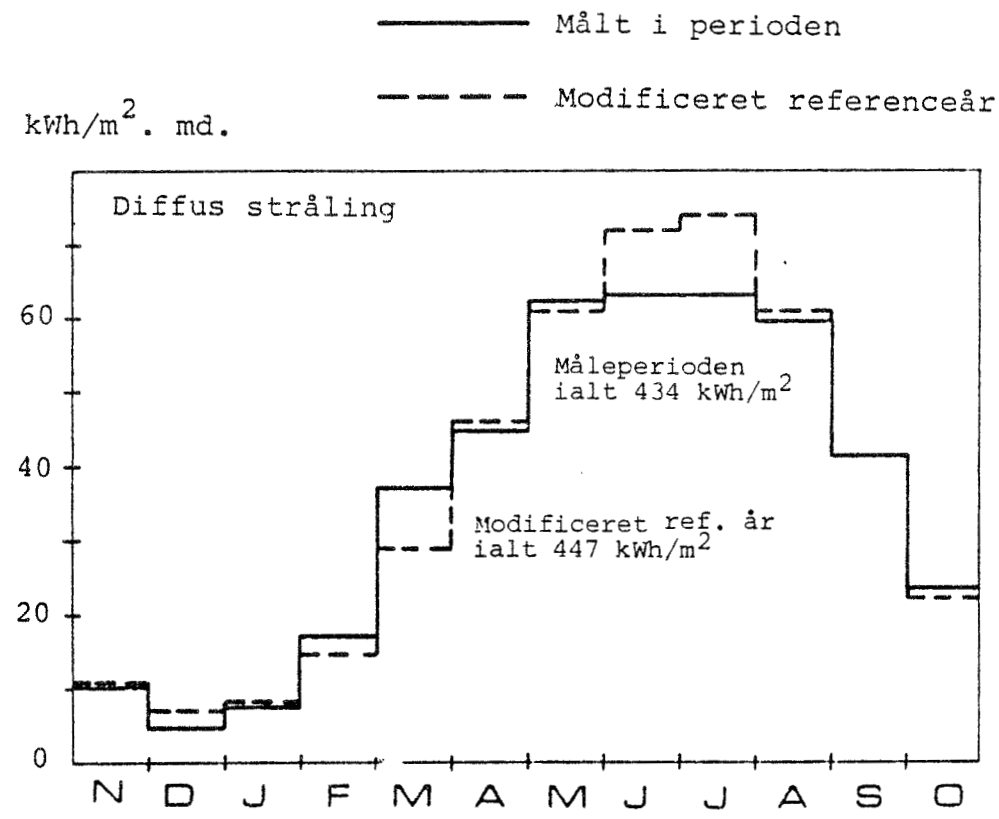


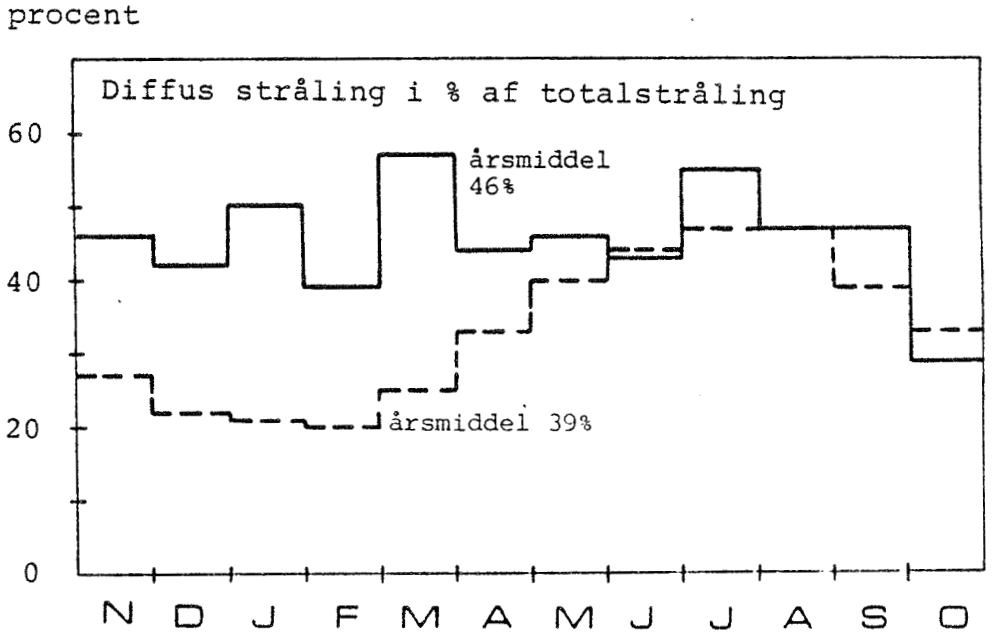


FIGUR NR. 24 Forbrug og soldelen af forbruget

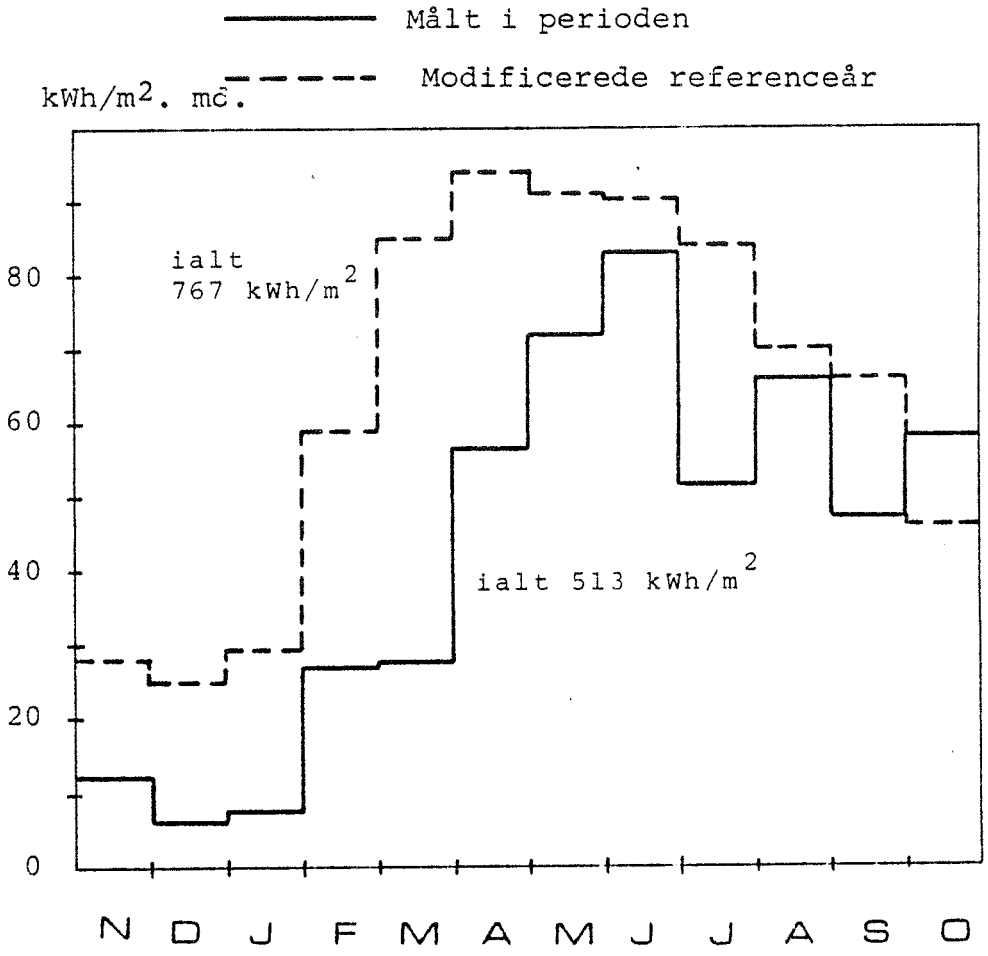


FIGUR NR. 25 Totalstråling på solfangerens plan 45° hældning. Orientering stik syd.





FIGUR NR. 26 Diffus stråling på solfangerens plan i måleperioden og i det modificerede referenceår.



FIGUR NR. 27 Den direkte stråling på solfangerens plan i måleperioden og i det modificerede referenceår.

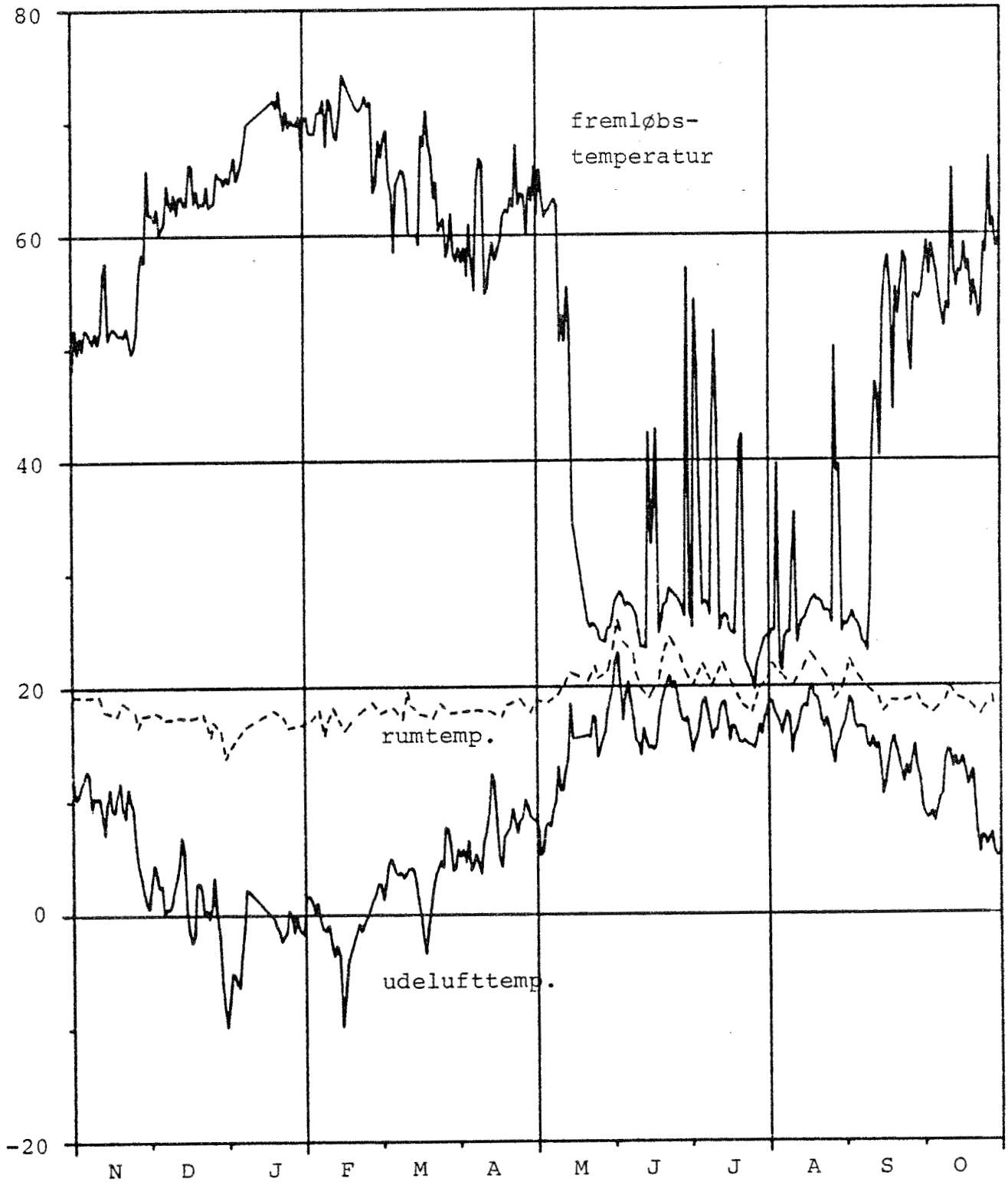


FIG. NR. 28 Fremløbstemperaturen (max. timemiddelværdi i døgnet)
Middelrumtemperaturen (døgnmiddelværdi)
Udelufttemperaturen (døgnmiddelværdi)

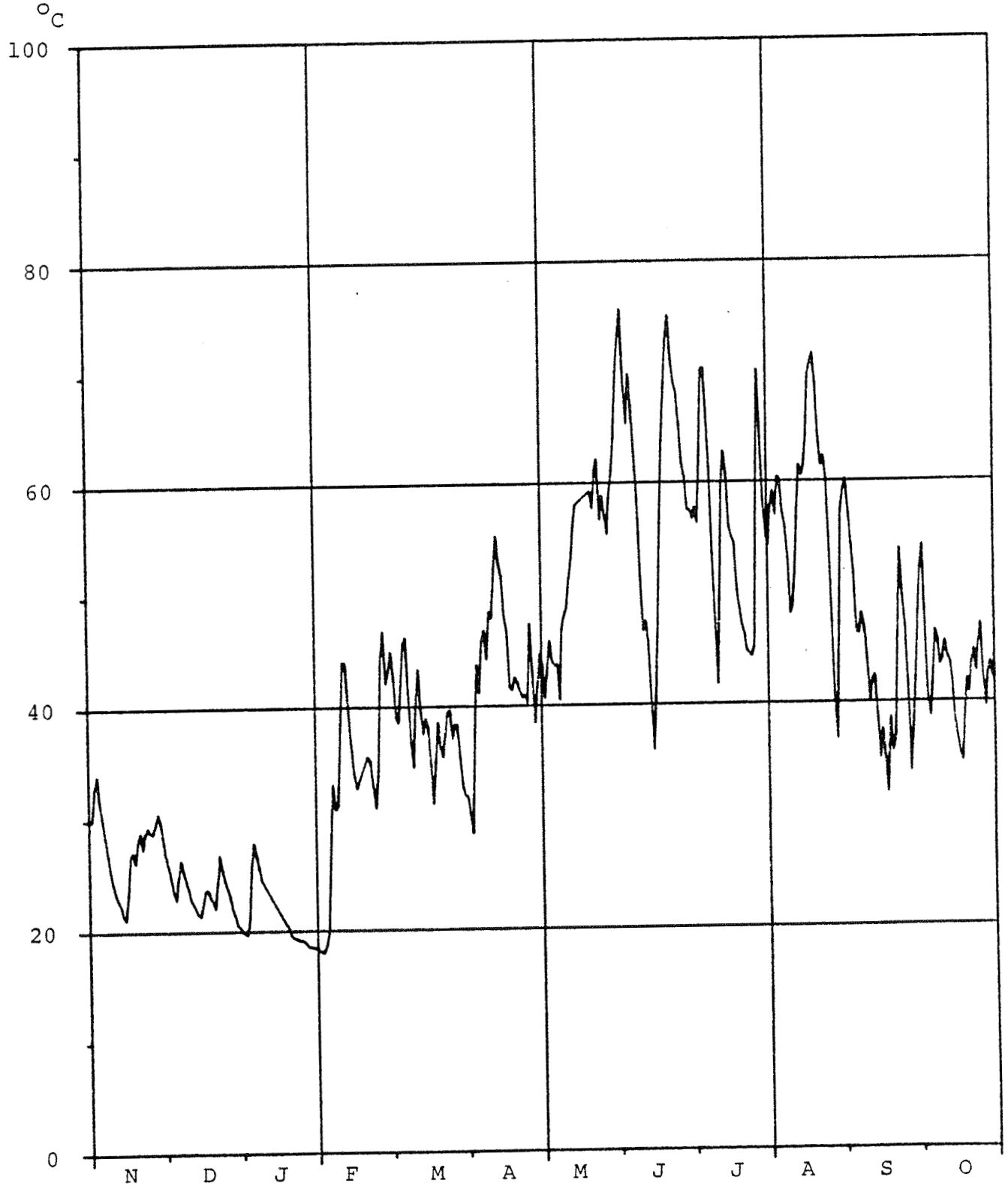


FIG. NR. 29 Lagerbeholderens middeltemperatur (døgnmiddelværdi).

7. Behandling af måleresultater.

Ydelse og dækningsgrad.

Solfangeren har i måleperioden ydet 5600 kWh, hvilket svarer til 200 kWh/m^2. Målingen heraf er som nævnt foretaget ud fra temperaturmålinger før fordelerrør og efter samlerør, således at tabet fra disse rør påføres solfangeren.

I rørtabet fra dette målested og ned til lagerbeholderen er der tabt en energimængde svarende til 27 kWh/m^2.

Fra lagerbeholderen er der tabt 2000 kWh, svarende til 75 kWh/m^2.

Derudover er der fra forvarmebeholder og diverse rør tabt, hvad der svarer til 9 kWh/m^2.

Således bliver der 89 kWh/m^2 tilbage, der er udnyttet direkte.

Solvarmeanlægget har dækket 68% af forbruget til varmt brugsvand og 3% af forbruget til rumvarme. Ialt 11,5% af det samlede varmeforbrug.

Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning.

Fig. 30 viser solvarmeanlæggets reelle energibesparelse, under hensyntagen 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 hensyntagen til oliefyrets nyttevirkning.

Beregningen er udført med data for det aktuelle oliefyr i Gentofte, og med data for et nyt velisoleret og korrekt indstillet oliefyr.

Tomgangstabet er summen af radiatortabet og gennemtrækstabet. For fyret i Gentofte er der regnet med en kedeltemperatur på 50 ^{o}C, svarende til den kedeltemperatur man ville anvende hvis fyret skulle køre om sommeren. Om vinteren, når der bruges højere kedeltemperaturer, er radiator- og gennemtrækstabet meget større.

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

Den fyringsnyttevirkning, der benyttes til beregning af den fortrængte oliemængde, indeholder kun røgtabet. Den fortrængte oliemængde angiver da den mængde olie, der skulle have været brugt ekstra, hvis oliefyret skulle have dækket den energimængde, som solvarmeanlægget har leveret. Tomgangstabet skal også divideres med nyttevirkningen, da dette ikke indeholder røgtabet.

Oliefortrængningen med fyret i Gentofte bliver 22,5 l/m^2·år, og med et nyt oliefyr 15,7 l/m^2·år.

Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning.

	Tomgangstab for fyr	W	600	300
	Røgtab fra fyr	%	23	10
Q1	Nyttiggjort solvarme	kWh	2507	2507
Q2	Nyttiggjort varmetab	-	500	500
Q3	Sparet tomgangstab	-	1785	890
Q4	Elforbrug til pumper	-	150	150
Q5	Energibesparelse Q1+Q2+Q3-Q4	-	4642	3747
	Fortrængt oliemængde $\frac{Q1+Q2+Q3}{\eta_{fyr} \cdot 9,84}$	l	632	440
	Energibesparelse	$kWh/m^2 \cdot år$	165	133
	Fortrængt oliemængde	$l/m^2 \cdot år$	22,5	15,7

Tomgangstabet på 600 W og et røgtab på 23% svarer til oliefyret i Gentofte.

Tomgangstabet på 300 W og røgtabet på 10% svarer til et nyt oliefyr.

FIG. NR. 30: Tabel over energibesparelse og oliefortrængning.

Solfangerens effektivitet

I kapitel 6 er solfangerens effektivitet beregnet vha. månedsværdier. Disse værdier indeholder målinger, hvor solfangeren er i drift mindre end en time, hvorved timemiddelværdien for solindfaldet ikke er målt i samme tidsrum som solfangerens udbytte.

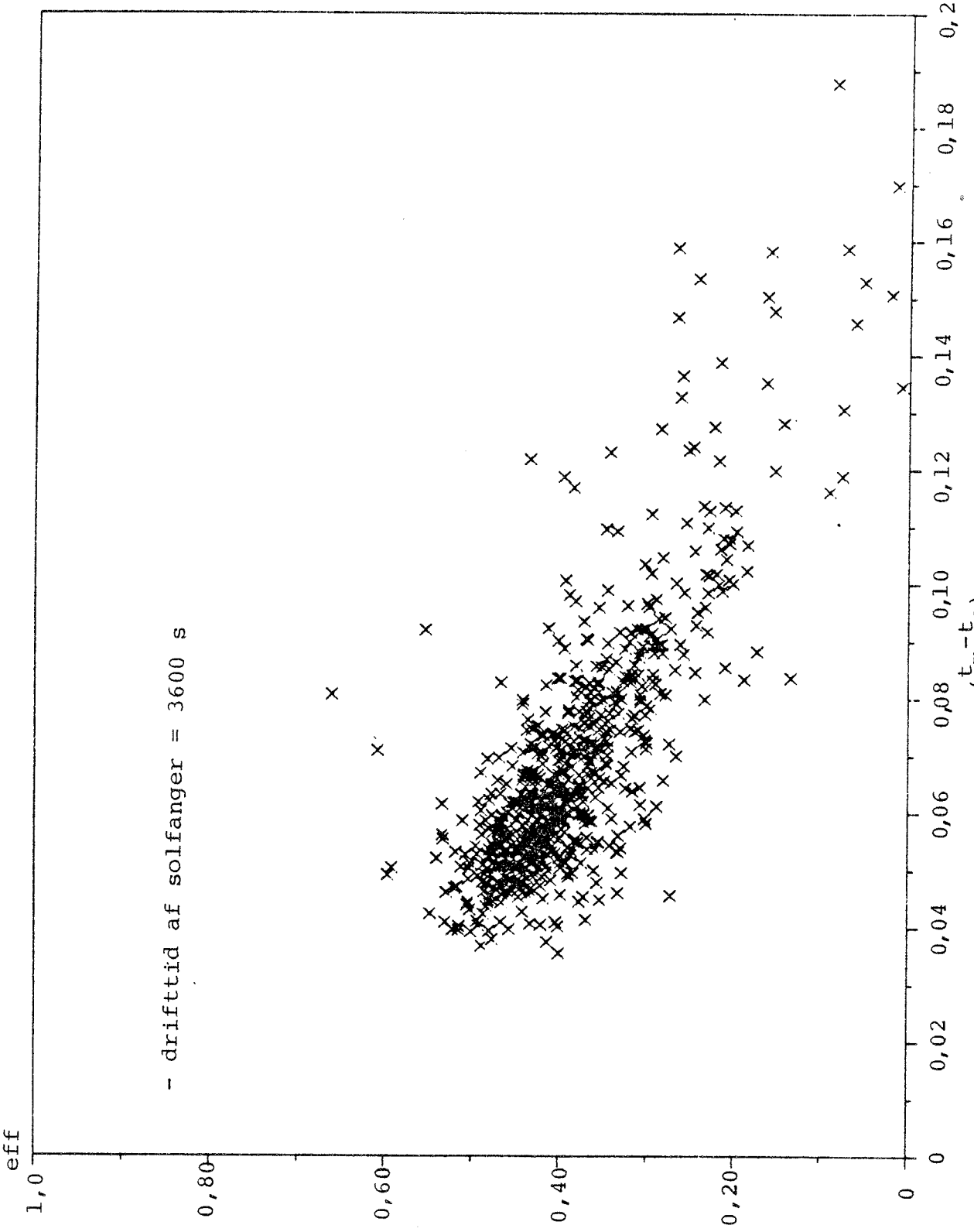
På figur 31 er vist solfangerens effektivitet beregnet ud fra målinger, hvor solfangeren er i drift en hel time. For at få et udtryk for selve solfangerens effektivitet er måleværdierne forhøjet med 10%, hvilket er den beregnede værdi (se side 79) for varmetabet fra rørene mellem solfangeren og målepunkterne. Effektiviteten er vist som funktion af $(t_m-t_a)/I$, hvor

t_m	er solfangervæskens middeltemperatur	^oC
t_a	er lufttemperaturen og	^oC
I	er det totale solindfald.	W/m^2

Figuren indeholder måleværdier for perioden september 1978 - oktober 1979, i alt 667 værdier, så selv om der er nogen spredning, ligger de fleste værdier i et forholdsvis afgrænset område. Der er meget få værdier med lav effektivitet, hvilket skyldes at betingelsen om en hel times drift sorterer disse værdier fra.

Måling af solfangeres effektivitet i prøvestand sker normalt under stationære forhold. Dette bevirker, at resultatet er uafhængigt af solfangerens varmekapacitet. For at opfylde dette krav udelades måleværdier, hvor forskellen mellem foregående og aktuelle times solindfald er større end 100 W/m^2 samt dagens første hele times drift. Herved reduceres antallet af måleværdier til 221, som er vist i figur 32 . Det ses, at målepunkterne koncentreres yderligere og med en lineær regression findes effektiviteten eff at kunne udtrykkes ved

$$eff = 0,69 - 4,5 \frac{(t_m-t_a)}{I}$$



FIGUR NR. 31. Effektiviteten af solfangeren, timeværdier.

Ved målingerne i reference (2) på et element på 2 m^2 blev benyttet betingelserne

$$I = \text{ca. } 800 \text{ W/m}^2$$
$$\text{indfaldsvinkel} < 30^\circ$$
$$t_a = 20^\circ C$$
$$\text{vindhastighed} > 4 \text{ m/s}$$

Med nedenstående begrænsninger reduceres antallet af målepunkter til 16, som er vist på figur 33.

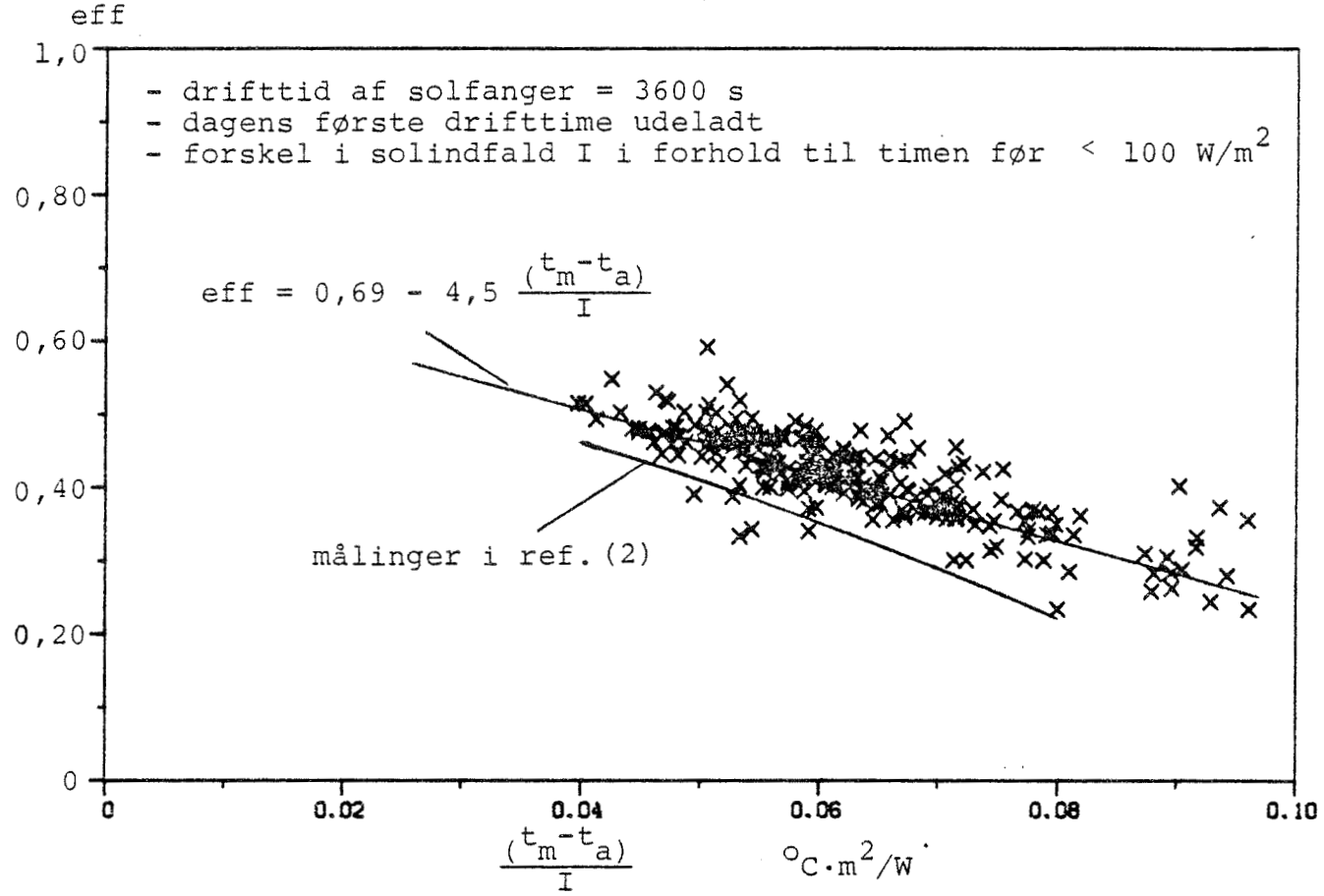
$$700 < I < 900 \text{ W/m}^2$$
$$\text{indfaldsvinkel} < 30^\circ$$
$$t_a > 10^\circ C$$
$$\text{vindhastighed} > 2 \text{ m/s}$$

En lineær regression giver ligningen

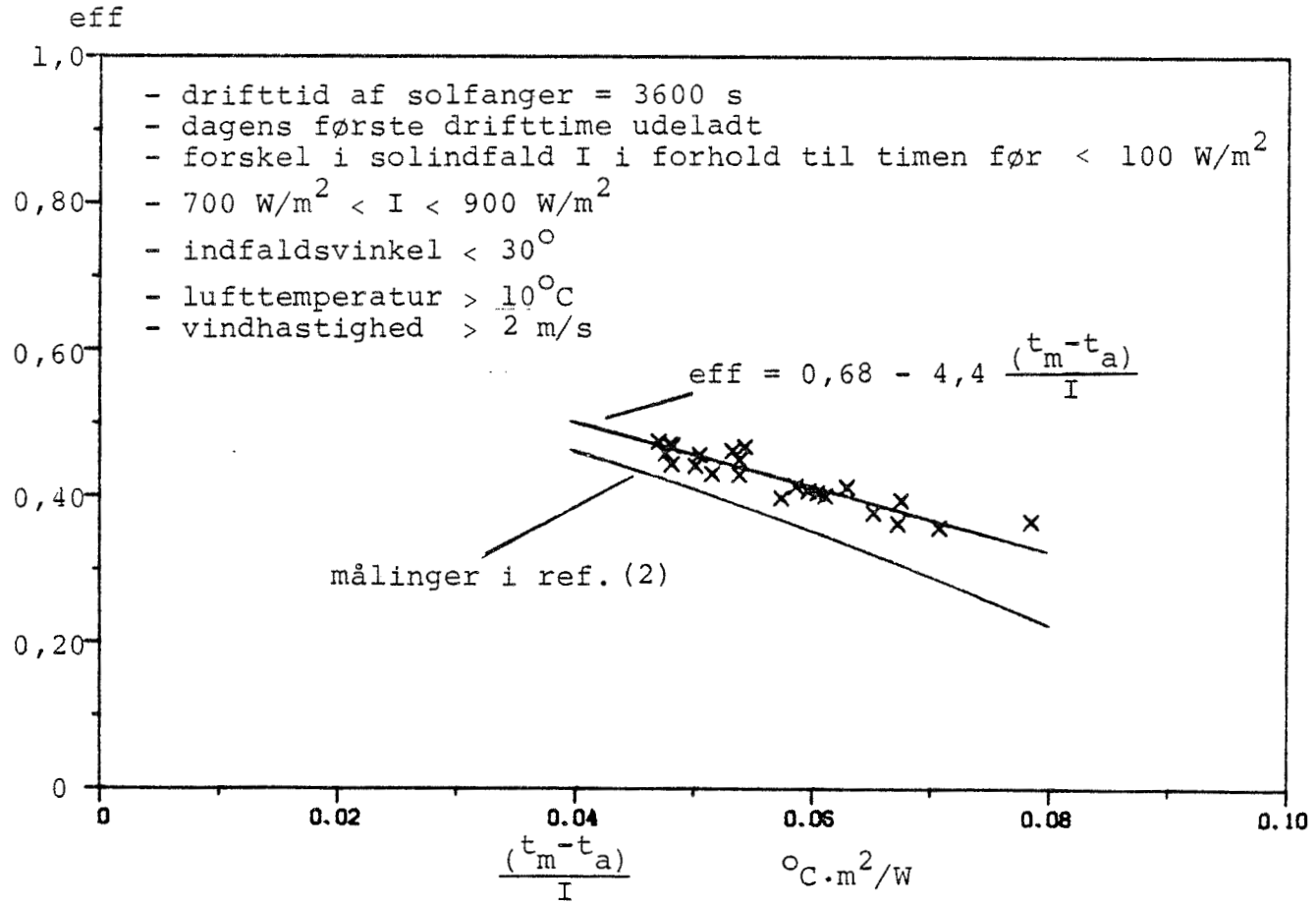
$$\text{eff} = 0{,}68 - 4{,}4 \frac{(t_m - t_a)}{I}$$

altså ingen større ændring i forhold til ligningen for de 221 måleværdier.

Til sammenligning med ligningerne er på figur 32 og 33 indtegnet resultatet af målingerne i reference (2). I intervallet 0,5-0,075 $m^2 \cdot {}^\circ C/W$ ligger målingerne i Gentofte ca. 5% absolut svarende til ca. 13% relativt over prøverapportens værdier. Forskellen kan - foruden usikkerhed på begge målinger - skyldes, at solfangeren i Gentofte har et mindre varmetab pga. en højere bagsidetemperatur, et mindre randtab og en mindre vindhastighed end i reference (2).



FIGUR NR. 32. Effektiviteten af solfangeren, stationære forhold.



FIGUR NR. 33 Effektiviteten af solfangeren, med ovennævnte grænser for visse parametre.

Driftsforhold.

Driften af anlægget kan som nævnt deles i 3 driftstilfælde. Tilfælde 1 med kun solvarme, tilfælde 2 med både solvarme og varme fra kedlen til rumvarme og tilfælde 3 med kun varme fra kedlen til rumvarme.

I alle driftstilfælde leverer lagerbeholderen varme til forvarmebeholderen.

For måleperioden har driften forløbet som det fremgår af fig. 34.

Fyret har været afbrudt fra 9. maj til 15 september og fra den 23. til den 27. september.

Forår:

I perioden 14. april til 9. maj har oliefyret kun været i drift af hensyn til rumvarmebehovet, idet der ikke har været behov for eftervarmning af brugsvand.

Efterår:

Fyret blev tændt den 15. september af hensyn til behovet for rumvarme. Tre dage senere kobledes eftervarmebeholderen ind.

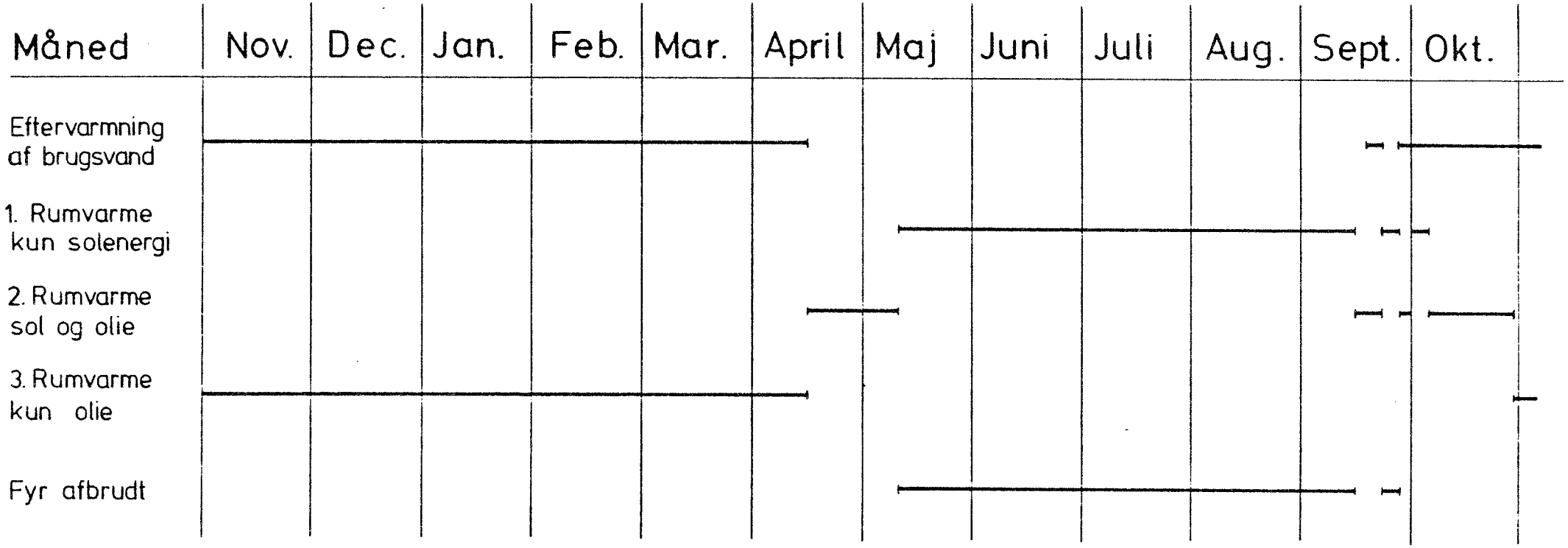
I dagene op til den 23. september var der et stort solindfald, hvorfor oliefyret blev afbrudt i en periode på 5 dage.

Den 27. september blev fyret tændt igen, og eftervarmning af brugsvandet og radiatorvandet blev genoptaget.

I perioden 1. til 4. oktober blev fremløb til radiatorerne ledt uden om kedlen, idet lagertemperaturen var høj nok som fremløbstemperatur.

I resten af oktober har anlægget leveret supplerende varme såvel til brugsvand som til rumopvarmning. Fra den 30. oktober, hvor returen fra radiatorerne blev koblet uden om lageret, har anlægget kørt i vinterdrift som brugsvandsanlæg.

DIAGRAM OVER DRIFTSFORLØBET



FIGUR NR. 34. Oversigt over driftsforholdene i perioden.

Fremløbstemperaturen

Det bemærkes, at det er fremløbstemperaturen til radiatorerne, der har været bestemmende for, hvornår fyret kunne afbrydes. Dette hænger sammen med, at radiatorerne i huset, trods efterisolering, kræver en forholdsvis høj fremløbstemperatur. Af samme grund har shuntventilen heller ikke været benyttet til at holde fremløbstemperaturen nede. Radiatorerne er udstyret med radiatortermostater, og disse har reguleret rumtemperaturen på tilfredstillende måde.

Der har i september-oktober været en del omkoblinger mellem driftstilfælde. Det skal erindres, at disse omkoblinger foretages manuelt. Det er kun fordi husets beboere følger anlægget nøje, at der kobles om så mange gange.

Temperaturen på det varme brugsvand har i korte perioder, i den tid fyret har været afbrudt, været nede under 40^{0}C.

Driftsforstyrrelser.

Den 4. juni var sikringen til differenstermostaten i solfangerkredsen sprunget, muligvis i forbindelse med at kogningssikringen havde været i funktion dagen før. Det var en solrig dag, strålingen ved middagstid kom op over 900 W/m^2, men solfangerpumpen startede ikke på grund af sikringen. Temperaturen af absorberen nåede op på 129^{o}C i timemiddelværdi mellem kl.12 og kl.13. Sikkerhedsventilen åbnede, og 35 l vand-glucol blev udstødt. Efter påfyldning af væske og udskiftning af sikringen kørte anlægget igen normalt. Solfangerelementerne havde ikke taget skade.

Derudover har der kun været driftsforstyrrelser, der kunne tilskrives målesystemet.

I august 1978 blev kontraventilen i solfangerkredsen udskiftet, da der blev konstateret naturlig cirkulation om natten. Kontraventilen var en type med gummimembran, der viste sig at være uegnet til glucol. Ventilen blev derfor udskiftet med en fjederbelastet type. Siden da har der ikke været konstateret naturlig cirkulation af betydning.

Temperaturforhold i lagerbeholderen.

Temperaturen i lagerbeholderen bliver målt 3 steder.

Midt i, ca. 10 cm fra toppen og 10 cm fra bunden. Alle målt i den ene ende af beholderen.

I begyndelsen af måleperioden blev temperaturen også målt midt på tanksiden i niveau med den midterste af de tre andre følere. Der blev ikke konstateret nogen vandret temperatur-differens.

Af. fig. 35 fremgår temperaturforløbet i tanken under skiftende driftsforhold.

Udløb fra lagerbeholderen til forvarmebeholderen og radiatorsystemet er placeret i toppen af beholderen, indløb i bunden. Der vil derfor, når der tappes fra beholderen, opbygges en stratificering. Denne ses at være mest udpræget ved start af tapning til rumvarme, hvor returen til at begynde med vil være ret kold.

Når tanken overlades til sig selv, sker der en langsom udligning af temperaturerne.

Ved tilførsel af solenergi sker der en hurtig udligning af temperaturerne, og stratificeringen nedbrydes næsten helt. Kun hvis der samtidig tappes fra beholderen, opretholdes en mindre stratificering.

Det ses, at temperaturen målt i bunden, varierer meget stærkt med driftsforholdene, mens temperaturen i toppen kun undergår langsomme ændringer.

Da vi kun måler temperaturen de 3 nævnte steder, kan vi ikke få noget præcist billede af temperaturfordelingen op gennem lagertanken. Noget kunne dog type på, at den lave temperatur, vi måler i bunden, ofte kun repræsenterer et meget tyndt koldt bundlag.

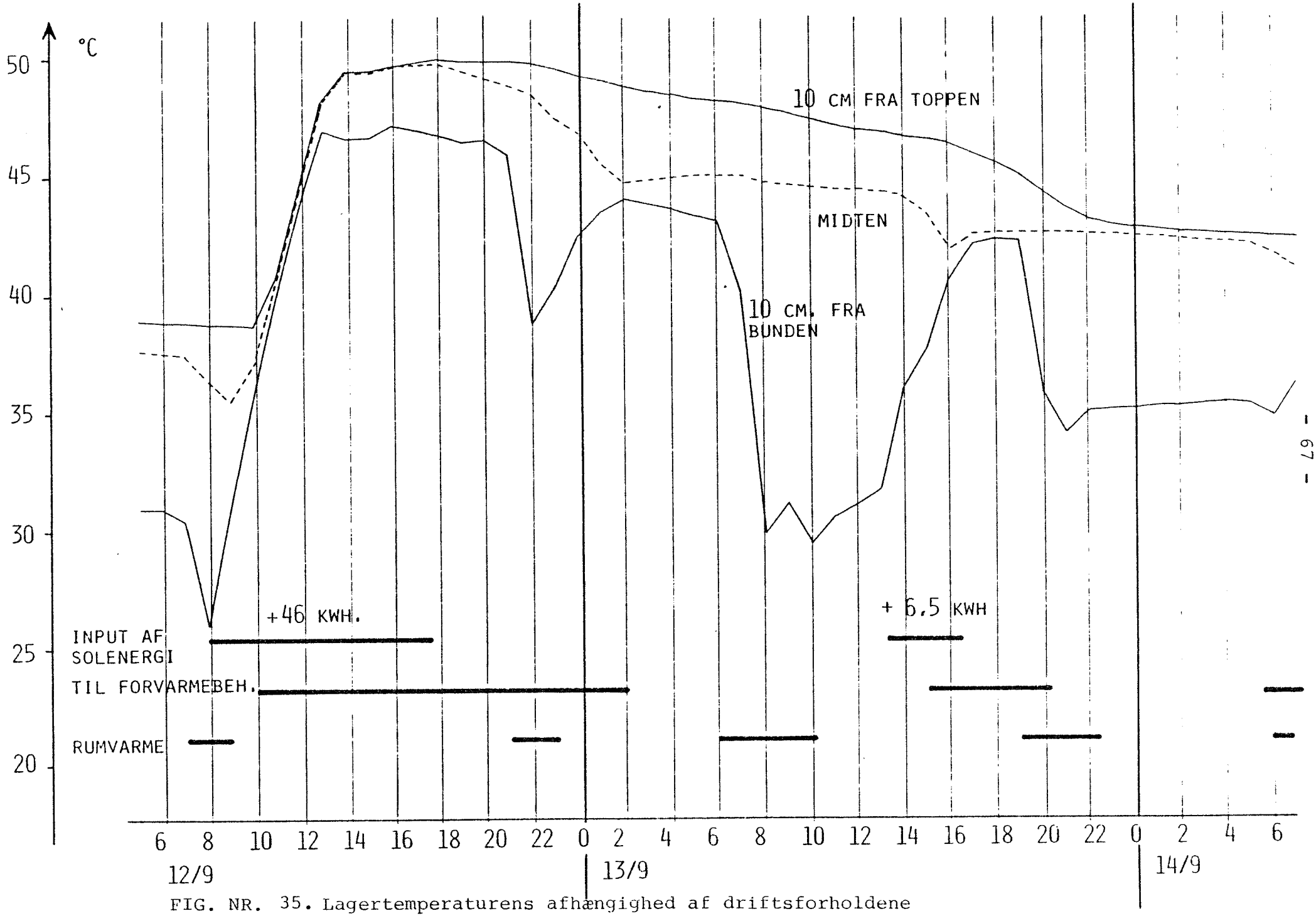


FIG. NR. 35. Lagertemperaturens afhængighed af driftsforholdene

Stratificeringens betydning for anlæggets ydelse.

Stratificeringen har været en afgørende faktor for problemerne med styring af solfangerpumpen.

Fordelene ved stratificeringen er dels, at man opretholder en højere temperatur foroven i beholderen, hvorfra der tappes, dels at varmeveksleren, der ligger forneden i beholderen, er omgivet af koldere vand med mulighed for at udnytte et mindre solindfald.

Ulempen ved stratificeringen er problemer med styringen. Det vil dog nok være muligt at styre et anlæg med stratificering i lagerbeholderen og udnytte fordelene herved, men det er et spørgsmål, om det vil kunne fungere i praksis på de meget forskelligartede anlæg med forskellig lager- og varmevekslergeometri, forskellige driftsforhold og forskellig placering af rørtilslutninger.

I beregninger, hvor der tages hensyn til stratificeringen, opnås et ca. 10% større udbytte, end hvis der regnes med fuld opblanding i lagerbeholderen. Se ref. (3).

Følerplacering i lagerbeholderen

Placering af føleren i lagerbeholderen til start af solfangerpumpen har givet en del problemer. Dette hænger sammen med den udtalte tendens til stratificering i beholderen.

Oprindelig var føleren placeret midt i beholderen i den ene ende. Som det fremgår af fig. 14 var den således placeret et stykke over varmevekslerens niveau. Denne placering gav ingen problemer, forstået på den måde at solfangeren altid kørte med positivt udbytte.

Derimod kunne vi udfra målingerne konstatere, at solfangerpumpen ofte kunne have startet før, idet middeltemperaturen omkring varmeveksleren ofte ligger væsentligt under temperaturen ved føleren midt i beholderen.

For at forøge udbyttet ville vi derfor anbringe føleren længere nede i beholderen. Det naturlige ville være at placere den i højde med varmeveksleren, men dette var der ikke praktisk mulighed for, og vi anbragte derfor føleren i bunden af beholderen i samme dyklomme, som den vi måler tanktemperaturen i. Denne placering viste sig at være problematisk, idet solfangeren kunne starte alene på grund af et koldt bundlag af begrænset lodret udstrækning.

Endvidere kom vi ofte ud for, at solfangerpumpen kørte i for lang tid. Efter en perfekt opstart og en driftsperiode med positivt udbytte kørte pumpen videre med negativt udbytte, idet et koldt bundlag, f.eks. opstået fordi der er lukket op for en radiator, kølede føleren til differenstermostaten.

Ved lavere tanktemperaturer med mindre stratificering har følerplaceringen i bunden af tanken vist sig at være udmærket.

På grund af de forskellige forhold ved høj og lav tanktemperatur er det ikke muligt at justere sig ud af vanskelighederne ved at stille på start-og stopdifferensen på differenstermostaten.

Problemet med, at solfangeren kører for længe, kunne løses ved som stopsignal til pumpen at benytte temperaturdifferensen over ind- og udløb til varmeveksleren, så at pumpen stopper, når denne er nul. Dette vil så komplicere anlægget yderligere med en differenstermostat.

I november 1979 har vi igen flyttet føleren. Den er nu anbragt i en speciel lang dyklomme i solfangerkredsens udløb fra varmeveksleren, således at føleren i stilstandsperioder måler temperaturen i beholderen i niveau med varmeveksleren. Under drift måles altså fremløbstemperaturen til solfangeren. Denne placering er således udmærket til stop af solfangerpumpen, idet vi, sålænge fremløbstemperaturen er lavere end temperaturen ved udløb fra solfangeren, har positivt udbytte. Den anden føler til differenstermostaten er netop anbragt ved udløb fra solfangerne, og stopdifferensen skal således stilles på nul, hvis der ses bort fra rørtabet.

Vi har endnu ikke mange praktiske erfaringer med denne følerplacering, men den synes at fungere tilfredsstillende.

Følerplaceringens betydning for ydelsen.

En bedre styring af solfangerpumpen vil sandsynligvis kunne forøge udbyttet en del. Vi har som nævnt, i sammenhæng med de skiftende følerplaceringer, konstateret en del forkerte opstarter og stop af pumpen, med negativt udbytte til følge.

Da vi normalt kun får timemiddelværdier ud på tapen, har det ikke været muligt kvantitativt at bestemme, hvor meget vi har mistet ved for tidlig start eller for sent stop, eller hvor meget vi i andre situationer kunne have hentet ekstra ved tidligere start og senere stop af pumpen.

Vi har derfor planer om en vis omarbejdning af dataopsamlingen, således at vi ved start og stop af pumpen, får en øjeblikkelig udskrift af systemets tilstand

Indstilling af start- og stopdifferens.

Start- og stopdifferensen til pumpen i solfangerkredsen er indstillet udfra udskrifterne af solfangerens udbytte i første og sidste køretime.

Som nævnt har føleren i lagerbeholderen været flyttet nogle gange og hver placering af føleren har givet sine problemer med start- og stopdifferensen.

På grund af stratificeringens stærke afhængighed af driftsforholdene, har det således ikke været muligt at finde en start- og stopdifferens, der er optimal under alle forhold.

Vi vil i forbindelse med de kommende målinger se nærmere på dette problem.

Lagerbeholderens varmekapacitet.

Lagerbeholderen har et volumen på 2000 l. Den er opbygget af stålplader med en godstykkelse på 4 mm, ialt ca. 300 kg stål. Se figur 14.

Med en varmekapacitet for vand på 4,14 kJ/ℓ °C, svarende til en temperatur på 40 °C, og en varmekapacitet for stål på 0,46 kJ/kg °C, beregnes en varmekapacitet for lagerbeholderen på 8,44 MJ/°C, heraf 0,14 fra stålet.

Lagerbeholderens varmekapacitet er også bestemt ved måling på følgende måde.

Fig. 36 viser temperaturforløbet i lagerbeholderen i perioder med stort input. Der er vist temperaturen i bunden, i midten og i toppen af beholderen.

Der kan for de viste forløb afgrænses perioder med lineær temperaturstigning. I en sådan periode vil den helt dominerende størrelse være energi tilført til lageret. Det er derfor muligt herudfra at beregne lagerbeholderens varmekapacitet med god nøjagtighed, idet usikkerheden på bestemmelse af varmetabet ikke får nogen væsentlig indflydelse på resultatet.

For de viste perioder beregnes varmekapaciteten på denne måde til 8,7 MJ/°C, med en spredning på omkring 0,1 MJ/°C.

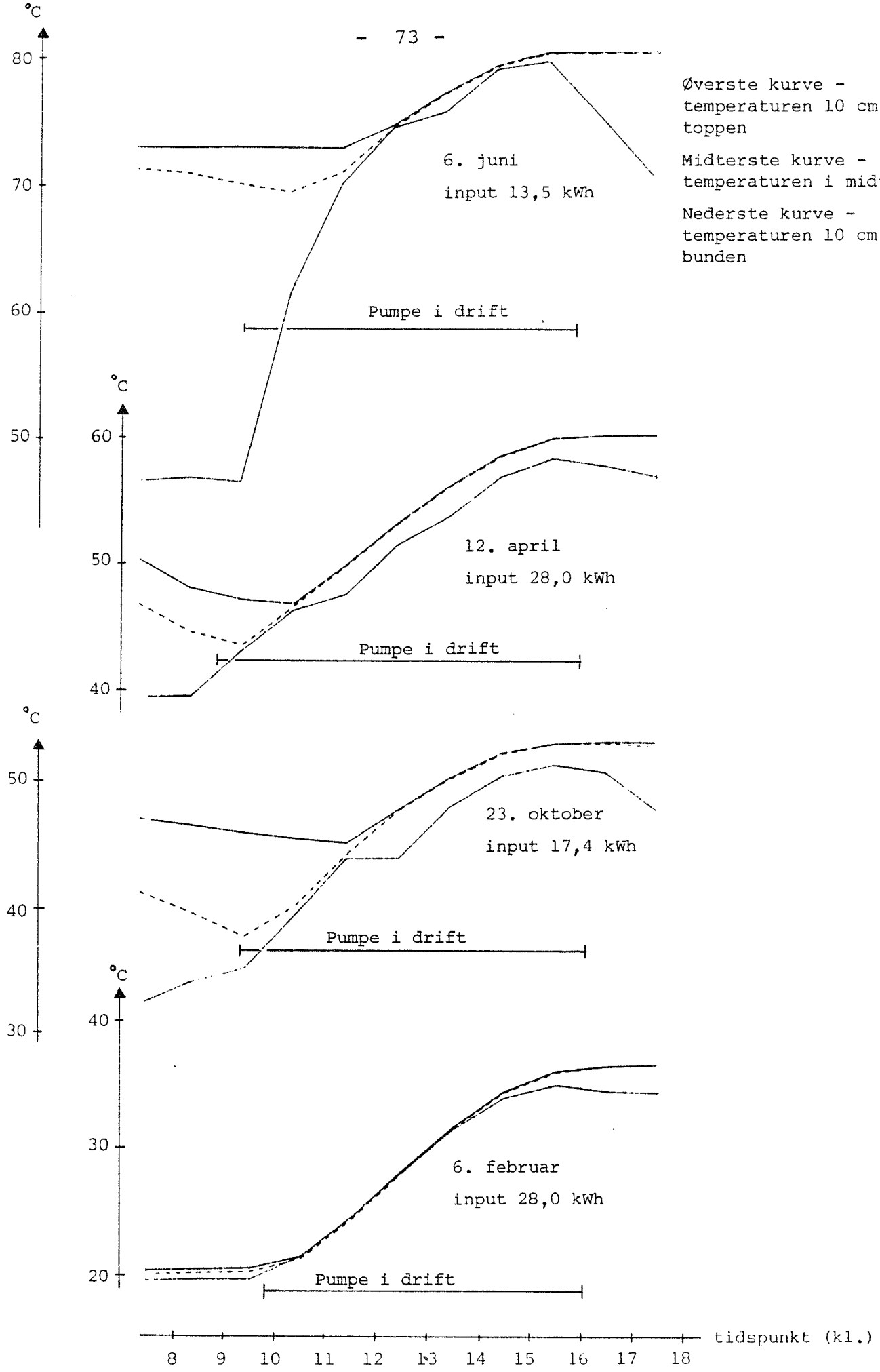
Bestemmelse af lagerbeholderens varmetab forudsætter kendskab til varmekapaciteten. Der er i denne rapport anvendt den målte værdi af varmekapaciteten, altså 8,7 MJ/°C.

Forskellen på målt og beregnet værdi kunne skyldes at lagervolumïnet er lidt større end de 2000 l.

Tab fra lagerbeholderen.

Tabet fra lagerbeholderen har været meget stort. Ikke mindre end 43% af den energimængde, der er tilført lageret, er tabt direkte herfra.

Isoleringen består af 4 lag 50 mm mineraluld lamelmåtter (se fig 14). Med λ=0,044 W/m°C, beregnes beholderens varmetabskoefficient til 2,6 W/°C.



FIGUR NR. 36 Temperaturforløbet i lagerbeholderen i perioder med stor tilførsel af solenergi.

Tabet gennem rørforbindelser er beregnet til 0,48 W/°C. Der er 4 rørtilslutninger, alle af benævnelse 32.

Varmetabskoefficienten for understøtningen er ikke bestemt eksakt. Det maximale tab kan beregnes til 2,4 W/°C, svarende til at temperaturen ved tankisoleringens overflade er faldet til rumtemperaturen. Dertil kommer tab fra rørsystemet mellem lagerbeholderen og dykrørene, der måler temperaturerne til beregning af tappet energimængde. Dette varmetab forekommer kun, når der tappes fra lagerbeholderen. Tabskoefficienten for rørstrækningen bliver 1,7 W/°C. Idet der tappes fra beholderen i ca. 1/3 af tiden, kan tabet fra rørsystemet til sammenligning med de øvrige tab udtrykkes ved 0,6 W/°C.

Vi får da et samlet beregnet tab fra lagerbeholderen på maximalt 6,1 W/°C.

Med varmekapaciteten 8,7 MJ/°C bestemmes månedsmiddelværdien for lagerbeholderens tabskoefficient, udfra målingerne, til mellem 12 og 14 W/°C.

Der er således målt et varmetab fra beholderen, der er over dobbelt så stort som det beregnede.

Dette skyldes sandsynligvis, at isoleringsarbejdet på grund af trange pladsforhold, er udført mangelfuldt. Lagerbeholderen er placeret i et hjørne af fyrrummet, og afstanden fra isoleringen til væggen er omkring 10 cm. For at isolere endebunden, der vender op mod væggen, måtte montøren ligge på maven ind gennem et lille kældervindue. Det er da også konstateret, at isoleringen her er meget løs, og der er huller i lærredet og sprækker i isoleringen, således at der må formodes at kunne opstå kraftigt konvektionstab gennem isoleringen.

Tab fra for- og eftervarmebeholder.

På grund af måletekniske problemer har vi på nuværende tidspunkt ikke noget præcist billede af tabet fra for- og eftervarmebeholderne.

Problemet er, at nogle af dykrørene er anbragt for tæt ved beholderne. Der vil derfor, hvor vand med en vis temperatur løber ind i en beholder af en anden temperatur, forekomme forstyrrelser i målingen ved varmeledning gennem beholder og rør, til dykrøret.

Vi har for nylig afhjulpet problemet ved at udskifte de pågældende dykrør med nye, der er termisk isolerede fra røret.

Et andet problem har været, at der mellem lagerbeholderen og forvarmebeholderen forekom naturlig cirkulation med så lille et flow, at målingen heraf blev usikker, foruden at problemet med varmeledning blev yderligere forøget. Dette problem er nu afhjulpet ved at indskyde en kontraventil i kredsen. Foruden at forbedre målingerne bevirker kontraventilen, idet rørsystemet nu kun er varmt en del at tiden. at tabet fra rørsystemet bliver mindre. Desuden undgås det, at temperaturen i forvarmebeholderen følger temperaturen i lagerbeholderen op til en højere værdi end den ønskede. Pumpen styres jo, foruden af en differenstermostat, af en absolut termostat, der udelukker pumpedrift, hvis temperaturen i forvarmebeholderen overstiger den indstillede værdi.

Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder.

Tabel 37 viser rørlængder, rørdimensioner, tabskoefficienter, væskeindhold og varmekapaciteter for de forskellige dele af rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder.

Rørsystemet er delt op i den del, der befinder sig i kælderen, den del, der befinder sig i udnyttede rum i stuen og på 1. sal, og den del, der befinder sig på loftet omkring selve solfangeren.

	Rørlængder m				Væske-indhold l	Tabskoefficient W/°C		Varmekapacitet kJ/°C		
						rør	armatur	rør	Væske	armatur
Fremløb:	15	20	25	32						
Kælder				10,15	10,2	2,65	3,2	23	64	6
Stue og 1. sal				5,8	5,9	1,52				
Loft efter dykrør	7,5	2,1	3,15	3,0	7,1	3,45		14	28	
	ialt 31,7 m				23,2 l	7,62	3,2	37	92	6
Retur:										
Loft før dykrør	6,0	3,15	5,7	8,45	14,2	5,45		24	56	
Stue og 1. sal				5,8	5,9	1,52		21	59	
Kælder				8,8	8,9	2,30	2,9			3
	ialt 37,9 m				29,0 l	9,27	2,9	45	115	3

Absorber: 127 kg aluminium og 90 kg stål. Varmekapacitet 158 kJ/°C.
Væskeindhold 32 l

Varmeveksler: Væskeindhold 44 l

Varmekapacitet af stål: 0,46 kJ/kg°C
Varmekapacitet af vand-glucol: 3,98 kJ/kg°C
Varmekapacitet af aluminium: 0,92 kJ/kg°C

FIGUR NR. 37. Data for rørsystemet mellem lagerbeholder og solfanger.

Varmetab

Varmetabet fra rørsystemet gennem huset og kælderen kan beregnes ud fra målingerne. Dette er derimod ikke tilfældet for rørsystemet på loftet.

Alle rør med betegnelse 32 (indre diameter 35,9 mm) er isoleret med 40 mm mineraluld, alle andre rør med 30 mm mineraluld. Stikledninger til og fra solfangerelementerne, ialt 8,4 m rør betegnelse 15, er mange steder helt uden isolering.

Rørene gennem stuen og 1. sal er gemt i en kasse, hvilket bevirker, at man gennem en driftsperiode kan konstatere et faldende tab, efterhånden som kassen varmes op.

Den beregnede tabskoefficient, for den del af rørsystemet for hvilket vi har et målt tab, udgør 14 W/^{o}C. Heraf er de 8 W/^{o}C tab fra isolerede rør, medens de 6 W/^{o}C er tab fra uisolerede rør, ventiler, pumpe og måler i fyrrum, såvel ved stråling som ved naturlig konvektion. Beregningen af tab fra uisolerede pumper mv. er naturligvis usikker.

Den tilsvarende koefficient for rørsystemet på loftet, fra dykrørene til solfangerelementerne, er beregnet til 5,7 W/^{o}C. På grund af de dårligt isolerede stikledninger skal denne værdi forhøjes, så tabet i de to dele af rørsystemet måske bliver af samme størrelse.

Varmekapacitet

Den samlede varmekapacitet af rørsystem, væske, ventiler m.v. mellem lagerbeholder og solfanger er 298 kJ/^{o}C, heraf 82 for rørene. Denne del af rørsystemet vil være kold, når solfangerpumpen starter, og en del af den producerede energi vil gå til opvarmning heraf.

Varmekapaciteten af absorberpladerne er 158 kJ/^{o}C og af væsken i solfangerne 127 kJ/^{o}C.

Væskemængde

Der er ialt i primærkredsen 128 l vand-glucol med 30 volumenprocent glucol, 32 l i absorberen. Dertil kommer en mindre mængde i ekspansionsbeholderen.

Pumpen giver ca.34 l/min, og vi får således en "omløbstid" på knapt 4 min.

Det målte varmetab i rørsystemet

Det varmetab vi måler, kan deles i starttabet, der er den varmemængde, der går til opvarmning af det kolde rørsystem og den kolde væske, og i driftstabet, der er det varmetab, vi har fra rørsystemet under drift, efter at rørsystemet er varmet op.

Starttab

Ved start af solfangerpumpen vil den kolde væske i rørsystemet strømme ind i solfangeren og lagerbeholderen. Idet omløbstiden af væsken er 4 min, vil de målte temperaturer til at begynde med variere meget, da vi kun måler for hvert minut, og beregningen af varmestrømmene vil blive usikker.

Målingerne viser, at temperaturforholdene efter 10 til 15 min er stabile.

Det starttab, vi måler, skulle svare til den beregnede varmekapacitet på 167 kJ/^{o}C. Måleresultaterne viser god overensstemmelse hermed.

Det samlede starttab, inclusive rørsystemet på loftet, vil da svare til en kapacitet på 298 kJ/^{o}C.

Dette vil eksempelvis sige, at vi i oktober (hvor middeltanktemperaturen var 43^{o}C) på denne måde har afsat omkring 40 kWh. Dette skal sammenlignes med produktionen på 612 kWh. I juni, hvor middeltanktemperaturen var 64^{o}C, er der tilsvarende afsat godt 80 kWh, sammenlignet med produktionen på 712 kWh.

Som nævnt ligger den største del af varmekapaciteten i væsken. For anlægget i Gentofte er det 70%.

Driftstab

Tabet fra rørsystemet under drift, efter at temperaturforholdene er blevet stabile, har som nævnt vist sig at falde gennem en driftsperiode, idet rørsystemet gennem bygningen er skjult i en kasse. Vi har ingen måling af temperaturen i rørenes indeslutning, og det er derfor ikke muligt at beregne en eksakt tabskoefficient ud fra målingerne.

Med rumtemperaturen som omgivelsestemperatur beregnes, udfra målingerne i begyndelsen af en driftsperiode, en tabskoefficient på 15 W/°C og i slutningen helt ned til omkring 10 W/°C. Disse tal skal sammenlignes med den beregnede koefficient på 14 W/°C. Det målte tab svarer da nogenlunde til det beregnede, og indeslutningen af rørsystememet virker som en ekstra isolering. Det samlede målte tab i rørsystemet mellem målestederne udgør 753 kWh for hele måleperioden eller 13% af udbyttet af solfangerne.

Rørsystemet på loftet

For rørsystemet på loftet er varmekapaciteten noget mindre, 122 kJ/°C.

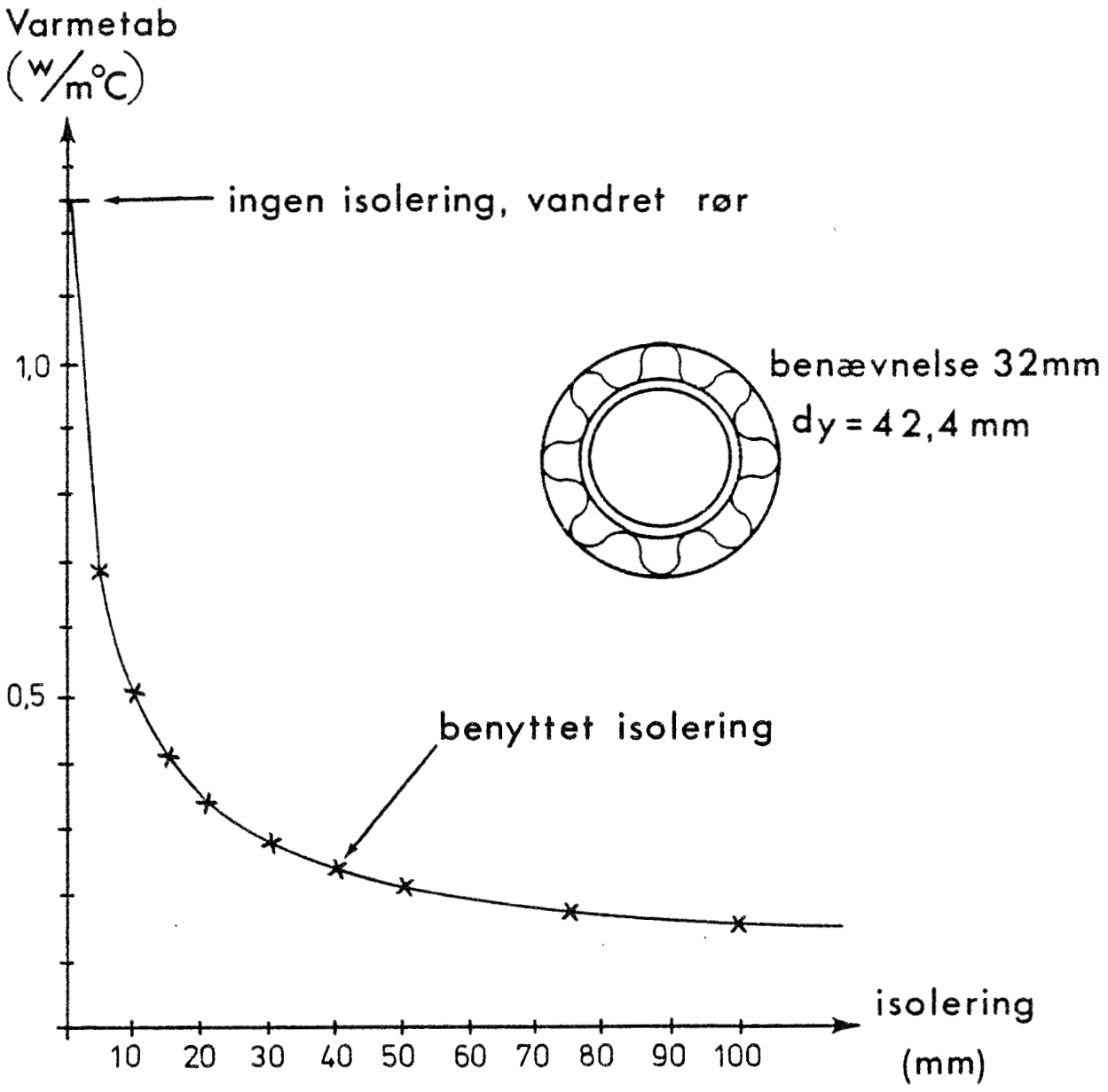
Den beregnede tabskoefficient på 5,7 W/°C skal som nævnt forhøjes pga. dårlig isolering, og desuden ligger rørsystemet på loftet, hvor der en del af året vil være koldere end i huset. Alt i alt vil tabet fra rørsystemet på loftet måske være lidt mindre end tabet fra rørsystemet gennem bygningen. Vi vil da få et tab i rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder svarende til ca. 20% af den producerede energi, hvoraf omkring halvdelen er starttab og halvdelen transmissionstab under drift.

Fig. 38 viser transmissionstabet for den aktuelle rørdimension som funktion af isoleringstykkelsen. Det ses, at den valgte isoleringstykkelse på 40 mm giver et varmetab, der ikke kan formindskes væsentligt selv ved en fordobling af isoleringen.

Rørsystemets betydning for anlæggets ydelse.

Som nævnt afsættes en del energi i det kolde rørsystem og den kolde væske mellem lagerbeholder og solfanger ved blot en kortvarig driftsperiode. Vi har, i sammenhæng med de skiftende følerplaceringer, konstateret en del kortvarige driftsperioder med negativt udbytte. Der kan altså udfra dette synspunkt vindes noget ved en forbedret styring af pumpen.

Transmissionstab pr. m rør i rørsystem mellem solfanger og lagerbeholder.



FIGUR NR. 38. Transmissionstab i rørsystemet i solfangerkredsen.

Endvidere kunne en reduktion af varmekapaciteten mellem lagerbeholder og solfanger formindske varmetabet ved en opstart. Da solfangeren befinder sig omkring 8 m over lagerbeholderen, er der dog ikke mulighed for at afkorte rørsystemet og på den måde nedsætte varmekapaciteten. Som nævnt ligger 70% af kapaciteten i væsken i rørsystemet og solfangeren. Det ville altså give et forøget udbytte, om man reducerede rørdimensionerne, forudsat at pumpen gøres så meget større, at solfangeren gennemstrømmes af den samme væskemængde. Omkostningen ville da være et større forbrug af energi til pumpen. Hvor det optimale forhold mellem rør og pumpe ligger, skal der ikke her tages stilling til.

Kogningssikring.

Kogningssikringen har kun været i funktion en gang. Den 3. juni kom lagertemperaturen kl. 16, efter et input på 32 kWh, op på knapt 84 °C. Kogningssikringen fik pumpen til at fortsætte i omkring 3 timer med negativt udbytte, hvorved der blev afgivet 7 kWh. Temperaturen i toppen og i midten af beholderen holdt sig på 83 °C, mens temperaturen i bunden faldt til 70 °C.

Der kan sættes spørgsmålstegn ved, om det system i det hele taget er særlig effektivt med den givne følerplacering i toppen af beholderen. En afkøling af vandet omkring føleren i toppen vil tage meget lang tid, da det skal foregå ved varmeledning fra det koldere område omkring varmeveksleren. Føleren bør derfor placeres i niveau med varmeveksleren.

Kogningssikringen ville have været i drift igen den 4. juni om aftenen, hvis ikke der havde været driftstop p.g.a. en sprunget sikring i differensrelæet til solfangerkredsen.

Dugdannelser på solfangeren.

Der er af og til konstateret dugdannelser indvendigt på glasset i solfangerelementerne.

Som regel har det drejet sig om mindre dugdannelser, der har optrådt periodevis.

I februar måned blev der imidlertid konstateret udbredte dugdannelser på 2 elementer, og der blev forsøgsvis boret et 9 mm udluftningshul i hvert af disse elementer, hvilket i væsentligt grad har afhjulpet problemet.

Utætheder i solfangerens inddækning.

I efteråret 1979 blev der konstateret en mindre utæthed med indtrængning af regnvand til følge.

Vandet kommer fra den del af solfangeren, som ligger over værelserne i tagetagen og løber derfra ned ad et spær. Det er derfor endnu ikke opklaret præcist hvor vandet kommer fra. Først når vinteren er forbi kan der blive gjort et nyt forsøg på at lokalisere og udbedre skaden.

Sammenligning med f-chart-beregninger.

Af fig. 39 fremgår en sammenligning mellem de målte ydelser og ydelsen af anlægget beregnet ved f-chart-metoden. Der er foretaget beregninger med solstrålingsdata fra det modificerede referenceår og med de målte solstrålingsdata, således at det er muligt at vurdere betydningen af det ret lave solindfald i perioden.

Forudsætninger for f-chart-metoden.

Metoden er udviklet i USA og bygger på detaljerede EDB-beregninger. Den har i USA været sammenlignet med nogle få pålidelige målinger på solvarmeanlæg, og der er fundet god overensstemmelse mellem målte og beregnede ydelser.

I beregningerne forudsættes det, at varmtvandsbeholderen ikke har noget varmetab. Derudover forudsættes et varmetab fra lagerbeholder og rørsystemer på 0,42 W/C pr. m^2 solfanger. I Gentofte-anlægget har vi målt et tab på ca. 0,6 $W/^oC \cdot m^2$, altså noget større end forudsat i f-chart. Der er ikke mulighed for at variere varmetabskoefficienten.

Varmetabet fra lagerbeholderen og rørsystemer regnes for fuldt udnyttet i fyringssæsonen.

Endvidere forudsættes der fuld opblanding i lagerbeholderen og perfekt styring af solfangerpumpen.

Varmtvandsforbruget regnes lige stort hver dag.

Der er i beregningerne benyttet data for solfangeren, der er målt på Lab. for Varmeisolering. Det drejer sig om glassets absorption og emission, om absorberens absorption og varmeoverføringsevne og om elementernes varmetab.

Radiatorernes dimensioneringstilstand.

I f-chart indgår størrelsen $\varepsilon_L C_{min}/UA$. Her er ε_L temperatureffektiviteten for varmefordelingssystemets varmeflade, C_{min} er minimum af kapacitetsstrømmen på vand- og luftsiden og UA er husets dimensionerende varmetab pr. ^oC. Størrelsen antager værdien 0,4 for dimensioneringstilstanden t_f/t_r = 90/70, 0,8 for 60/40 og 2,0 for 35/30. Se nærmere ref. (1).

Tabel over resultaterne med F-chart-beregninger.

Vejrdata	varmtvands-forbrug l/dag	radiator-dimens. t_f/t_r	Dæknings-grad %	Ydelse kWh/m^{2}år	Bemærkning
Mod. ref. år	165	35/30	24,7	190	
-	165	60/40	23,4	180	
-	165	90/70	21,5	165	
-	240	90/70	22,7	185	
Målt	165	35/30	18,8	145	
-	165	60/40	17,9	138	
-	165	90/70	16,5	127	
Målt	165	90/70	15,2	117	et lag glas
Målt	100	90/70	15,2	110	
-	240	90/70	17,7	144	
-	350	90/70	19,2	169	
Resultatet af målingerne.					
Målt	165		11,5	89	excl. udn. varmetab.
-	165		16,0	123	incl. udn. varmetab
-	165		14,0	107	50% udn. varmetab

FIG. NR. 39. Sammenligning med f-chart-beregninger.

Modificeret referenceår.

Med det målte forbrug til rumopvarmning, det målte forbrug til varmt brugsvand omregnet til jævnt forbrug og med solstrålingsdata fra det modificerede referenceår fås med f-chart en dækningsgrad på 21,5 %, svarende til en ydelse på 165 kWh/m^2·år. Dette gælder for dimensioneringstilstanden 90/70.

Måleresultaterne viser som nævnt, at der i huset i Gentofte kræves meget høje fremløbstemperaturer. Varmefordelingssystemets dimensioneringstilstand beskrives således bedst ved dimensioneringstilstand 90/70.

Med dimensioneringstilstand 35/30 fås en ydelse på 190 kWh/m^2·år

Målte vejrdata.

Med de målte vejrdata (stråling og udetemperatur) giver f-chart tilsvarende en dækningsgrad på 16,3 %, svarende til 127 kWh/m^2·år. Det er som nævnt forudsat, at varmetabet fyringssæsonen er fuldt udnyttet.

Udnyttelse af varmetab.

Målingerne gav en dækningsgrad på 11,5 %, svarende til 89 kWh/m^2·år. Regnes varmetabet i fyringssæsonen, ialt ca. 950 kWh, for udnyttet, giver målingerne en dækningsgrad på 16,0 %, svarende til 123 kWh/m^2·år.
F-chart giver altså en ydelse der er 3% højere end målingerne.

Det skal bemærkes, at det for anlægget i Gentofte ikke er rimeligt at regne hele varmetabet som udnyttet i fyringssæsonen. Temperaturen i fyrrummet ligger i fyringssæsonen på 24-25 C, og rummet anvendes kun til fyrrum. En del af varmetabet fra fyrrummet går til omkringliggende kælderrum eller op i stuen, og en del går ud gennem ydervægge eller ned i jorden.

Overslagsmæssigt vil omkring halvdelen af varmetabet udnyttes. Indregnes dette fås en dækningsgrad på 14,0 %, svarende til en ydelse på 107 kWh/m^2·år.

En nærmere belysning af varmetabets betydning for ydelsen kan ikke gennemføres med f-chart. Dette vil blive gjort, når der bl.a. vha. de målte værdier, er udviklet detaljerede EDB-programmer, hvor varmetabskoefficienterne kan varieres.

Solindfaldets betydning for ydelsen.

Det modificerede referenceår gav med f-chart en ydelse på 165 kWh/m^2·år, de målte vejrdata gav 127 kWh/m^2, også med f-chart.

Vi får således, som følge af det ringe solindfald en reduktion i ydelsen på 23 %.

I måleperioden var den totale stråling 22 % mindre end i det modificerede referenceår, den diffuse stråling 3 % mindre og den direkte stråling 33 % mindre (se fig. 25-27).

Forbrugets betydning for ydelsen.

Forbruget af varmt brugsvand har været meget lavt, der er brugt 2800 kWh, svarende til 165 l/dag (10 til 50°C), mod den ofte benyttede antagelse om 240 l/dag (4000 kWh/år) for 4 personer. Fig. 40 viser udbyttet af anlægget for forskellige forbrug af varmt brugsvand. Beregningerne er udført med f-chart med de målte vejrdata og det målte forbrug til rumvarme.

Den øverste kurve viser ydelsen med varmetabet i fyringssæsonen fuldt udnyttet. Den nederste viser ydelsen når kun halvdelen regnes udnyttet.

Det ses, at et varmtvandsforbrug på 240 l/dag ville give en ydelse på 144 kWh/m^2 år, mod 127 med det aktuelle forbrug på 165 l/dag.

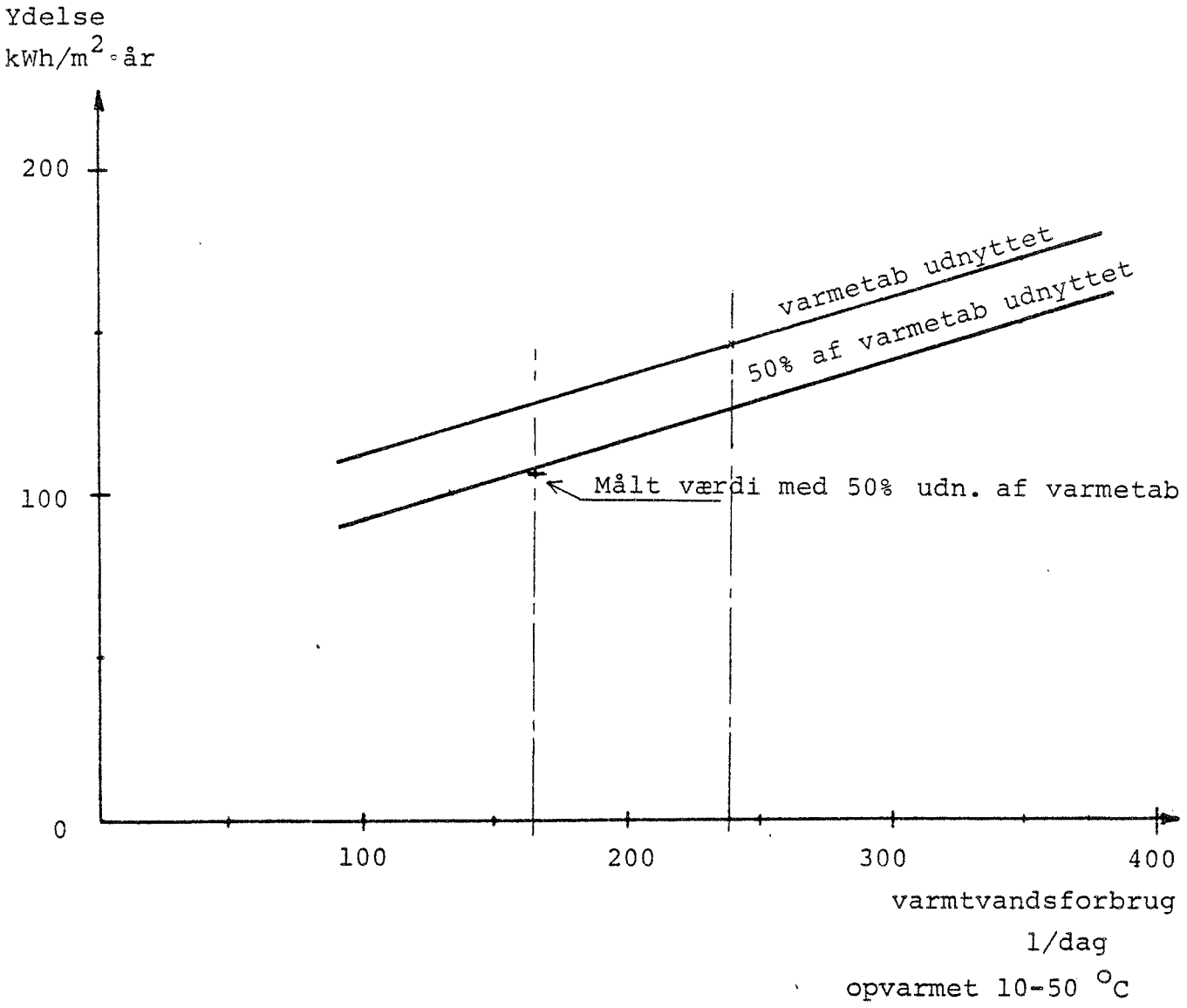


FIG. NR. 40. Ydelsens afhængighed af forbruget til varmt brugsvand, beregnet efter f-chart med målte vejrdata og forbrug til rumvarme.

Vurdering af anlæggets dækning af rumvarme.

Som det fremgår af fig. 24 har anlægget kun givet et beskedent bidrag til rumopvarmningen. Direkte fra lagerbeholderen er der udnyttet knap 600 kWh, svarende til 3 % af rumvarmebehovet. Ca. 500 kWh kan godskrives som udnyttet varmetab.

En væsentlig grund til den lave dækning er, at der, som nævnt, kræves en ret høj fremløbstemperatur og et ret stort flow til radiatorerne. Derved bliver returtemperaturen høj og den periode, hvor returtemperaturen er lavere end lagertemperaturen indskrænkes. Tilsvarende indskrænkes den periode hvor lagertemperaturen er tilstrækkelig som fremløbstemperatur.

Som det fremgår af fig. 34 er det kun omkring en måned om foråret og en måned om efteråret at der har været forvarmning af radiatorfremløbet. Endvidere har behovet for rumvarme været forsvindende i den periode hvor lagertemperaturen har været tilstrækkelig som fremløbstemperatur.

Radiatorerne er udstyret med radiatortermostater. Som fremløbstemperatur benyttes kedeltemperaturen, dvs. der har ikke været shuntet til en lavere fremløbstemperatur. Kedeltemperaturen har været stillet på minimum 55 °C, af hensyn til det varme brugsvand, og er ellers reguleret op til den mindst mulige temperatur der kan klare rumvarmebehovet. Reguleringen af rumtemperaturerne er da foretaget ved hjælp af radiatortermostaterne, altså mængderegulering med konstant fremløbstemperatur og variabel vandmængde.

Detaljerede EDB-beregninger (ref. 1) viser at det for et solvarmeanlæg giver større udbytte at temperaturregulere.

For et anlæg, der minder om anlægget i Gentofte, men med 40 m^2 solfanger, er det vist at man med dimensioneringstilstanden 90/70 ved temperaturregulering, altså ved at styre fremløbstemperaturen efter behovet, får en dækningsgrad på 34 %, mens man med mængderegulering får en dækningsgrad på 29 %.

Det lave solindfald er også af stor betydning for den lave dækning af rumvarmebehovet. Som det fremgår af fig.39 ville vi med det modificerede referenceårs vejrdata have fået en ydelse på 165 kWh/m^2/år, incl. udnyttet varmetab. Da forbruget

til varmt brugsvand kun udgør 2800 kWh/år svarende til 100 kWh/m^2·år, må en væsentlig del af udbyttet med det modificerede referenceårs data være dækning af rumvarme.

Et ringe solindfald vil altså, for så vidt som f-chart-beregningen er korrekt på dette punkt, først og fremmest give sig udslag i ringe dækning af rumvarmebehovet.

For det betragtede år er det specielt det lave solindfald i forårsmånederne marts, april og delvis maj der går sig gældende. I disse måneder er der normalt et stort solindfald samtidig med, at der er behov for rumvarme. Imidlertid har det direkte solindfald i disse måneder været omkring halvdelen af det normale, hvorfor temperaturen i lagerbeholderen har været for lav til at dække en del af rumvarmebehovet.

Den lave dækning af rumvarmebehovet er altså en kombination af den høje fremløbstemperatur, mængdereguleringen og det lave solindfald.

Ydelsen med et og med to dæklag på solfangeren.

Det blev under projekteringen af anlægget bestemt, at der skulle være 2 dæklag på solfangeren, dette blev bestemt udfra overvejelser om merudgift kontra extra ydelse.

Dansk Solvarme K/S, der har leveret solfangeren, producerer en tilsvarende solfanger med et lag glas. Med data for denne solfanger, målt på Lab. for Varmeisolering, fås med f-chart en ydelse på 117 kWh/m^2·år, sammenlignet med 127 for tolagssolfangeren.

Det vil sige at det ekstra lag glas øger udbyttet med 8,5%. Da den samlede anlægspris i dette tilfælde kun er 2,5% højere, end hvis der var benyttet en etlagssolfanger, giver merudgiften altså ca. 3 gange større udbytte end den resterende del af anlægsprisen.

8. Planer for det videre arbejde.

Målinger.

Vi er igang med en vis omarbejdning af regnemaskine-programmet til opsamling af måledata, så vi får en bedre beskrivelse af anlæggets tilstand omkring det kritiske tidspunkt, når solfangerpumpen starter og stopper. Dette skal sikre os en bedre løbende beskrivelse af styresystemets funktion.

Derudover har vi til hensigt at foretage flere målinger med udskrift af alle måledata for hvert minut eller mindre, under start og stop. Ved hjælp af sådanne data kan vi undersøge, om simuleringsprogrammerne beregner sig til det rigtige starttidspunkt, og vi kan få et mere præcist billede af betydningen af varmekapaciteten i rør og væske mellem solfanger og lagerbeholder.

Der skal foretages en nærmere undersøgelse af tabet fra lagerbeholderen. For ikke at forstyrre anlæggets drift for meget vil vi, i en vintermåned, opvarme beholderen med oliefyret. Vi kan da få nogle dage, hvor der hverken tappes fra eller tilføres energi til beholderen, og tabet kan måles. Isoleringens kvalitet skal undersøges ved måling af beholderens overfladetemperatur, og vi overvejer at anvende termografiske metoder til bestemmelse af varmetab gennem kuldebroer ved lagerbeholderen.

Som nævnt har der været problemer med styresystemet som følge af den store stratificering i lagerbeholderen, og det har været betvivlet, om fordelene ved stratificeringen opvejer ulemperne.

påvirkes, og hvad det betyder for styresystemet.

Den videre behandling af måledata.

EDB-programmerne til beregning af solvarmeanlæg har givet større ydelser end målingerne.

En del af forskellen ligger i den omstændighed, at solindfaldet i måleperioden har været mindre end i normalåret -

det større varmetab, specielt fra lagerbeholderen, og ved det lavere forbrug af varmt brugsvand end forudsat i beregningerne.

Det videre arbejde med sammenligning af de beregnede værdier og de målte skal først og fremmest føre frem til en forbedring af beregningsmodellerne, men vi vil også herudfra kunne kvantificere betydningen af de konstaterede svagheder ved det aktuelle anlæg i Gentofte.

9. Resume.

Solvarmeanlægget i Gentofte blev i foråret 1978 installeret i et parcelhus fra 1937. Solfangeren på 28 m^2 er monteret i det sydvendte tag, som har en hældning på 45°. Lagertanken på 2 m^3 er installeret i fyrrummet. Anlægget supplerer både rumopvarmning og varmt brugsvand.

I perioden november 1978 - oktober 1979 har solvarmeanlægget dækket 11,5 % af husets samlede varmeforbrug på 21660 kWh. Dette svarer til en ydelse på 89 kWh pr. m^2 solfanger. Selve solfangeren har ydet 200 kWh pr. m^2, dvs. der har været et tab på i alt 55 %, hvoraf hovedparten er tab fra lagertanken. Dette tab har vist sig at være over dobbelt så stort som det beregnede.

Kun en mindre del af anlæggets ydelse, i alt 589 kWh ud af 2507 kWh, er leveret til rumopvarmningen, hvilket specielt tilskrives det høje temperaturniveau, der kræves i radiatoranlægget samt det usædvanlig lave solindfald. Det målte solindfald på 947 kWh/m^2 er 22 % mindre end årsmiddelværdien af målinger i perioden 1959-1973 i Tåstrup.

En del af anlæggets styring er overladt til husets beboere ved betjening af manuelle ventiler. Det drejer sig typisk om omkobling af ventiler forår og efterår. Beboerne har vist stor interesse for anlægget, og disse omkoblinger har ikke voldt problemer.

I starten af juni var der driftstop af pumpen i solfangerkredsen, hvilket forårsagede overkogning af solfangervæske. Inden problemet var afhjulpet, var temperaturen i solfangeren steget til 129°C målt som middelværdi over en hel time. Derudover har der kun været driftsforstyrrelser, som direkte kan tilskrives måleudstyret.

10. Referencer.

(1) Solvarme, Vejledning i projektering og udførelse af anlæg. Teknologisk Institut, Varmeteknik, 1977.

(2) P. E. Kristensen, C. Nielsen og S. Svendsen: Rapport vedrørende prøvning af solfangere. Lab. for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole, januar 1978.

(3) Ove Jørgensen m. fl.: Solar Energy Applications for Dwellings, Modelling and Simulation Part. Commission of the European Communities. Juni 1979.

11. Projektorganisation.

Styregruppe

Handelsministeriet 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
L. Sønderskov Jørgensen, civilingeniør
Sv.E. Mikkelsen, civilingeniør
P.E. Kristensen, akademiingeniør (fra 11.2.80)
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 solvarmeanlæg.

Solfanger

Fabrikat: Dansk Solvarme K/S, type KP I (II), to lag glas.

Solfangeren består af 9 elementer, hvoraf en tredjedel af et element er et blindelement. En tegning af et element er vist på figur 13.

Areal: 28,1 m^2
Hældning: 45°
Orientering: stik syd
Antal dæklag: 2

Data for dæklag		Inderste		Yderste	
Brydningsindeks	n	1,526	1)	1,522	3)
Ekstinktionskoefficient	K mm^{-1}	0,0191	1)	0,0107	4)
Emissionskoefficient	ε	0,88	1)	0,84	5)
Transmissionskoef.	$\tau_r = \frac{2n}{1+n^2}$	0,917	2)	0,918	6)
"	$\tau_a = e^{-KL}$	0,926	2)	0,948	6)
"	$\tau = \tau_r \cdot \tau_a$	0,849	2)	0,855	7)
Afstand til absorber		16 mm	8)		

1) Standardværdier
2) Beregnet ud fra standardværdier
3) Målt på Optisk Laboratorium for bølgelængden λ = 0,580 µm
4) Beregnet ud fra brydningsindeks n og τ= 0,87 for bølgelængden λ = 0,580 µm
5) Målt på Lab. for Varmeisolering
6) Beregnet ud fra de målte værdier
7) Målt på Optisk Laboratorium som middelværdi over solspektrets tyngdepunkt. Produktet af $\tau_r \cdot \tau_a$ = 0,87, dvs. en af de målte værdier eller K må justeres. Hvis f.eks. n sættes til 1,587 bliver τ_r = 0,902, hvorefter produktet af $\tau_r \cdot \tau_a$ = 0,855.
8) Oplyst af Dansk Solvarme

Afstand mellem dæklag: 12 mm 9)

Absorber: To punktsvejste aluminiumsplader med mellemliggende rørrist.
Pladetykkelse (yderst/inderst): 1,0 mm/ 0,75 mm
Rørmateriale: Stål 42 9)
Rørdiametre (d_y/d_i): 16 mm/ 13 mm 9)
Absorberbelægning: Sort alkydmaling
Emissionskoefficient $\varepsilon = 0,87$ 10)
Absorptionskoefficient $\alpha = 0,96$ 10)

9) Oplyst af Dansk Solvarme
10) Målt på Lab. for Varmeisolering

Bagsideisolering: 75 mm mineraluld

Beregnede værdier (fra figur 37):

Solfangerens varmekapacitet:	285 MJ/°C
heraf væske:	127 "
Varmekapacitet af rør mellem solfanger og tank:	298 MJ/°C
heraf væske:	207 "
Varmetabskoef. for rør mellem solfanger og tank:	23 W/°C

Lagertank

Længde	1,85 m
Diameter	1,17 m
Volumen	2000 liter
Isolering	200 mm mineraluld
Varmekapacitet incl. stål (4 mm):	8,7 MJ/°C
Varmevekslereffektivitet	0,75 (svarer til 115 W/°C·m^2)

For- og eftervarmebeholder (kappebeholdere)

Volumen	200 liter
Isolering	80 mm mineraluld