Solvarmeanlæg til rumopvarmning

EN UDREDNING BASERET PÅ TO ÅRS MÅLINGER
PÅ ANLÆG I GREVE OG GENTOFTE

AF
SVEND ERIK MIKKELSEN
LEIF SØNDERSKOV JØRGENSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MEDDELELSE NR. 112
AUGUST 1981

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM. RAPPORT NR. 15

FORORD

Energiministeriets (tidligere Handelsministeriets) udviklings- og demonstrationsprogram for solvarme skal medvirke til udviklingen af solvarmeanlæg i Danmark.

Det er solvarmeprogrammets formål:

- at medvirke til at solvarmeanlæg udformes således, at der opnås størst muligt termisk udbytte, stor driftsikkerhed og lang levetid.

- for herigennem at bidrage til en udvikling inden for solvarmeområdet, der medfører, at solvarmeanlæg kan blive konkurrencedygtige og på længere sigt give et væsentligt bidrag til dækning af energiforbruget til opvarmning i Danmark.

Projektet ledes af Teknologisk Institut, Varmeteknik og udføres i samarbejde med Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. RESUME 1

2. BESKRIVELSE AF ANLÆGGENE 4

2.1 Anlægget i Greve 4
Projektets forløb 4
Beskrivelse af huset 6
Beskrivelse af varmeanlægget 8
Varmeanlæggets virkemåde 8
Rumopvarmning 8
Varmt brugsvand 12
Solfangeren 12
Lagerbeholderen 12
Solfangerkredsen 14

2.2 Anlægget i Gentofte 15
Projektets forløb 15
Beskrivelse af huset 16
Beskrivelse af varmeanlægget 18
Varmeanlæggets virkemåde 20
Rumopvarmning 20
Driftstilfælde 1 - kun solvarme 20
Driftstilfælde 2 - solvarme og oliefyr 23
Driftstilfælde 3 - kun oliefyr 23
Varmt brugsvand 23
Solfangeren 24
Lagerbeholderen 24
Solfangerkredsen 24

3. MÅLERESULTATER 27

3.1 Greve 30
Måneds- og årsværdier 30
Solfangerens effektivitet 30
Varmeforbrug og ydelse af solvarmeanlæg 31
Lagertemperatur 31
Varmetab fra lagerbeholderen 35
Solindfald 36
Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning 36

3.2 Gentofte 40
Måneds- og årsværdier 40
Solfangerens effektivitet 40
Varmeforbrug og ydelse af solvarmeanlæg 42
Lagertemperatur 42
Varmetab fra lagerbeholder 42
Solindfald 45
Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning 45

4. DRIFTSERFARINGER 47
Fejlfunktioner 47
Selvcirkulation i solfangerkredsen 47
Utætheder ved solfangeren 48
Udskiftning af glas 49
Kondens i solfangeren 50
Sne på solfangeren 51
Varmetab fra lagerbeholdere 51
Følerplacering i lagerbeholderen 51

5. BESKRIVELSE AF EDB-MODEL 53
5.1 Indledning 53
5.2 Beskrivelse af SVS-programmet 53
5.3 Beskrivelse af styreroutinen 54
5.4 Beregninger på opvarmningssystemet 54
Radiatorer 54
Gulvvarme 58
Bestemmelse af fremløbstemperaturen 58
5.5 Beskrivelse af solfangerroutinen 59
Beregning af solfangerens ydelse 60
Beregninger på rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder 61
Temperaturlagdeling i lagerbeholderen 62

6. VERIFIKATION AF EDB-MODEL 64
6.1 Indledning 64
6.2 Sammenligningsgrundlag 64
6.3 Ydelse og dækningsgrad 67

6.4 Driftstid af solfangeren 67
6.5 Varmetab fra rørsystemet 74
6.6 Sammenligninger med andre beregningsmodeller 78

7. ANALYSE AF ANLÆGGET I GREVE 81

7.1 Indledning 81
7.2 Energistrømme for anlægget i Greve 81
7.3 Beregninger udført i 1977 83
7.4 Beregning med ny EDB-model 86
Betydningen af solindfaldet 86
Betydningen af rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder 86
Betydningen af solfangerens effektivitet 88
Betydningen af lagerbeholderens placering 88
Betydningen af forbruget 88
Den samlede betydning 90
Betydningen af styringen af rumopvarmningen 90
7.5 Ydelsen af et forbedret anlæg 91

8. ANALYSE AF ANLÆGGET I GENTOFTE 92

8.1 Indledning 92
8.2 Energistrømme 93
8.3 Forbruget til rumopvarmning 93
8.4 Sammenligning af målinger og beregninger 97
Omkobling af radiatorreturen 99
Udnyttelse af alle radiatorer 99
Lagerbeholderens isolering 99
Radiatorstørrelsen 99
Fordelingen af forbruget til rumopvarmning 100
Forbruget til rumopvarmning 100
Ydelsen med forbedret solfanger 101
Konklusion 101

9. ANALYSE AF SOLVARMEANLÆG TIL RUMOPVARMNING OG VARMT BRUGSVAND TIL INDIVIDUELLE BOLIGER 103

9.1 Indledning 103

9.2 Mulighederne for umiddelbare forbedringer 103

9.3 Ydelsens afhængighed af solfangerareal og opvarmningssystemets dimensionering 103

Forudsætninger 104

Ydelse og dækningsgrad 105

Rørsystemets betydning 108

9.4 Solvarmeanlæg til rumopvarmning, opvarmningssystemer og regulering af varmeanlægget 110

Solvarmesystemer til rumopvarmning 110

Regulering af radiatoranlæg 113

Dimensionerende strømningsmængde 117

Regulering af gulvvarmeanlæg 118

9.5 Ydelsen for opvarmningssystemer med radiatorer og et solfangerareal på 25 m^2 118

Mængderegulering 119

Temperaturregulering 124

Sammenligning af mængde- og temperaturregulering 125

9.6 Betydningen af natsænkning og afbrydelse af en del af radiatorerne 126

Natsænkning 126

Afbrydelse af en del af radiatorerne 126

Betydning for ydelsen 128

Anbefalinger 132

9.7 Økonomisk optimal radiatordimensionering 137

Valg af anlægsstørrelse og systemløsning 140

Lavenergihus 144

9.8 Ydelsen for opvarmningssystemer med separat radiator til solvarme 146

Ydelsens afhængighed af den gennemstrømmende vandmængde 149

Ydelsens afhængighed af varmefladestørrelsen 152

Ydelsen i forhold til systemer uden separat radiator. 156

Anvendelsesområde 157

Ydelsen af anlægget i Gentofte med separat radiator til solvarme 158

9.9 Ydelsen for opvarmningssystemer med gulvvarmeslanger.. 161

Regulering af gulvvarmeanlæg 161

Systemløsning 162

Opvarmningsbehov og varmetab fra gulvet 164

Beregningsresultater 165

9.10 Parameteranalyse 168

Solfangerareal og forbrug til rumopvarmning 169

Forbruget til varmt brugsvand 172

Lagervolumen 174

Udnyttelse af varmetab fra lagerbeholder og rør-systemer 174

Lagerbeholderens isolering 176

Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder samt solfangerens varmekapacitet 177

Solfangerens effektivitet 180

Solindfaldet 180

Radiatoreksponenten 182

Gennemstrømmende væskemængde og varmevekslerstørrelse. 183

Start- og stopdifferencen 185

9.11 Teoretisk optimal styring af fremløbstemperaturen 190

10. AFSLUTNING 193

10.1 De målte ydelser 193

10.2 Anlægget i Greve 193

10.3 Anlægget i Gentofte 194

10.4 Solvarmeanlæg til rumopvarmning 195

Konstant fremløbstemperatur 195

Separat radiator til solvarme 196

Gulvvarme 196

Anvendelse af natsænkning 196

Anlægsstørrelse 197

Nye systemer 198

11. KONKLUSION 199

12. REFERENCER 201

13. SUMMARY 203

14. ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM 206

14.1 Projektorganisation 206
Styregruppe 206
Projektmedarbejdere 206
Adresser 207

14.2 Oversigt over udkomne rapporter 208

BILAG I DATA FOR SOLVARMEANLÆG I GREVE 210

BILAG II DATA FOR SOLVARMEANLÆG I GENTOFTE 212

BILAG III DATA FOR REFERENCEANLÆG 214

BILAG IV VEJRDATA 217

1. RESUME

Denne rapport er slutrapport vedrørende to års målinger på solvarmeanlæggene i Greve og Gentofte. Begge anlæg er demonstrationsprojekter under Energiministeriets (tidligere Handelsministeriets) solvarmeprogram.

I rapporten beskrives de to huse og solvarmeanlæggene, som begge benyttes til både rumopvarmning og varmt brugsvand. Desuden gennemgås varmeanlæggene, samt hvorledes varmeafgivelsen styres.

De to års målinger er angivet som månedsværdier. Ud fra målingerne er de to solfangeres effektivitetskurver optegnet. Resultatet af denne undersøgelse er, at solfangerne har fungeret tilfredsstillende, omend effektivitetskurverne ligger en hel del under kurverne for de solfangere, der benyttes i dag. Ligeledes på grundlag af målingerne er varmetabet fra de to lagerbeholdere bestemt. Endelig er den sparede energimængde for de to anlæg beregnet.

Det omfattende måleprogram og den jævnlige besigtigelse af anlæggene har givet en lang række erfaringer. En del af disse er samlet i afsnittet "driftserfaringer", mens andre bliver omtalt andetsteds i forbindelse med en gennemgang af specielle forhold eller som resultat af delundersøgelser. Erfaringerne er løbende blevet udnyttet, dels som grundlag for vejledning og information vedrørende solvarmeanlæg, dels i forbindelse med andre projekter under Energiministeriets solvarmeprogram.

Ud fra det ved Laboratoriet for Varmeisolering eksisterende EDB-program til beregning af solvarmeanlæg er der blevet udviklet en EDB-model til simulering af de to anlæg. Modellen er kontrolleret ved hjælp af målingerne, hovedsageligt fra anlægget i Greve, idet systemløsningen, der er anvendt her, har vist sig mest hensigtsmæssig. Efter en udbygning af

modellen, bl.a. med delprogrammer, som mere detaljeret simulerer varmeanlægget, er der opnået god overensstemmelse mellem de beregnede og målte værdier, både hvad angår anlægsydelse, dækning med solvarme, varmetab og driftstid for solfangeren.

EDB-modellen er benyttet til en analyse af de to anlæg. For anlægget i Greve vises betydningen af de ændringer i beregningsforudsætningerne, herunder anlægsdata, vejrdata og forbrug, som er sket siden anlægsydelsen blev beregnet i forbindelse med projekteringen. Med hensyn til anlægget i Gentofte viser analysen, at anlægget har fungeret som et overdimensioneret brugsvandsanlæg.

Ved hjælp af EDB-modellen er der foretaget en generel analyse af solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Beregningerne viser, at ydelsen af solvarmeanlæg til rumopvarmning er mere afhængig af opvarmningssystemet end tidligere antaget, hvor det ofte blev nævnt, at hvis opvarmningen kunne klares med en lav fremløbstemperatur, var den høje ydelse sikret. Der er derfor i rapporten foretaget en omfattende analyse af forskellige solvarmesystemer og opvarmningssystemer.

I beregningerne undersøges forskellige løsningsmuligheders følsomhed over for forbrugsmønster (herunder natsænkning og delvis opvarmning af huset), radiatordimensionering, regulering af varmeanlægget mv. Det har været hensigten at afgrænse de systemer, der er enkle, lette at projektere og med en høj ydelse, der er relativt uafhængig af forbrugsmønstret og mindre projekteringsfejl. Systemerne må desuden ikke forudsætte et kompliceret og dyrt styresystem, der dels kan installeres forkert, dels fungere forkert, og som det kan være vanskeligt for brugeren at forstå og indstille korrekt. Som et resultat af undersøgelserne peges der på to systemløsninger, der lever op til de nævnte krav.

Der er endvidere foretaget en analyse af den økonomisk optimale radiatordimensionering (varmefladestørrelse, dimensionerende afkøling). Ud over dette er der ikke foretaget beregninger vedrørende økonomi, men rapporten fremlægger et talmateriale, der vil være et godt udgangspunkt for sådanne beregninger.

Projektets medarbejdere vil gerne her takke de to huses beboere for deres interesse og samarbejde, der har været af stor betydning for gennemførelsen af de to delprojekter.

2. BESKRIVELSE AF ANLÆGGENE

2.1 Anlægget i Greve

Projektets forløb

I det følgende gennemgås projektet i Greve fra starten på første møde i styregruppen (se kap. 14) til måleperiodens afslutning pr. 31. august 1980:

februar	1977	Efter første møde i styregruppen påbegyndes udvælgelsen af egnede demonstrationsprojekter, herunder et nyt endnu ikke projekteret hus, hvor solvarmeanlægget skal benyttes til både rumopvarmning og varmt brugsvand.
april	1977	Der var til andet møde i styregruppen kun fremkommet fem emner. Det blev derfor besluttet at sende et rundspørge til typehusfabrikantforeningens medlemmer for at indhente flere emner.
juni	1977	Typehusfirmaet NYBOE-huset A/S tilbyder huset i Greve som mulighed for installation af solvarmeanlæg. Da huset endnu ikke er bygget ændres typehusprojektet lidt for at gøre huset bedre egnet til at udnytte solvarme.
oktober	1977	Huset bygges. Solvarmeanlægget er færdigprojekteret af ingeniørfirmaet J.C. Strunge Jensen APS og udbydes i licitation.

november	1977	Ved licitationen over solfangeren indkom tilbud fra 47.900 kr. til 56.600 kr. for ca. 50 m^2 solfanger. Da der på dette tidspunkt ikke var grundlag for at sammenholde pris og solfangereffektivitet, blev det billigste tilbud accepteret. Prisen for hele solvarmeanlægget uden målesystem blev 104.000 kr. excl. moms.
januar	1978	Solvarmeanlægget installeres.
febr-marts	1978	Måleudstyret monteres.
marts	1978	Anlægget afleveres, og den projekterende ingeniør udfærdiger mangelliste.
april-juni	1978	Indkøring af måleudstyr.
september	1978	Målingerne påbegyndes midt i juli, men da der ikke er varmeforbrug før den 1. september, regnes den egentlige måleperiode fra denne dato.
juli	1980	Årsrapport for perioden 1. september 1978 - 31. august 1979, se ref. 1.
august	1980	Måleperioden slutter pr. 31. august.

Et solvarmeanlæg på 50 m^2 er et forholdsvis stort anlæg til et parcelhus. Begrundelsen for at vælge så stort et areal ligger i, at der i to andre anlæg til parcelhuse skulle installeres solfangere på 10 m^2 og 30 m^2. Da man ønskede at variere anlægsstørrelsen mest muligt, blev det bestemt, at der i anlægget i Greve skulle installeres en solfanger på 50 m^2.

Beskrivelse af huset

Huset er beliggende i et nyere villakvarter i Greve. Det var ubeboet indtil 1. april 1979, hvor en familie bestående af 2 voksne og 2 børn på 9 og 11 år flyttede ind. Huset, der er på 125 m^2 bebygget areal, blev opført af typehusfirmaet NYBOE-huset A/S i efteråret 1977. Fig. 2.1 viser et billede af huset med det færdige solvarmeanlæg og fig. 2.2 et lodret snit gennem solfanger og lagerbeholder. Da det allerede under projekteringen blev bestemt, at huset skulle være måleobjekt under delprojektet "demonstrationsanlæg", var der mulighed for at foretage ændringer af hensyn til indpasningen af solvarmeanlægget. Det oprindelige projekt blev således ændret på en del punkter.

I det oprindelige projekt var taget et sadeltag med en hældning på 27° fra vandret. Da solfangeren skulle indbygges i den sydvestvendte tagflade, var det ønskeligt at få en større hældning. Den eneste alternativ var en 38°'s hældning hvilket blev benyttet i typehusfirmaets 1½-plans huse. Det blev derfor besluttet at bruge 38°'s taghældning. Det var desuden ønskeligt at ændre orienteringen, så solfangeren blev sydvendt, men dette ville medføre en urimelig placering af huset i forhold til grundens orientering.

For at udnytte solvarmeanlægget bedst muligt var det ønskeligt, at varmeanlægget blev dimensioneret for så lav en fremløbstemperatur som muligt. Det blev derfor foreslået at installere et gulvvarmeanlæg, men dette var typehusfirmaet ikke interesseret i, dels fordi man forudså konstruktionsproblemer på grund af manglende erfaring, dels fordi det ville medføre større ændringer i typehusprojektet. Det blev herefter besluttet i stedet for at dimensionere radiatoranlægget til en fremløbstemperatur på $60^{\circ}C$.

Det dimensionerende transmissionstab er beregnet til 4,3 kW, hvilket lige netop opfylder isoleringskravene i Bygningsreglement 1977 (BR77). Husets samlede dimensionerende varmetab (uden hensyntagen til at der er varme-

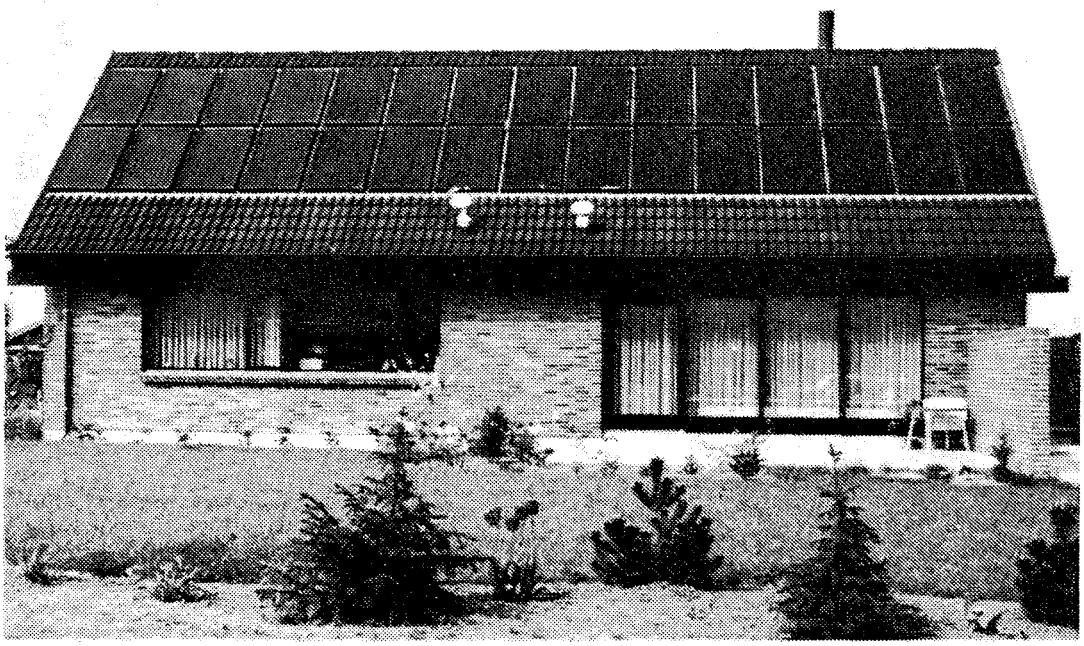


Fig. 2.1 Foto af huset i Greve

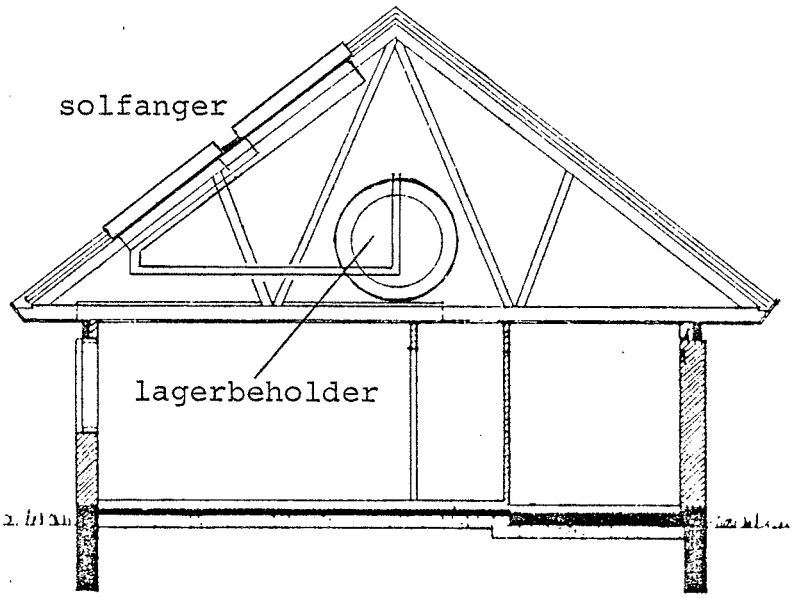


Fig. 2.2 Lodret snit gennem solfanger og lagerbeholder.

genvinding på ventilationsluften) er beregnet til 5,8 kW.

En nærmere beskrivelse af huset fremgår af ref. 1.

Beskrivelse af varmeanlægget

Et principdiagram af husets varmeanlæg er vist på fig. 2.3.

Husets varmebehov dækkes dels af solvarmeanlægget, dels af en oliefyret kedelunit med indbygget varmtvandsbeholder. I kedeluniten er indbygget cirkulationspumpe til radiatorkredsen, samt en fire-vejs motorstyret shuntventil.

På fig. 2.4 er vist en isometri af varmeanlægget excl. radiatorsystem og sikkerhedsventiler. Størstedelen af solvarmeanlægget (fordeler- og samlerør for solfanger, primærkreds og lagerbeholder) ligger i det uopvarmede tagrum. Resten af anlægget er placeret i bryggerset.

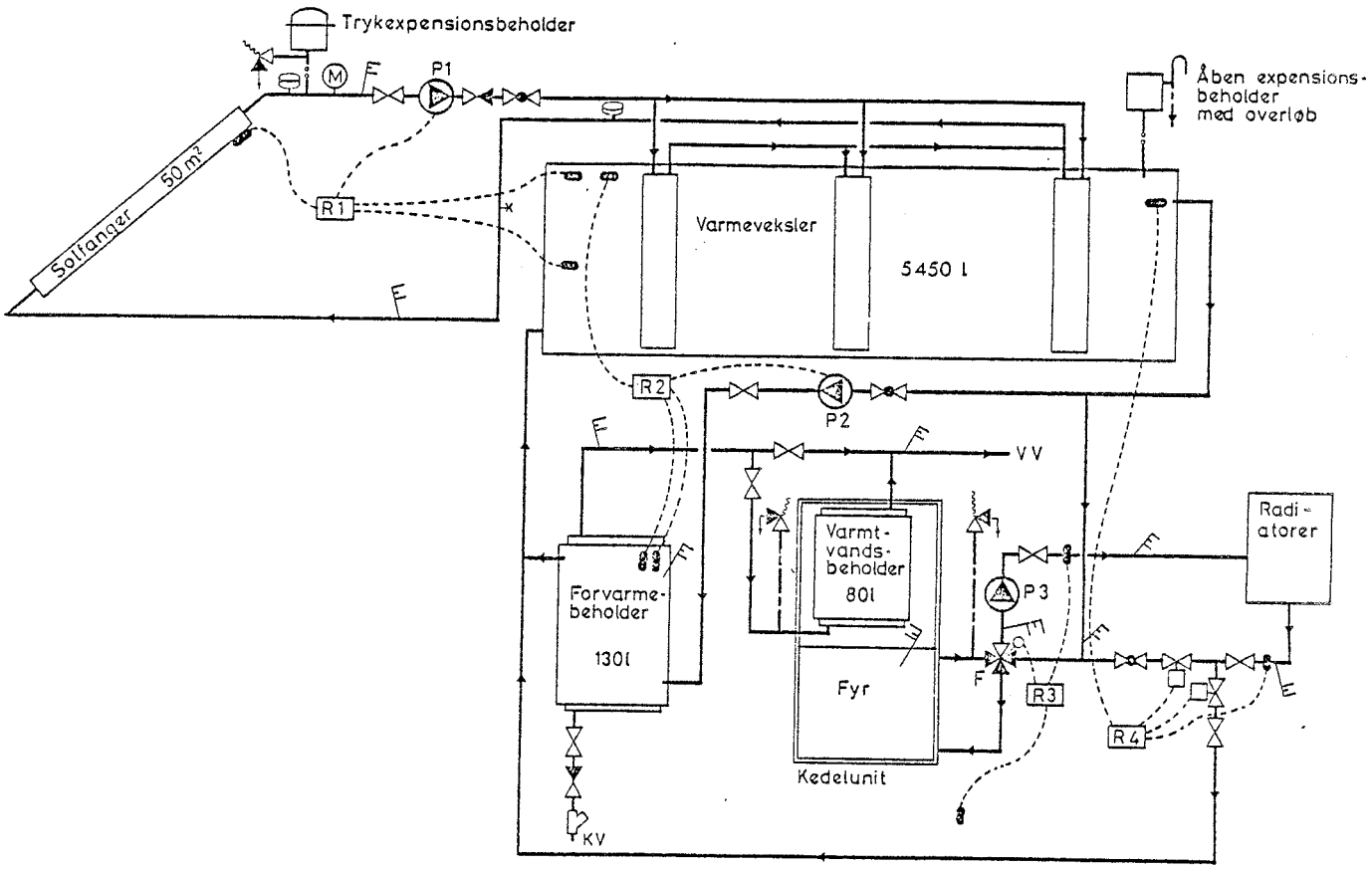
I bilag I er anført data for anlægget.

Varmeanlæggets virkemåde

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

Rumopvarmning

Rumopvarmningsbehovet dækkes via et radiatorsystem, der som nævnt er dimensioneret for en fremløbstemperatur på 60°C og en returtemperatur på 40°C. Der er desuden gulvvarme i de to baderum. Radiatorerne er alle forsynet med termostatventiler. Der er installeret ventilationsanlæg med varmegenvinding på afkastluften (VMC Genvex).



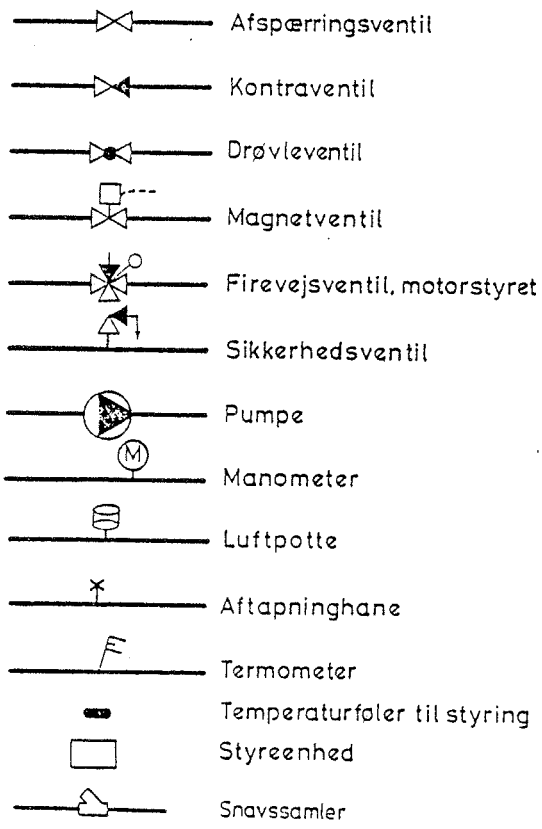


Fig. 2.3

Principdiagram over varmeanlægget i Greve.

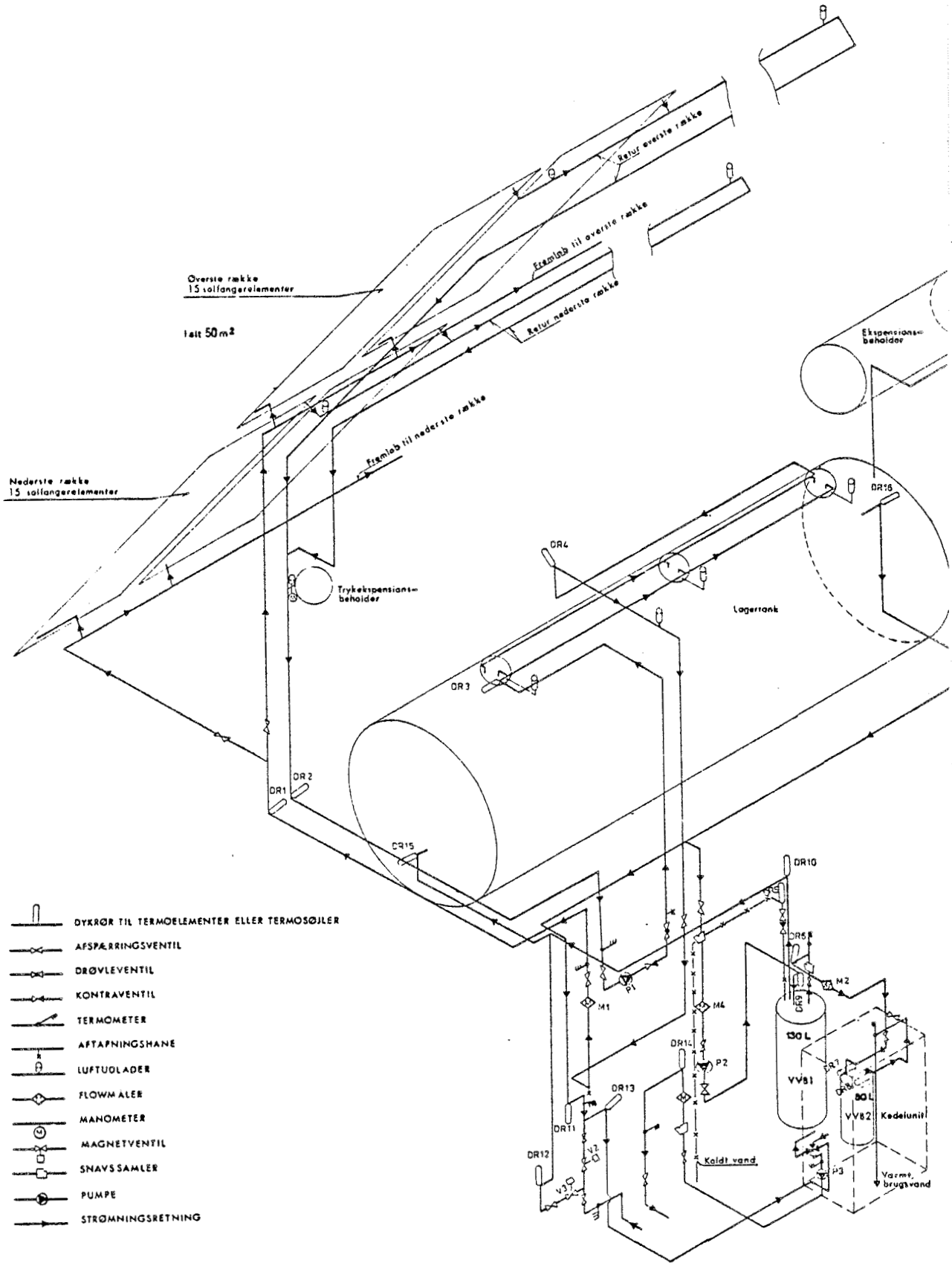


Fig. 2.4 Isometri af varmeanlæg, Greve.

Fremløbstemperaturen til radiatorerne afpasses efter udetemperaturen. Den ønskede fremløbstemperatur fås ved opblanding af returvand og kedelvand i firevejs-ventilen (F på fig.2.3). Denne er forsynet med motordrev og styres via udekompenseringsudstyret R3. Dette har tilkoblet to følere, en til registrering af fremløbstemperaturen og en til registrering af udetemperaturen. Til R3 er tilkoblet et uge- og døgnur. Herved er det muligt at sænke fremløbstemperaturen yderligere i nattetimerne og i de timer om dagen, hvor huset er tomt. Uge-uret gør det muligt at ændre denne funktion i weekenden. Fremløbstemperaturen varierer lineært inden for grænserne fra 60°C til 30°C svarende til udetemperaturerne -12°C til 20°C.

Firevejs-ventilens funktion med hensyn til opblanding af kedel- og returvand kunne klares af en tre-vejsventil. At anlægget er forsynet med en fire-vejsventil har til formål at beskytte kedlens bund mod tæring. I ventilen opblandes det ofte ret kolde returvand med varmt vand, før det ledes ind i kedlen.

Hvis temperaturen af returvandet fra radiatorerne er lavere end temperaturen i toppen af lagerbeholderen, ledes det gennem denne og modtager en forvarmning, førend det ledes ind i kedlen, se fig.2.3. Hvis forvarmning ikke er mulig, ledes vandet direkte til kedlen. Omkobling sker via to magnetventiler. Disse styres af et differensrelæ, R4, med én føler på radiatorreturen og én i toppen af lagerbeholderen.

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

Varmt brugsvand

Det kolde brugsvand løber først gennem forvarmebeholderen (VVB1 på fig. 2.4), der står i et kabinet ved siden af kedeluniten. Denne beholder på 130 liter er opvarmet med solvarme via en varmeveksler. Pumpen (P2) mellem lagerbeholderen og varmeveksleren styres af et differensrelæ (R2 på fig. 2.3). Hvis temperaturen i forvarmebeholderen overstiger en indstillet værdi (ønsket brugsvandstemperatur), vil pumpen dog ikke starte.

Kan solvarmeanlægget ikke dække hele forbruget, må brugsvandet eftervarmes i varmtvandsbeholderen (VVB2 på fig.2.4). Om sommeren, når fyret er slukket, kobles VVB2 ud ved hjælp af manuelle afspærringsventiler, så brugsvandet ledes direkte til tapstederne.

Solfangeren

Solfangeren er opbygget af præfabrikerede elementer, se fig. 2.5, oplagt på lægterne og indbygget i den syd-vestvendte tagflade. Der er oplagt ialt 30 elementer i to rækker. Det samlede transparente areal er 50,3 m^2.

Absorberen består af stål med integrerede væskekanaler. Den er sortmalet og afdækket med to lag glas. Bagtil er den isoleret med 30 mm mineraluld.

For en mere detaljeret beskrivelse af solfangeren henvises til ref. 1.

Lagerbeholderen

Lagerbeholderen i tagrummet er udført som en cylinderformet ståltank. Den er 5 m lang og godt 1 m i diameter, voluminet er 5450 liter. Fig. 2.6 viser en tegning af lagerbeholderen. Beholderens samlede varmekapacitet er beregnet til 22,9 MJ/^{o}C ved 40 ^{o}C.

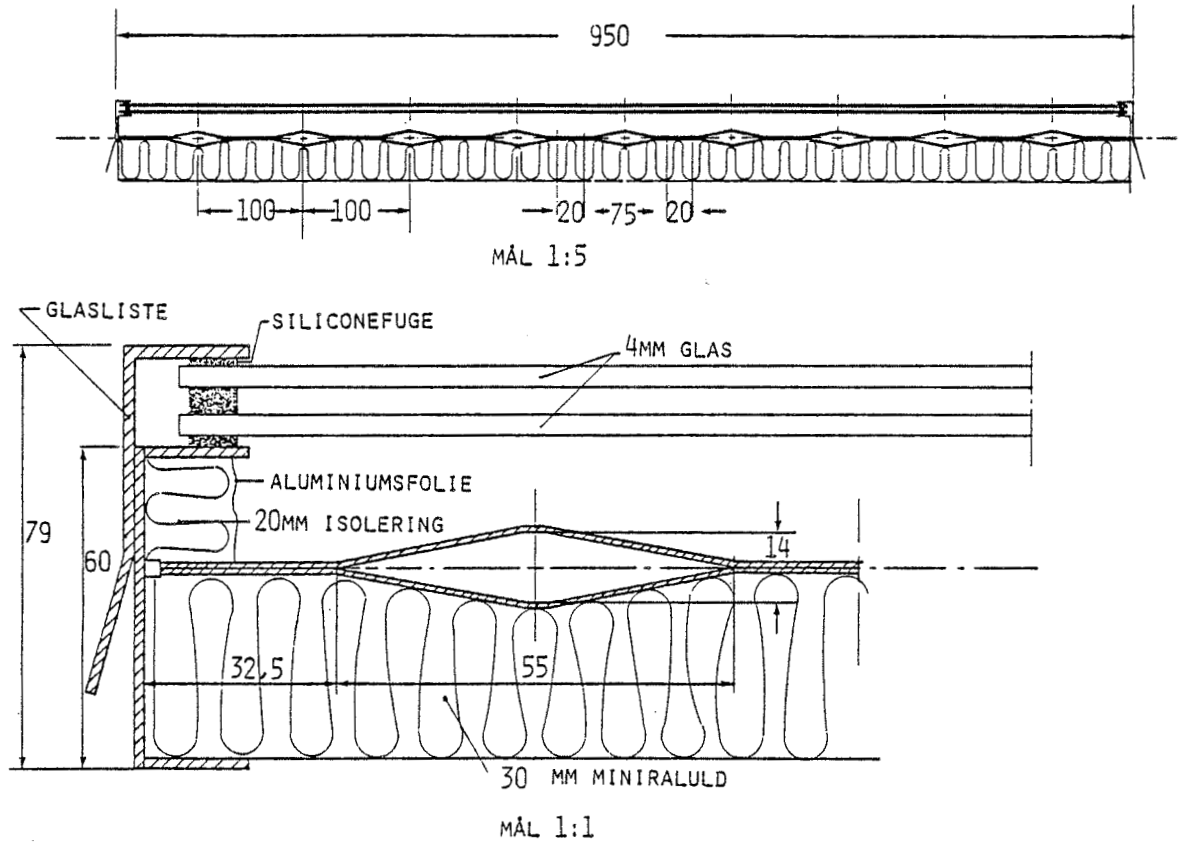


Fig. 2.5 Solfangerelement, Greve, mål i mm.

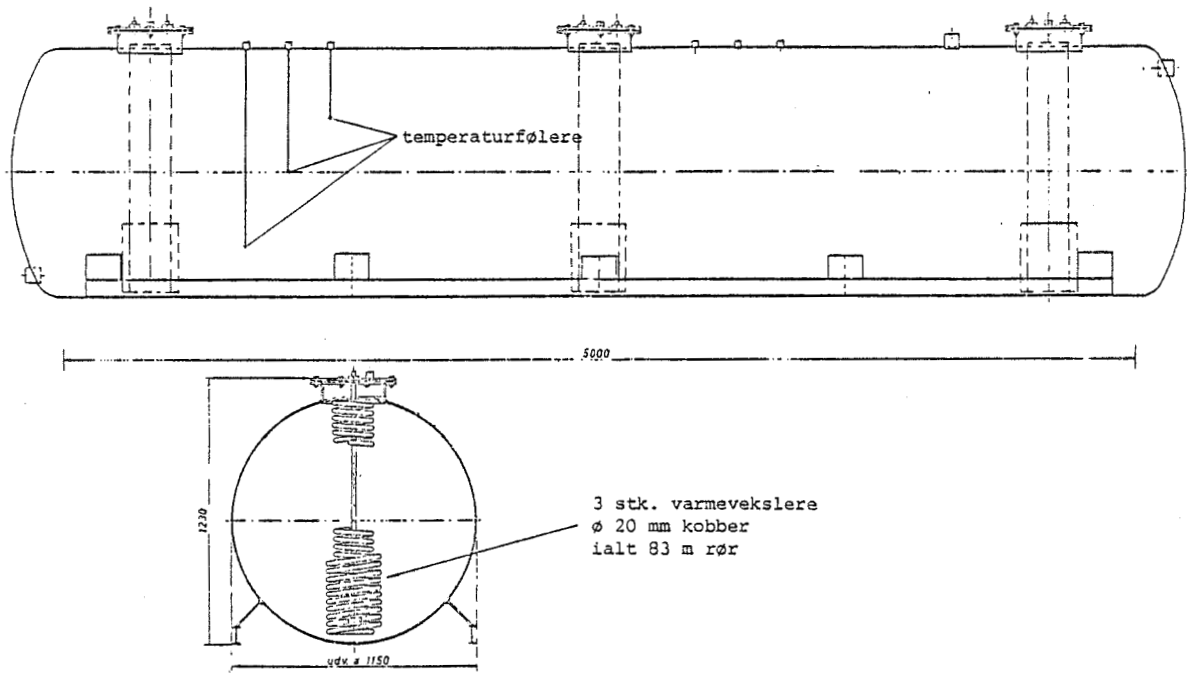


Fig. 2.6 Lagerbeholderen i Greve. Isoleringen, 200 mm mineraluld, er ikke vist.

Varmen fra solfangeren afleveres til lagerbeholderen via 3 kobbervarmevekslere anbragt lodret i beholderen i hele højden. Varmeovergangskoefficienten k ($W/^{o}C$ pr. m^2 solfanger) kan for lagertemperaturer over $20^{o}C$ med tilnærmelse beregnes af ligningen $k = 27 + 0,42 \cdot t$, hvor t er lagertemperaturen i ^{o}C. Dette udtryk er udledt på grundlag af målingerne og er lidt højere (ca. 5%) end den ud fra varmevekslerens geometri beregnede værdi. For lagertemperaturer under $20^{o}C$ giver ligningen lidt for høje værdier. Med en middeltemperatur i solfangerens drifttid på ca. $45^{o}C$ fås $k = 46\ W/^{o}C \cdot m^2$. Dette svarer til en varmevekslereffektivitet på 0,51 ved en strømningshastighed på 1,0 ℓ/minut pr. m^2 solfanger. De tre varmevekslere er forbundet parallelt.

Lagerbeholderen er isoleret med 200 mm mineraluld. Den er frostsikret med et elvarmelegeme på 200 W, anbragt i toppen. Varmelegemet er termostatstyret og holder lagertemperaturen på minimum ca. $4^{o}C$.

Solfangerkredsen

Kredsen udgør et system med lukket ekspansion. Der er frostsikret ned til $-20^{o}C$ med ethylenglucol.

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

Der sikres mod for høje temperaturer i lageret på følgende måde: Hvis temperaturen i toppen af lageret overstiger en på et relæ indstillet værdi ($88^{o}C$), kører pumpen uanset temperaturforholdene iøvrigt. Hvis temperaturen i lageret efter en solrig dag har overskredet $88^{o}C$, bliver tanken således kølet ned til $88^{o}C$ igen den følgende nat. Der er herefter igen "plads" til endnu en solrig dag uden risiko for kogning i solfanger eller lager.

2.2 Anlægget i Gentofte

Projektets forløb

I nedenstående tidstabel er projektet i Gentofte gennemgået fra starten i februar 1977 til målingerne afsluttes pr. 31. oktober 1980:

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. Kontraventil og pumpe i solfangerkreds udskiftes.
november	1978	I de første tre måneder af måleperioden er der ofte udfald af måleudstyret. Det første måleår regnes derfor fra 1. november 1978.
februar	1980	Årsrapport for perioden 1. november 1978 - 31. oktober 1979, (ref. 2).
september	1980	Oliefyrets brænder udskiftes, hvorved skorstenstabet halveres - nu kun godt 10%.
oktober	1980	Måleperioden afsluttes pr. 31. oktober.

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

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.

Beskrivelse af huset

Huset er beliggende på en villavej i Gentofte. Det er opført i 1937 og er typisk for den tids byggeri. Fig. 2.7 viser

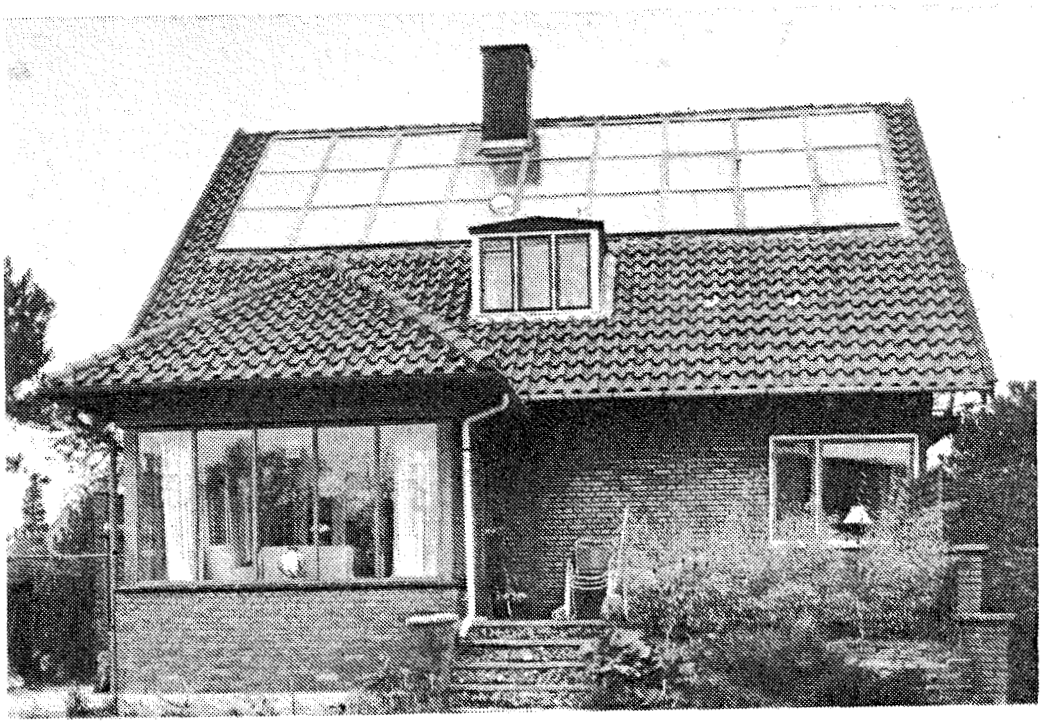


Fig. 2.7 Foto af huset i Gentofte.

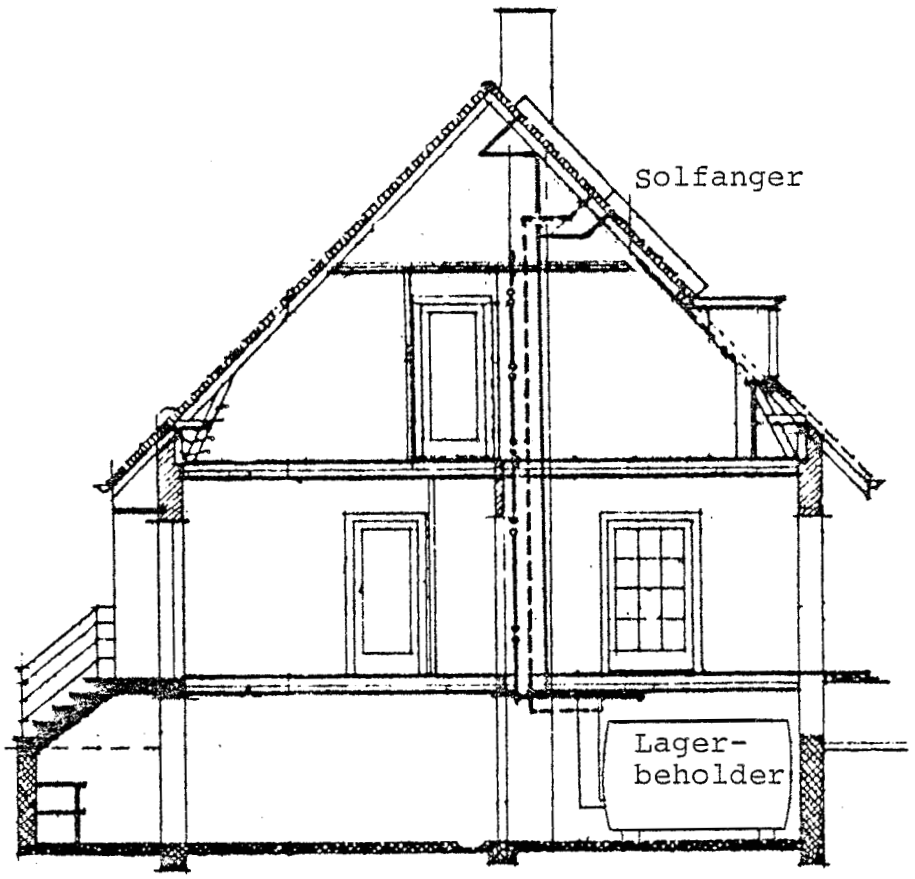


Fig. 2.8 Lodret snit gennem solfanger og lagerbeholder.

huset med det færdige solvarmeanlæg. Fig. 2.8. viser et lodret snit af huset. Solfangeren er placeret højt på taget, terrænet foran solfangeren skråner nedad, så der ikke er noget der skygger for solfangeren.

Huset er opført med fuld kælder og udnyttet tagetage. Bebygget areal er på 90 m^2 excl. garage og veranda. Bruttoetagearealet (incl. ydervægge) er 249 m^2. 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 lofter med 100 mm. Det totale vinduesareal (excl. veranda) er på 32 m^2. Vinduer i kælderen har et lag glas. Alle andre vinduer til opvarmede rum har to enkelte lag glas.

Garage, hele kælderen med undtagelse af strygerum, veranda i stueplan og pulterrum i tagetagen er ikke opvarmet. Et kontor i stueetagen opvarmes kun lejlighedsvis.

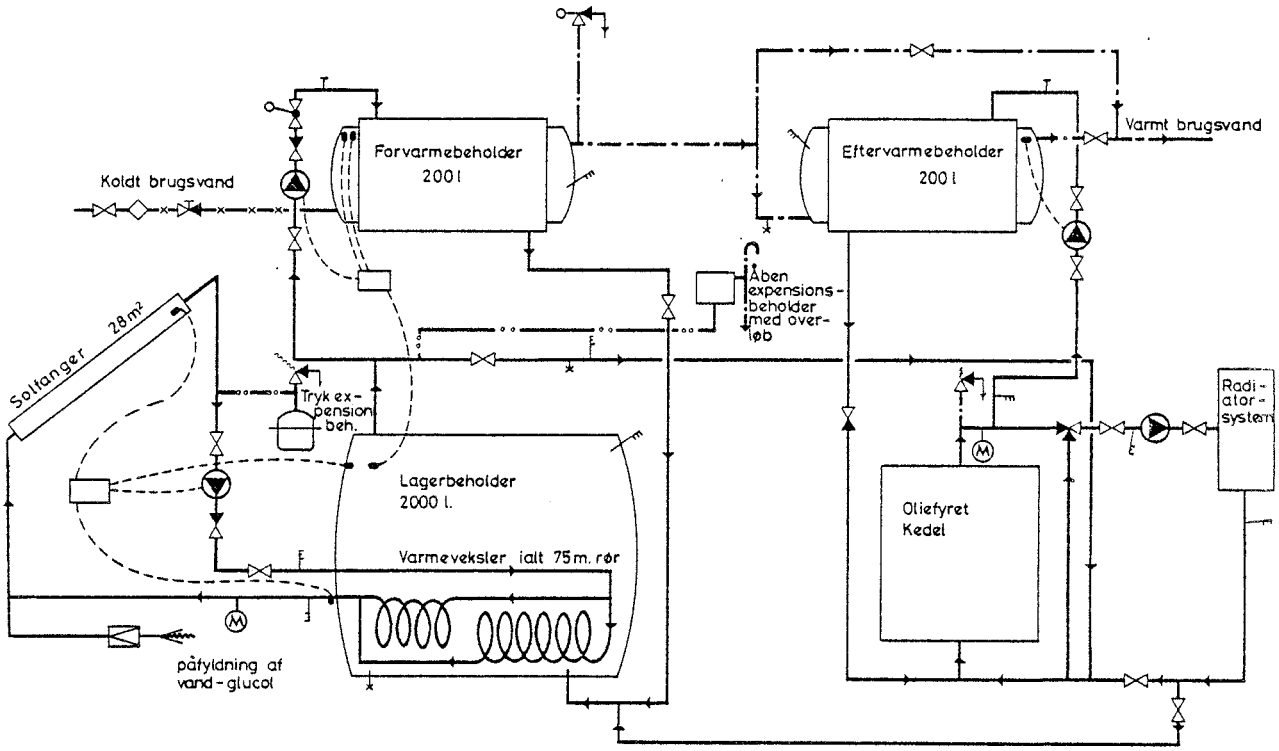
Husets dimensionerende varmetab er udfra målinger beregnet til ca. 11 kW.

Huset beboes af en familie på 4, 2 voksne og 2 børn på 9 og 3 år (1980).

Beskrivelse af varmeanlægget

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.

I det nuværende anlæg leverer solvarmeanlægget varme til både rumopvarmning og varmt brugsvand. På fig. 2.9 er vist et principdiagram over anlægget. Der er på figuren kun vist det armatur, der ville være, hvis der ikke skulle foretages må-



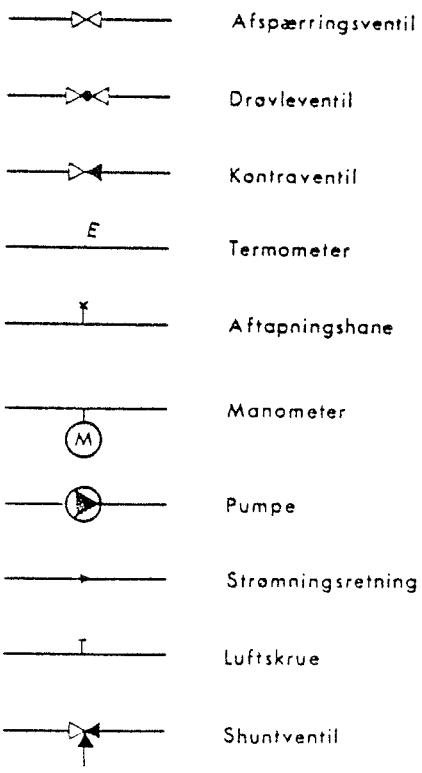


Fig. 2.9

Principdiagram over anlægget i Gentofte.

linger 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.

Fig. 2.10 viser anlæggets rumlige opbygning. 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.

I bilag II er anført data for anlægget.

Varmeanlæggets virkemåde

Den væsentligste forskel i forhold til anlægget i Greve er, at styringen af radiatorreturen sker ved hjælp af manuelle ventiler. Dvs. ejeren skal ud fra temperaturforholdene afgøre om solvarmeanlægget kan levere varme til rumopvarmningen og i givet fald koble om, så returen fra radiatorerne ledes igennem lagerbeholderen. Det var tanken, at denne omkobling skulle foretages to gange om året, forår og efterår. Derved ville oliefyret i kortere perioder komme til at levere varme til lagertanken. Husets beboere har dog, i et forsøg på at udnytte anlægget bedst muligt, koblet om noget oftere.

Rumopvarmning

Med hensyn til rumopvarmning er der tre driftstilfælde (se fig. 2.11).

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.

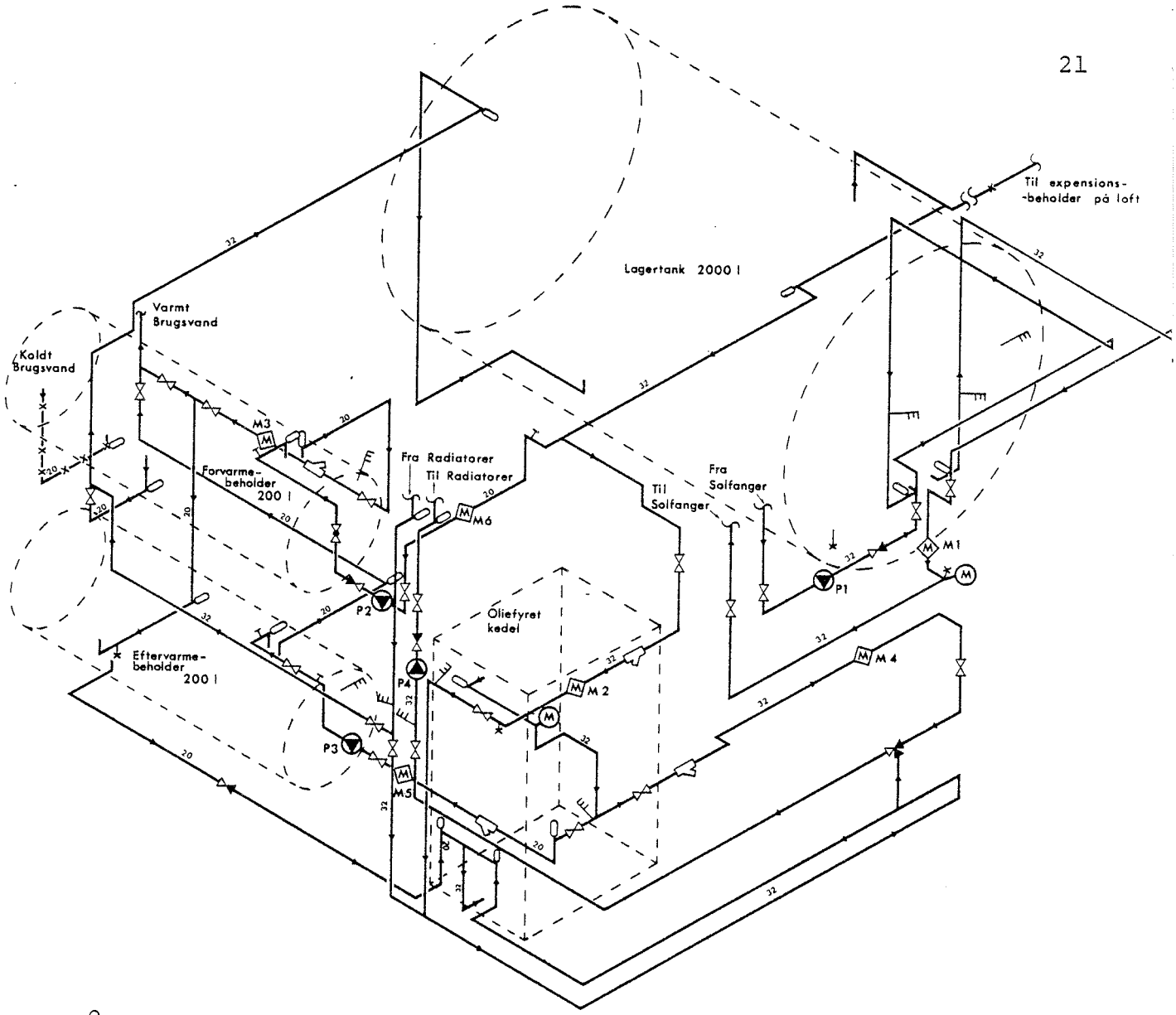
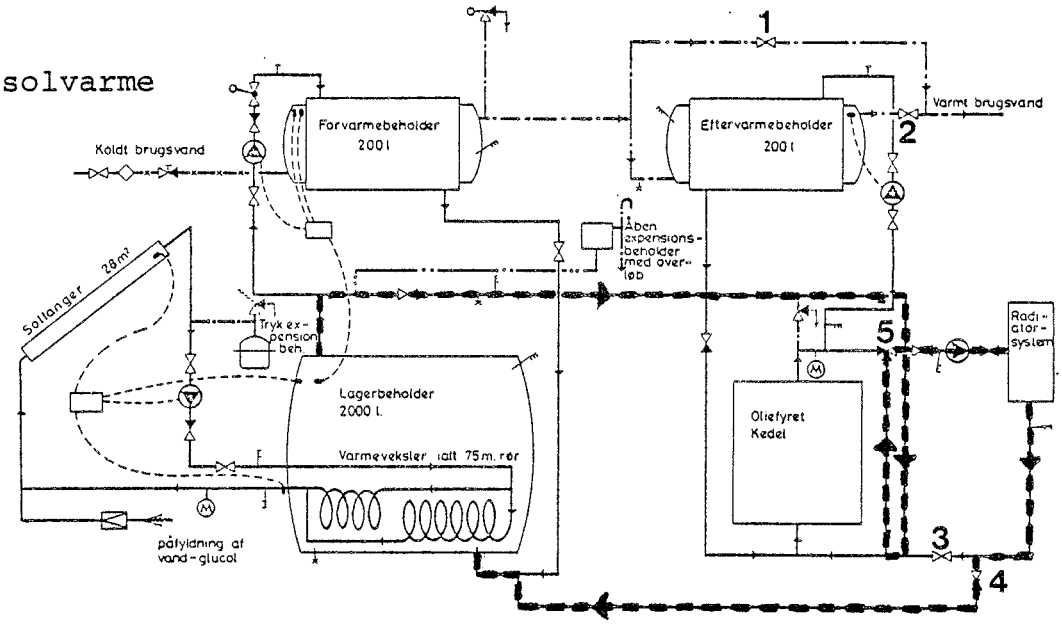
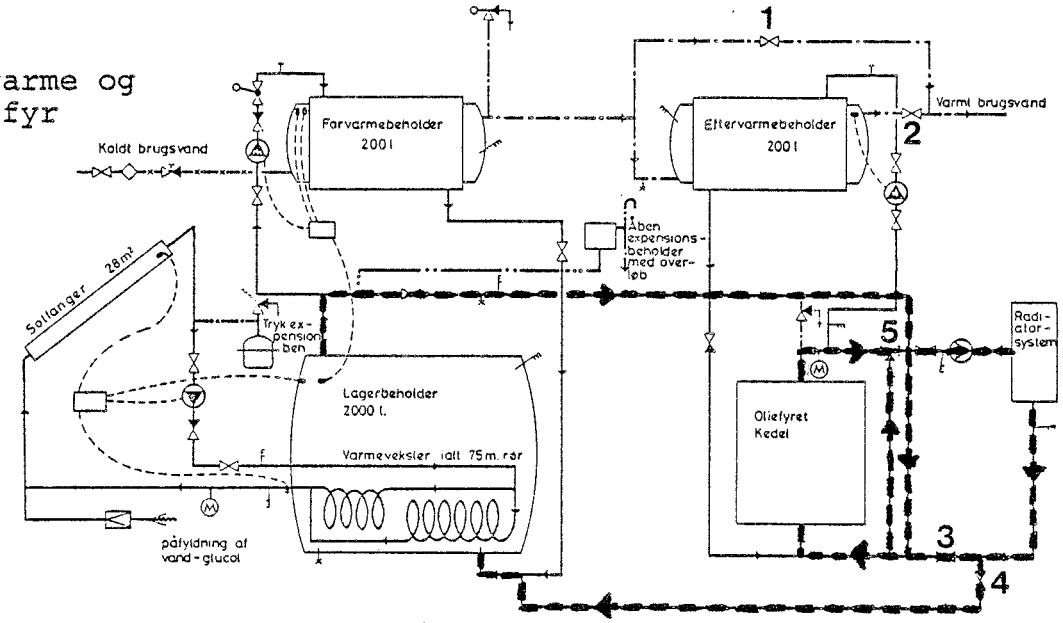


Fig. 2.10 Isometri af varmeanlæg, Gentofte.

1. Kun solvarme



2. Solvarme og oliefyr



3. Kun oliefyr

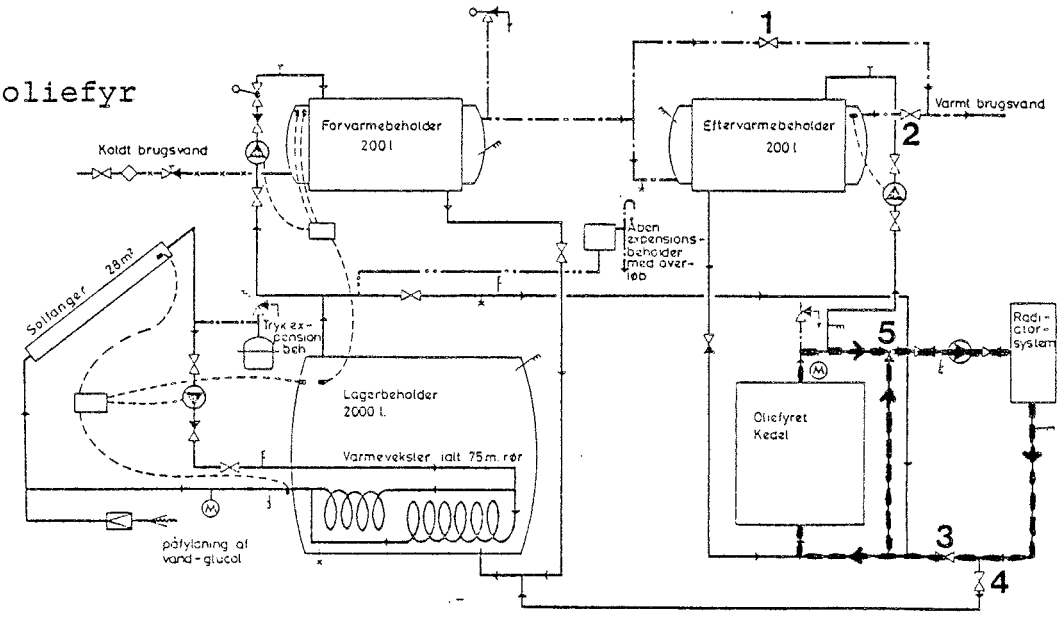


Fig. 2.11 Rumopvarmning, Gentofte. 3 driftstilfælde.

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 som nævnt af og til opvarme lagerbeholderen.

Driftstilfælde 3 - kun oliefyr

Når returtemperaturen over en periode er konstateret højere end temperaturen i lagerbeholderen, lukkes ventil 4 og ventil 3 åbnes. Rumopvarmningen foregår nu udelukkende med oliefyret.

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

Varmt brugsvand

Den ene af de to varmtvandsbeholdere, forvarmebeholderen, opvarmes hele året af vand fra lagerbeholderen. Om sommeren er temperaturen her som regel tilstrækkelig høj til at brugsvandet kan ledes direkte herfra til tapstederne. Den øvrige del af året ledes brugsvandet gennem den anden varmtvandsbeholder, eftervarmebeholderen, som opvarmes af oliefyret. Begge beholdere er kappebeholdere.

Styring af pumpen mellem lager og forvarmebeholder sker som beskrevet for anlægget i Greve. Udkobling af efter-varmebeholder sker ligeledes manuelt ved hjælp af to af-spærringsventiler.

Solfangeren

Solfangeren, der er på 28,1 m^2 transparent glasareal, er indbygget i taget. Hældningen er 45° og orienteringen stik syd. En tegning af et solfangerelement er vist på fig. 2.12.

Absorberen består af to punktsvejsede aluminiumsplader med mellemliggende rørrist. Den yderste plade er anbragt i et spor i trærammen. Absorberen er sortmalet og afdækket med to lag glas. Bagtil er isoleret med 75 mm mineraluld.

I årsrapporten (ref. 2) er solfangeren beskrevet mere de-taljeret.

Lagerbeholderen

Lagerbeholderen på 2 m^3 er installeret i fyrrummet. Den er udført af stålplader svejset op på stedet, idet det ellers ikke var muligt at få den ind i rummet. Fig. 2.13 viser en tegning af lagerbeholderen.

Beholderen er isoleret med 200 mm mineraluld. Det har sene-re vist sig, at isoleringsarbejdet - bl.a. på grund af den knebne plads - er mangelfuldt udført. Da der desuden er en del kuldebroer, svarer den faktiske isoleringsevne kun til ca. 4 cm effektiv isolering med mineraluld. Vedrørende be-tydning af kuldebroer henvises til årsrapporten, ref. 2.

Solfangerkredsen

Kredsen er et lukket system, frostsikret ned til ca. -15°C med ethylenglucol.

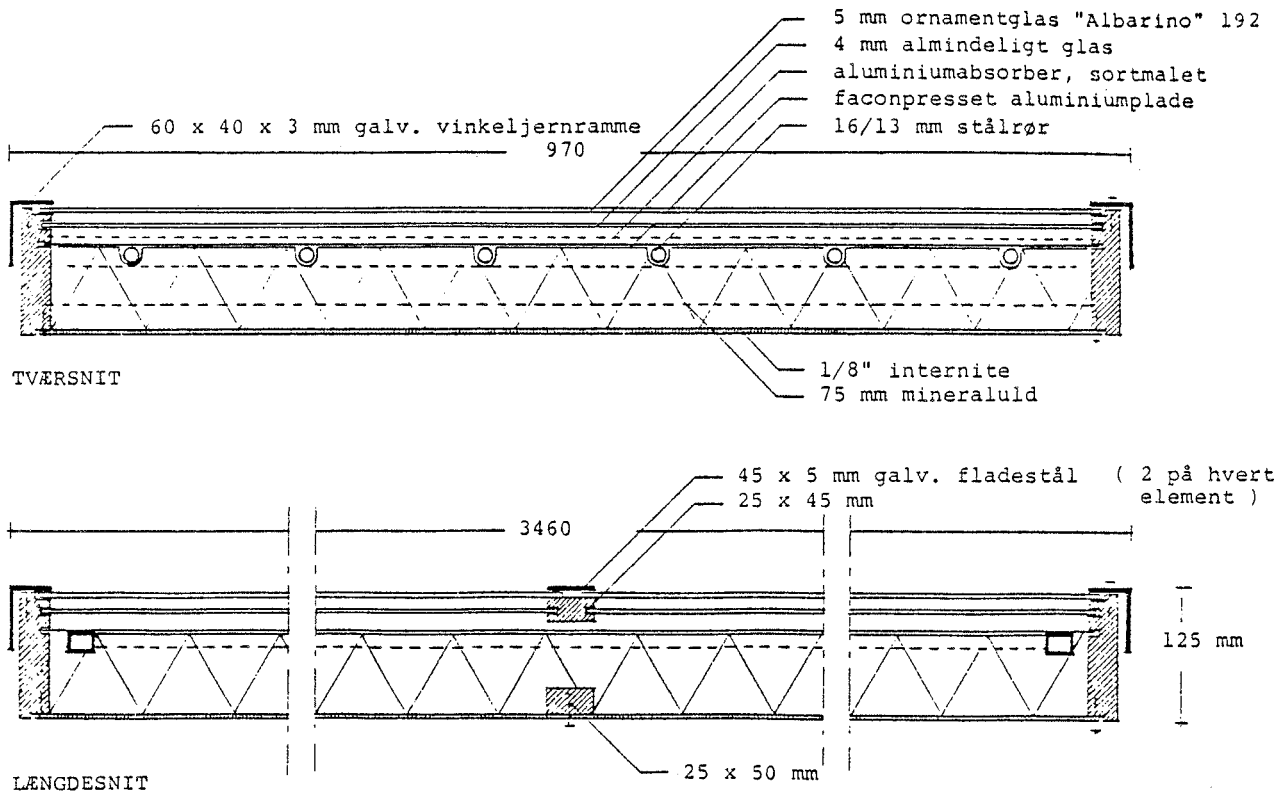


Fig. 2.12 Solfangerelement, Gentofte. (fabrikantens tegning med enkelte ændringer).

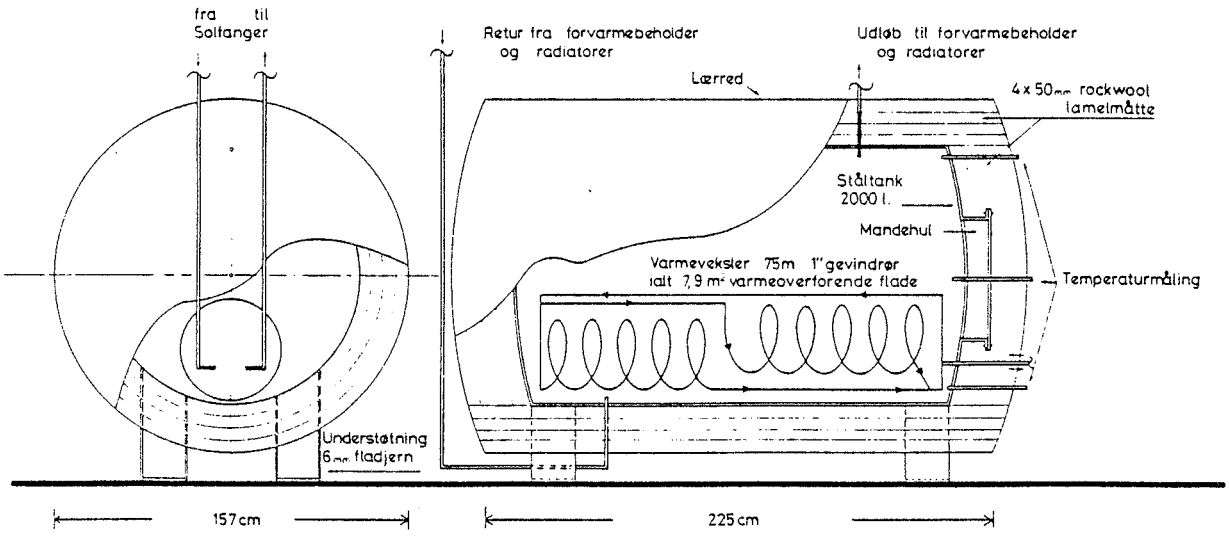


Fig. 2.13 Lagerbeholderen i Gentofte.

Pumpen i 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. Umiddelbart efter at pumpen starter vil kold væske fra rørsystemet påvirke føleren på absorberen, og pumpem vil stoppe igen. Pumpen vil således pendle indtil rørsystemet er varmet op. Tidsforsinkelsen forhindrer dette, hvorved pumpen beskyttes. Imidlertid er det for mange pumper uden betydning hvor ofte den skal starte, hvorfor det ikke er nødvendigt at anvende tidsforsinkelse.

Der er sikret mod kogning på samme måde som i anlægget i Greve, kun køles der her ned til ca. 80°C mod 88°C for anlægget i Greve. Forskellen ligger i, at beholderen i Greve er større, målt i liter pr. m^2 solfanger.

3. MÅLERESULTATER

Et af formålene med projekterne er at kunne foretage sammenligninger mellem målinger og beregninger med simuleringsprogrammer til solvarmeanlæg og derigennem forbedre beregningsmodellerne. Der er derfor i begge anlæg blevet gennemført et omfattende måleprogram.

Udover varmestrømmene blev der målt:

- Udelufttemperatur
- Diffust solindfald på solfangerens plan
- Totalt solindfald på solfangerens plan
- Totalt solindfald i solfangerens driftstid på solfangerens plan
- Temperaturen 3 steder i lagerbeholderen
- Diverse rumtemperaturer
- Vindhastigheden langs solfangeren
- Driftstiden af solfangerpumpen
- Driftstiden af pumpen til forvarmebeholderen
- Driftstiden af radiatorretur gennem lager
- Driftstiden for tapning af varmt brugsvand

Alle disse målinger blev opsamlet med et dataopsamlingsudstyr.

Desuden er der foretaget målinger af olieforbruget, samt periodevis manuel aflæsning af forskellige målere for det tilfælde, at det automatiske dataopsamlingsudstyr skulle falde ud.

For en nærmere beskrivelse af målesystemerne og dataopsamlingsudstyret henvises til ref. 1 og ref. 2.

For at få måleresultater, der repræsenterer månedsværdier, er de vigtigste størrelser først og fremmest varmestrømme, korrigeret for bl.a. manglende måledata. Vi har dog for perioden måledata for 96% af tiden i Gentofte og 95% af tiden i Greve, så selv en forholdsvis stor unøjagtighed på de beregnede værdier for udfaldsperioderne vil ikke influere på de endelige måleresultater, der er vist på fig. 3.1 (Greve) og fig. 3.8 (Gentofte).

		Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr	Mar.	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sum/mid
Måletid	%	98	93	100	100	93	100	100	88	78	100	96	100	95,5%
Totalt solindfald	kWh	3540	2760	1150	435	876	2635	3030	5188	7355	8131	6722	6520	48342~9 kWh/m^2
Diffust solindfald pct. af total	%	59	60	55	57	60	58	68	50	49	44	55	52	53%
Totalt solindfald i driftstiden	kWh	1430	1720	560	75	32	1310	1095	3112	4203	3891	2812	2787	23027~4 kWh/m^2
Diffust solindfald i driftstiden, pct. af totalt i driftstiden	%	25	41	30	21	34	32	43	33	35	27	34	36	33%
Driftstid af solfanger	h	56	66	22	3	2	50	41	92	116	105	83	81	717 h
Udbytte af solfanger	kWh	590	620	181	24	14	543	417	1240	1451	1065	800	948	7904 kW
Effektivitet mht. totalt solindflad	%	17	22	16	6	2	21	14	24	20	13	12	15	16%
Effektivitet mht. totalt solindfald i driftstiden	%	42	36	32	32	44	41	38	40	35	27	28	34	34%
Tab i rør mellem solfanger og lager	kWh	95	67	15	2	2	25	30	60	99	86	86	134	709 kW
Middeltemperatur af lagerbeholder	°C	42	24	25	16	6	20	25	32	49	65	58	58	35°C
Tilført lagerbeholder	kWh	510	570	172	23	12	531	398	1205	1385	1006	736	836	7388 k
Varmetab fra lager	kWh	193	80	107	116	59	161	114	185	301	365	325	315	2321 k
Tappet fra forvarme-beholder	kWh	0	0	0	0	7	73	101	140	236	215	133	232	1137 k
Tappet fra efter-varmebeholder	kWh	0	0	6	13	322	283	268	219	83	18	0	0	1212 k
Samlet varmtvands-forbrug	kWh	0	0	6	13	329	356	369	359	319	233	133	232	2349 k
Heraf solvarme	%			0	0	2	21	27	39	74	92	100	100	48%
Fyrets nyttevirkning	%	43		73	86	80	71	80	63	39	37			75%
Tappet fra kedel til rumvarme	kWh	110	30	1292	3115	2610	2652	2662	954	133	7	7	0	13572
Tappet fra lager til rumvarme	kWh	530	570	19	0	-19	93	175	806	480	177	155	67	3053 k
Samlet forbrug til rumvarme	kWh	640	610	1311	3115	2591	2745	2837	1760	613	184	162	67	16625
Heraf solvarme	%	83	95	1	0	-1	3	6	45	75	93	96	100	18%
Samlet varmeforbrug	kWh	640	610	1317	3128	2920	3101	3206	2119	932	417	288	299	18974
Heraf solvarme	kWh	530	570	19	0	-12	166	276	946	716	392	288	299	4190 k
Heraf solvarme	%	83	93	1	0	0	5	9	44	75	92	100	100	22%
Olieforbrug	l	19	0	176	366	368	415	366	182	49	5	0	0	1946 l

Fig. 3.1 Tabel over måleresultater, Greve 1. måleår, september 1978 - august 1979.
Tallene er ikke korrigeret for at tabet fra en del af rørstrækningerne målemæssigt tilhører solfangeren og lagerbeholderen.

Sum/middel	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.		
94%	100	75	87	97	100	99	100	100	100	100	82	85	%	Måletid
51910 kWh ~ 1032 kWh/m²	4731	4400	1374	620	1351	1423	4382	6277	8581	7101	6755	4915	kWh	Totalt solindfald
48%	47	34	39	47	38	67	49	46	43	57	48	55	%	Diffust solindfald pct. af total
29535 kWh ~ 587 kWh/m²	2414	2580	630	155	483	482	2682	4438	5931	3850	3120	2770	kWh	Totalt solindfald i driftstiden
37%	30	23	18	23	16	42	35	37	31	39	30	30	%	Diffust solindfald i driftstiden, pct. af totalt i driftstiden
938 h	82	86	27	10	22	22	89	143	164	112	92	89	h	Driftstid af solfanger
9689 kWh	916	1020	210	27	147	166	865	1597	1990	1109	911	731	kWh	Udbytte af solfanger
19%	19	23	15	4	11	12	20	25	23	16	13	13	%	Effektivitet mht. totalt solindfald
33%	38	40	33	17	30	34	32	36	34	29	29	26	%	Effektivitet mht. totalt solindfald i driftstiden
1161 kWh	84	80	10	6	14	19	83	149	230	192	151	143	kWh	Tab i rør mellem solfanger og lager
38°C	44	34	24	17	16	17	31	39	50	61	64	57	°C	Middeltemperatur af lagerbeholder
8772 kWh	853	962	207	24	139	153	805	1485	1803	946	784	611	kWh	Tilført lagerbeholder
2811 kWh	404	220	152	71	95	88	209	221	305	373	328	345	kWh	Varmetab fra lager
1560 kWh	183	109	74	38	43	43	160	182	205	202	83	238	kWh	Tappet fra forvarme-beholder
1468 kWh	27	79	202	259	233	227	194	138	47	12	10	40	kWh	Tappet fra efter-varmebeholder
3028 kWh	210	188	276	297	276	270	354	320	252	214	93	278	kWh	Samlet varmtvands-forbrug
52%	87	58	27	13	16	16	45	57	81	94	89	86	%	Heraf solvarme
61%	12	29	67	64	65	68	64	54	25				%	Fyrets nyttevirkning
12251 kWh	11	240	1778	2072	2722	2753	1994	626	51	2	2	0	kWh	Tappet fra kedel til rumvarme
3866 kWh	263	696	2	0	0	0	354	1049	1098	123	202	79	kWh	Tappet fra lager til rumvarme
16117 kWh	279	936	1780	2072	2722	2753	2348	1675	1149	125	204	79	kWh	Samlet forbrug til rumvarme
24%	96	74	0	0	0	0	15	63	96	98	99	100	%	Heraf solvarme
19145 kWh	484	1124	2056	2369	2998	3023	2702	1995	1401	339	297	357	kWh	Samlet varmeforbrug
5426 kWh	446	805	76	38	43	43	514	1231	1303	325	285	317	kWh	Heraf solvarme
28%	92	72	4	2	1	1	19	62	93	96	96	89	%	Heraf solvarme
2210 l	31	101	292	360	451	435	339	139	40	4	3	15	l	Olieforbrug

(Fig. 3.1 fortsat) Tabel over måleresultater, Greve 2. måleår, september 1979 - august 1980.

3.1 Greve

Måneds- og årsværdier

På fig. 3.1 er vist måneds- og årsværdier for de to års målinger på anlægget i Greve.

Fyrets nyttevirkning er defineret som den varmemængde, der er tappet til rumvarme og til brugsvand fra eftervarmebeholderen i % af nedre brændværdi (9,85 kWh/l olie) af den indfyrede oliemængde.

Solfangerens effektivitet

Af tabellen fremgår det, at der ikke er større forskel på solfangerens effektivitet 1. og 2. måleår, i hvert fald ikke i de måneder hvor solindfaldet er størst. I ref. 1 blev solfangerens effektivitetskurve bestemt ud fra målingerne under følgende forhold:

Solintensitet:	$700 < I < 900$	W/m^2
Indfaldsvinkel:	$i < 30^{\circ}$	
Lufttemperatur:	$t_a > 10^{\circ}C$	
Vindhastighed:	$v > 2$ m/s	

Ud fra 54 målepunkter findes effektivitetskurven ved regressionsanalyse til:

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

hvor	t_m	er solfangervæskens middeltemperatur	$^{\circ}C$
	t_a	er lufttemperaturen	$^{\circ}C$
	I	er solintensiteten	W/m^2

Der er her forudsat, at udtrykket for effektiviteten har den form, som er beskrevet i prøverapporten for solfangere, se ref. 3. De 54 punkter ligger i et forholdsvis lille område (se fig.3.2.), hvor et lineært udtryk ligeledes giver god overensstemmelse:

$$\eta = 0{,}70 - 6{,}1 \frac{t_m - t_a}{I}$$

Solfangerens konstruktion peger dog på, at første led i ligningen ligger nærmest de 0,70.

Begge kurver er vist på fig. 3.2.

Varmeforbrug og ydelse af solvarmeanlæg

På fig. 3.3 og fig. 3.4 er forbrug og solvarme delt op på rumopvarmning og varmt brugsvand. Ydelse leveret til rumopvarmningen var 1. og 2. år henholdsvis 3053 kWh og 3866 kWh. Dette svarer til 73% og 71% af den samlede ydelse. Anlægget må således siges at have fungeret tilfredsstillende som anlæg til både rumopvarmning og varmt brugsvand.

På fig. 3.5 er vist det samlede varmeforbrug og den del heraf, solvarmeanlægget har leveret. I 1. måleår har anlægget dækket 22% af et forbrug på 18974 kWh og 2. måleår 28% af 19145 kWh. At anlægget har ydet mere i 2. måleår end i 1. måleår skyldes dels, at solindfaldet var størst i 2. måleår, dels at der i de første 4 måneder af 1. måleår ikke var noget forbrug til varmt brugsvand.

Lagertemperatur

På fig. 3.6 er månedsmiddelværdierne for lagertemperaturen sammenlignet for 1. og 2. måleår. Med undtagelse af månederne oktober, januar og april er der ikke større forskel i værdierne.

I oktober 1978 var oliefyret ude af drift et par uger, og rumtemperaturen forsøges opretholdt med lagertemperaturen som fremløbstemperatur. Lagerbeholderen tømmes derved for varme, og månedsmiddeltemperaturen bliver kun 24°C, hvilket endda er 1°C lavere end i november. I januar 1979 er middeltemperaturen kun 6°C og i januar 1980 er den 16°C. Den store forskel skyldes et lavt solindfald i januar 1979, samt at solfangeren en del af tiden var dækket af sne. Der blev derfor kun tilført lagerbeholderen 12 kWh, hvilket svarer til en opvarmning på ca. 2°C. I januar 1980 tilføres lagret 139 kWh svarende til en opvarmning på ca 22°C. Januar 1979 var

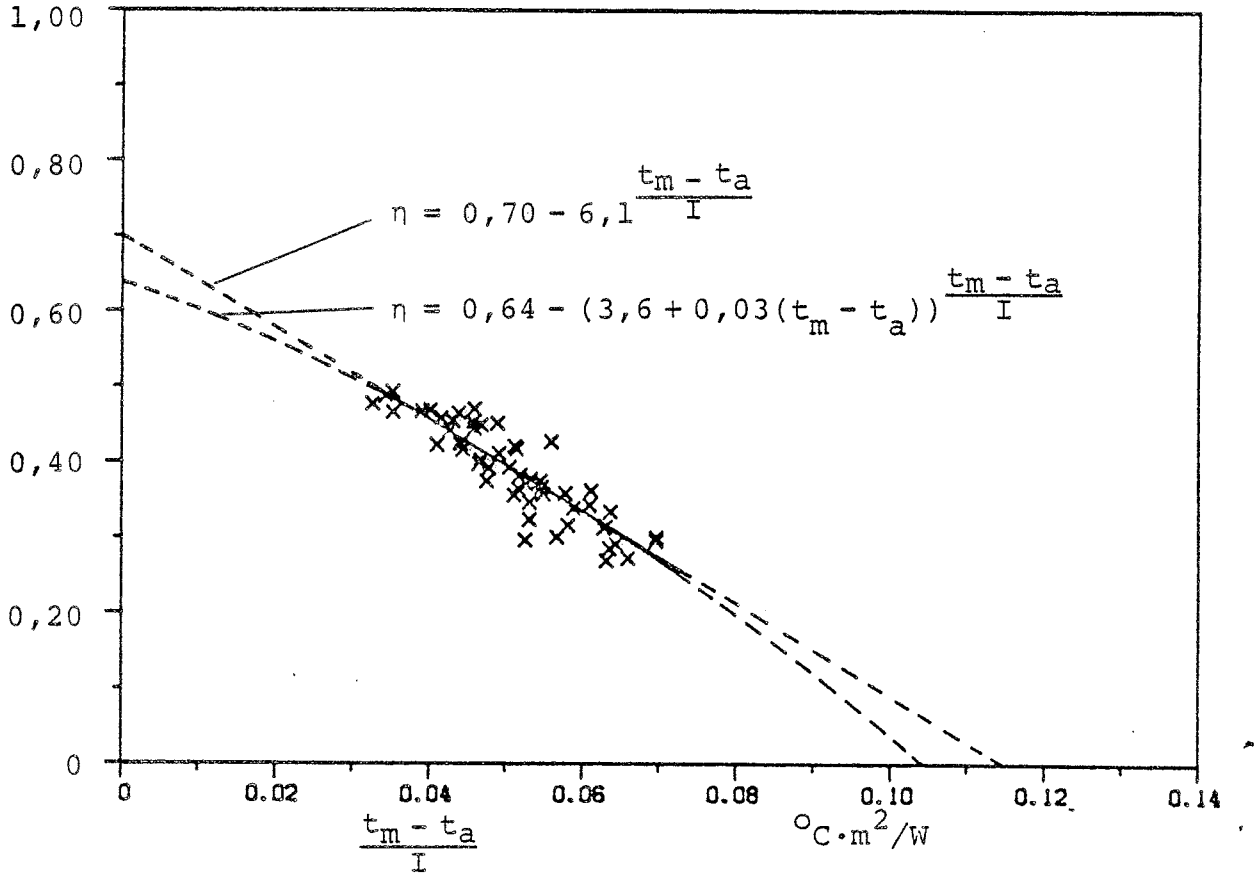


Fig. 3.2 Solfangerens effektivitetskurve, Greve.

Parameterbegrænsninger:

- solintensitet 700 W/m^2 < I < 900 W/m^2
- indfaldsvinkel < 30°
- lufttemperatur > 10°C
- vindhastighed > 2 m/s

For med tilnærmelse at opnå stationære forhold er kun medtaget målepunkter, som opfylder betingelserne:

- drifttid af solfanger = 3600 s
- dagens første drifttime udelades
- forskel i solintensitet i forhold til timen før < 100 W/m^2.

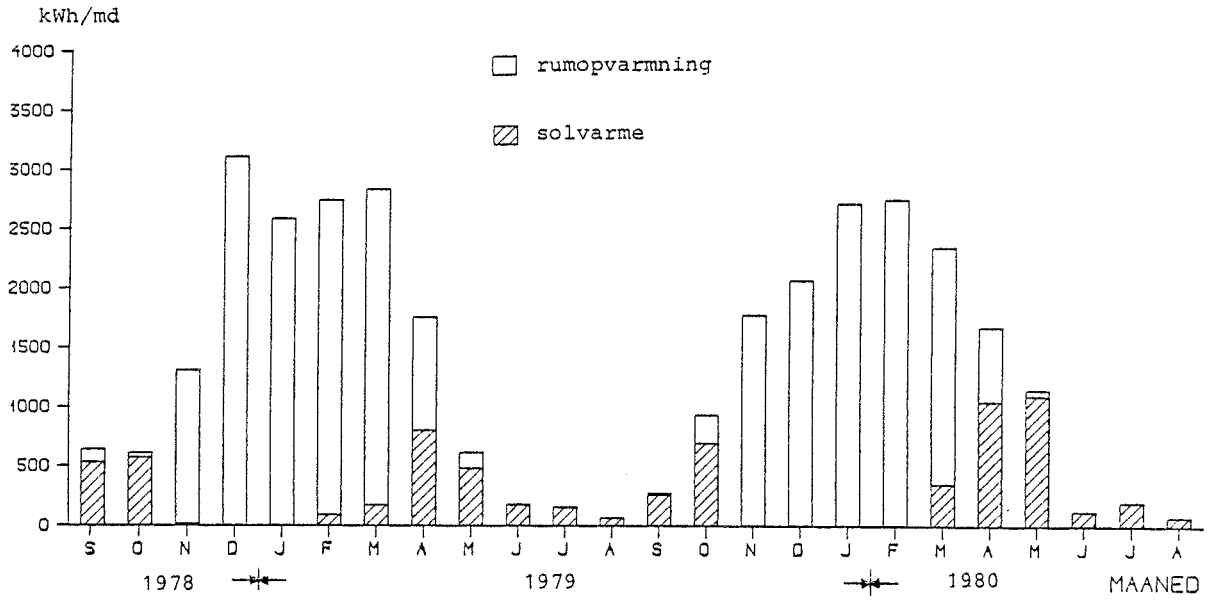


Fig. 3.3 Rumopvarmning og solvarme til rumopvarmning, Greve.

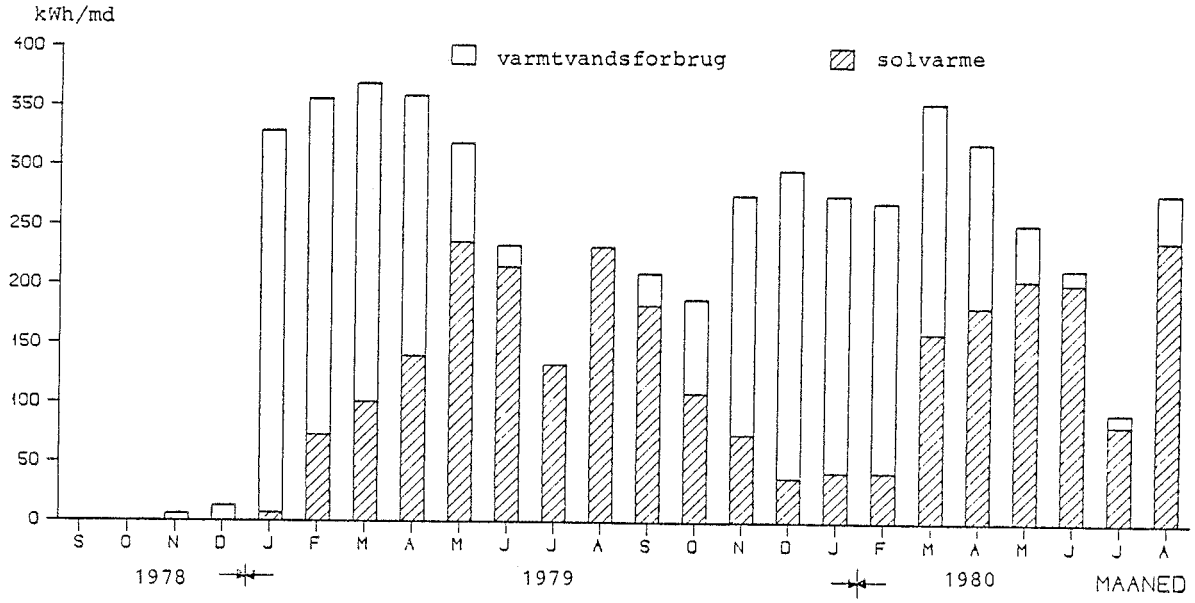


Fig. 3.4 Varmtvandsforbrug og solvarme til varmt brugsvand, Greve.

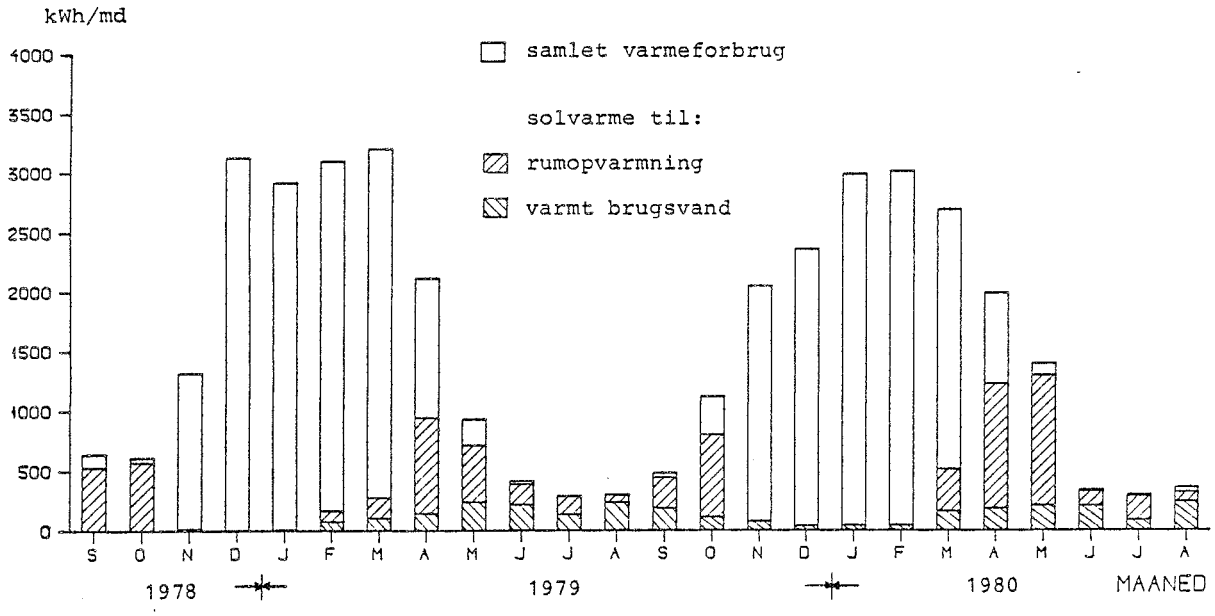


Fig. 3.5 Samlet varmeforbrug og solvarme, Greve.

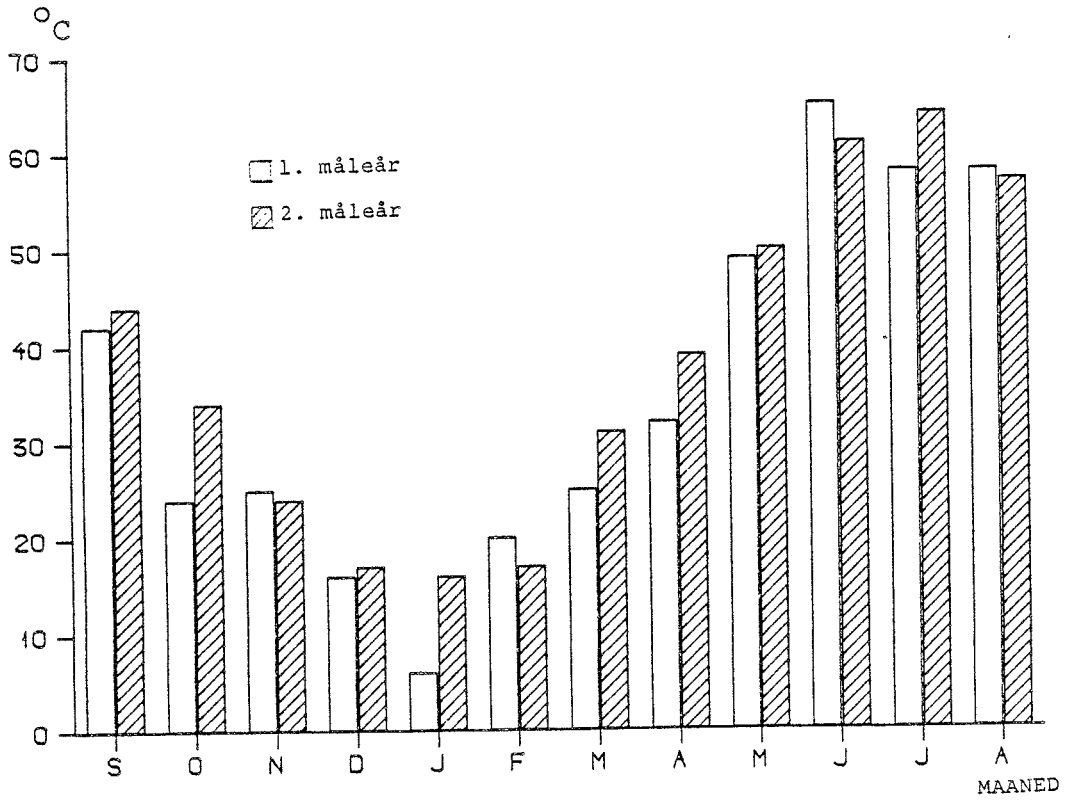


Fig. 3.6 Lagertemperatur, Greve.

desuden meget kold. Middeltemperaturen var kun -3,2°C, 2°C lavere end i januar 1980. Forskellen i lagertemperaturen i april måned skyldes et ca. 20% større solindfald i 1980.

Varmetab fra lagerbeholderen

Varmetabet fra lagerbeholderen udgjorde i 1. måleår ca. 2300 kWh - i 2. måleår ca. 2800 kWh. Dette svarer til henholdsvis 31% og 32% af den varmemængde, der er tilført lageret.

I ref. 1 er varmetabskoefficienten beregnet til 7,7 W/°C under hensyntagen til kuldebroer samt den del af rørføringen, hvis varmetab måles sammen med lagerbeholderens. Værdien gælder for en middeltemperatur på 10 °C i isoleringen - for andre temperaturer korrigeres lineært:

$$k = 0{,}94 + 0{,}006 \cdot t_m \qquad W/^\circ C$$

hvor t_m er isoleringens middeltemperatur. Benyttes denne korrektion, fås de beregnede tabskoefficienter i 1. og 2. måleår til henholdsvis 8,2 W/°C og 8,3 W/°C (middellagertemperatur er 35 °C og 38 °C, middeludetemperatur er begge år 8 °C). Tabskoefficienterne beregnet ud fra det målte varmetab er noget større - i 1. måleår 9,7 W/°C, i 2. måleår 10,7. Forskellen på de målte og beregnede værdier kan dels skyldes, at isoleringstykkelsen inde under tanken ikke er 200 mm, hvilket kun vanskeligt kan kontrolleres, dels har der i perioder været selvcirkulation i solfangerkredsen, som, hvis ikke det kan korrigeres i målingerne, regnes med til beholderens varmetab. Ekstra tab ved selvcirkulation gælder dog især 1. år. 2. år var kontraventilen udskiftet, da der i december igen blev konstateret selvcirkulation.

Regnes beholderen isoleret med en effektiv isolering på 200 mm overalt, bliver den beregnede tabskoefficient 6,1 W/°C.

Solindfald

Det totale solindfald på solfangeren er første år målt til 961 kWh/m^2.år, andet år til 1032 kWh/m^2.år. Dette er ca. 18% og 12% lavere end middelværdien af de 15 års målinger fra Tåstrup. Til anvendelse til verifikation af EDB-modellen er der sammensat et år (12 sammenhængende måneder) af de to års målinger. Dette år har et årligt solindfald på 1052 kWh/m^2.år. Med vejrdata for det gamle referenceår (årligt solindfald 1216 kWh/m^2.år, bilag IV), beregnes en ydelse på 124 kWh/m^2.år. Dette er 14% højere end beregnet med det sammensatte måleår, hvor ydelsen beregnes til 109 kWh/m^2.år. Med det nye referenceår (årligt solindfald 1159 kWh/m^2.år, bilag IV), beregnes en ydelse på 103 kWh/m^2.år, altså lavere end med de målte vejrdata på trods af, at det årlige solindfald i det nye referenceår er højere end i måleåret. Dette hænger sammen med, at fordelingen af solindfaldet over året er af stor betydning for anlæg til rumopvarmning, se fig. B1 i bilag IV.

Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning

Fig. 3.7 viser solvarmeanlæggets reelle energibesparelse under hensynstagen til udnyttet varmetab, forbruget af energi til pumper samt besparelsen, som opnås ved at slukke oliefyret i sommermånederne. Den sparede energimængde er omregnet til liter olie.

Tomgangstabet er summen af radiatortabet og gennemtrækstabet. I en periode uden varmeforbrug er olieforbruget målt til 1,0 liter pr. døgn. Idet skorstenstabet er målt til 15%, svarer de 1,0 liter til et tomgangstab på ca. 350 W.

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

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

			1.måleår	2.måleår
Q_1	Nyttiggjort solvarme	kWh	4190	5430
Q_2	Nyttiggjort varmetab fra solvarmesystem	"	0	0
Q_3	Sparet tomgangstab	"	1040	740
Q_4	Elforbrug til pumper*)	"	330	400
Q_5	Sparet elforbrug til oliefyr	"	40	30
	Energibesparelse $Q_1+Q_2+Q_3-Q_4+Q_5$	"	4940	5800
	Fortrængt oliemængde $\frac{Q_1+Q_2+Q_3}{9,85 \cdot 0,85}$	ℓ	625	737
	Energibesparelse	$kWh/m^2 \cdot år$	98	115
	Fortrængt oliemængde	$ℓ/m^2 \cdot år$	12,4	14,6

*) Heraf 100 kWh til drift af pumpe mellem lager og forvarmebeholder

Fig. 3.7. Tabel over energibesparelse og oliefortrængning for anlægget i Greve

		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Sum/m:
Måletid	%	100	100	68	88	99	100	75	94	99	99	97	98	93%
Totalt solindfald	kWh	615	295	424	1245	1815	2830	3770	4091	3205	3527	2488	2298	26603 kWh/m²
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 kWh/m²
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
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 k
Middeltemperatur af lagerbeholder	°C	28	24	21	33	39	44	55	64	57	58	44	43	42,5
Tilført lagerbeholder	kWh	115	42	34	249	271	609	774	587	482	634	546	551	4894
Varmetab fra lager	kWh	43	21	20	81	144	200	317	321	261	319	196	186	2109
Tappet fra forvarme-beholder	kWh	79	59	34	99	167	172	261	250	165	269	180	183	1918
Tappet fra eftervarme-beholder	kWh	165	177	182	110	107	31	0	0	0	0	24	77	873
Samlet varmtvands-forbrug	kWh	244	236	216	209	274	203	261	250	165	269	204	260	2791
Heraf solvarme	%	32	25	16	47	61	85	100	100	100	100	86	70	68%
Fyrets nyttevirkning	%	56	61	62	61	60	50	43				32	43	57%
Tappet fra kedel til rumvarme	kWh	1628	3491	3927	3400	2955	1370	399	0	0	0	128	814	1811
Tappet fra lager til rumvarme	kWh	0	0	0	0	0	140	84	13	17	17	149	169	589
Samlet forbrug til rumvarme	kWh	1647	3516	3952	3421	2980	1533	493	13	17	17	286	997	1887
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	2166
Heraf solvarme	kWh	79	59	34	99	167	312	345	263	182	286	329	352	2507
Heraf solvarme	%	4	2	1	3	5	18	46	100	100	100	67	28	12%
Olieforbrug	l	326	612	677	585	516	285	95	0	0	0	48	212	3356

Fig. 3.8 Tabel over måleresultater, Gentofte 1. måleår, november 1978 - oktober 1979.
Tallene er ikke korrigeret for at tabet fra en del af rørstrækningerne målemæssigt tilhører solfangeren og lagerbeholderen.

Sum/middel	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.		
99%	100	100	100	100	100	100	100	100	99	93	100	100	%	Måletid
28179 kWh ≙ 1003 kWh/m²	682	343	669	798	2471	3610	4682	3778	3684	2770	3227	1464	kWh	Totalt solindfald
45%	39	42	35	55	42	40	37	53	52	55	39	43	%	Diffust solindfald pct. af total
18387 kWh ≙ 654 kWh/m²	406	147	346	397	1598	2640	3579	2363	2226	1680	2152	853	kWh	Totalt solindfald i driftstiden
32%	24	21	16	31	31	32	29	11	39	33	28	27	%	Diffust solindfald i driftstiden, pct. af totalt i driftstiden
1058 h	37	19	31	34	92	144	205	134	133	55	118	56	h	Driftstid af solfanger
5880 kWh	129	38	114	125	507	918	1079	708	723	540	710	289	kWh	Udbytte af solfanger
21%	19	11	17	16	21	25	23	19	20	18	22	20	%	Effektivitet mht. totalt solindfald
32%	32	26	33	31	32	35	30	30	32	32	33	34	%	Effektivitet mht. totalt solindfald i driftstiden
840 kWh	18	4	7	8	53	98	149	125	132	93	114	39	kWh	Tab i rør mellem solfanger og lager
43°C	32	25	26	26	39	47	54	58	57	55	56	42	°C	Middeltemperatur af lagerbeholder
5084 kWh	113	35	108	119	455	826	939	589	597	449	601	253	kWh	Tilført lagerbeholder
2354 kWh	45	3	20	16	152	359	416	290	288	294	313	158	kWh	Varmetab fra lager
1897 kwh	97	53	76	82	210	187	255	244	233	218	188	54	kWh	Tappet fra forvarme-beholder
1119 kWh	151	197	199	203	132	81	22	0	28	0	0	106	kWh	Tappet fra eftervarme-beholder
3016 kWh	248	250	275	285	342	268	277	244	261	218	188	160	kWh	Samlet varmtvands-forbrug
63%	39	21	28	29	61	70	92	100	89	100	100	34	%	Heraf solvarme
53%	52	54	55	55	52	41	38		22			57	%	Fyrets nyttevirkning
14919 kWh	1970	2630	3210	3024	2486	710	93	0	0	0	16	780	kWh	Tappet fra kedel til rumvarme
667 kWh	0	0	0	0	76	232	237	9	0	0	53	60	kWh	Tappet fra lager til rumvarme
15725 kWh	1985	2650	3230	3047	2586	958	337	9	0	0	70	853	kWh	Samlet forbrug til rumvarme
4%	0	0	0	0	3	25	70	100			23	7	%	Heraf solvarme
18741 kWh	2233	2900	3505	3332	2928	1226	614	253	261	218	258	1013	kWh	Samlet varmeforbrug
2564 kWh	97	53	76	82	286	419	492	253	233	218	241	114	kWh	Heraf solvarme
14%	4	2	2	2	10	34	80	100	89	100	93	11	%	Heraf solvarme
3083 l	417	527	632	598	512	196	31	0	13	0	0	157	l	Olieforbrug

(Fig. 3.8 fortsat) Tabel over måleresultater, Gentofte 2. måleår, november 1979 - oktober 1980.

have været brugt ekstra, hvis oliefyret skulle have dækket den energimængde, som solvarmeanlægget har leveret. Tomgangstabet indeholder ikke røgtabet og skal derfor også divideres med fyringsnyttevirkningen.

I 1. måleår var oliefyret slukket i 124 døgn, i 2. måleår i 88 døgn.

3.2 Gentofte

Måneds- og årsværdier

På fig. 3.8 er vist måneds- og årsværdier for måleperioden i Gentofte.

Solfangerens effektivitet

Som for anlægget i Greve er der i årsrapporten foretaget en bestemmelse af solfangerens effektivitet ud fra udvalgte måleværdier. Med de samme betingelser som nævnt i afsnit 3.1 - og gentaget på fig. 3.9 - findes følgende udtryk for effektiviteten:

$$\eta = 0{,}68 - 4{,}4 \frac{t_m - t_a}{I}$$

hvor t_m er solfangervæskens middeltemperatur ^{o}C

t_a er udelufttemperaturen ^{o}C

I er solintensiteten W/m^2

For anlægget i Greve kunne effektiviteten desuden udtrykkes ved en ligning som svarer til målingerne i ref. 3. Den lineære ligning giver dog den bedste tilnærmelse for punkterne på fig. 3.9.

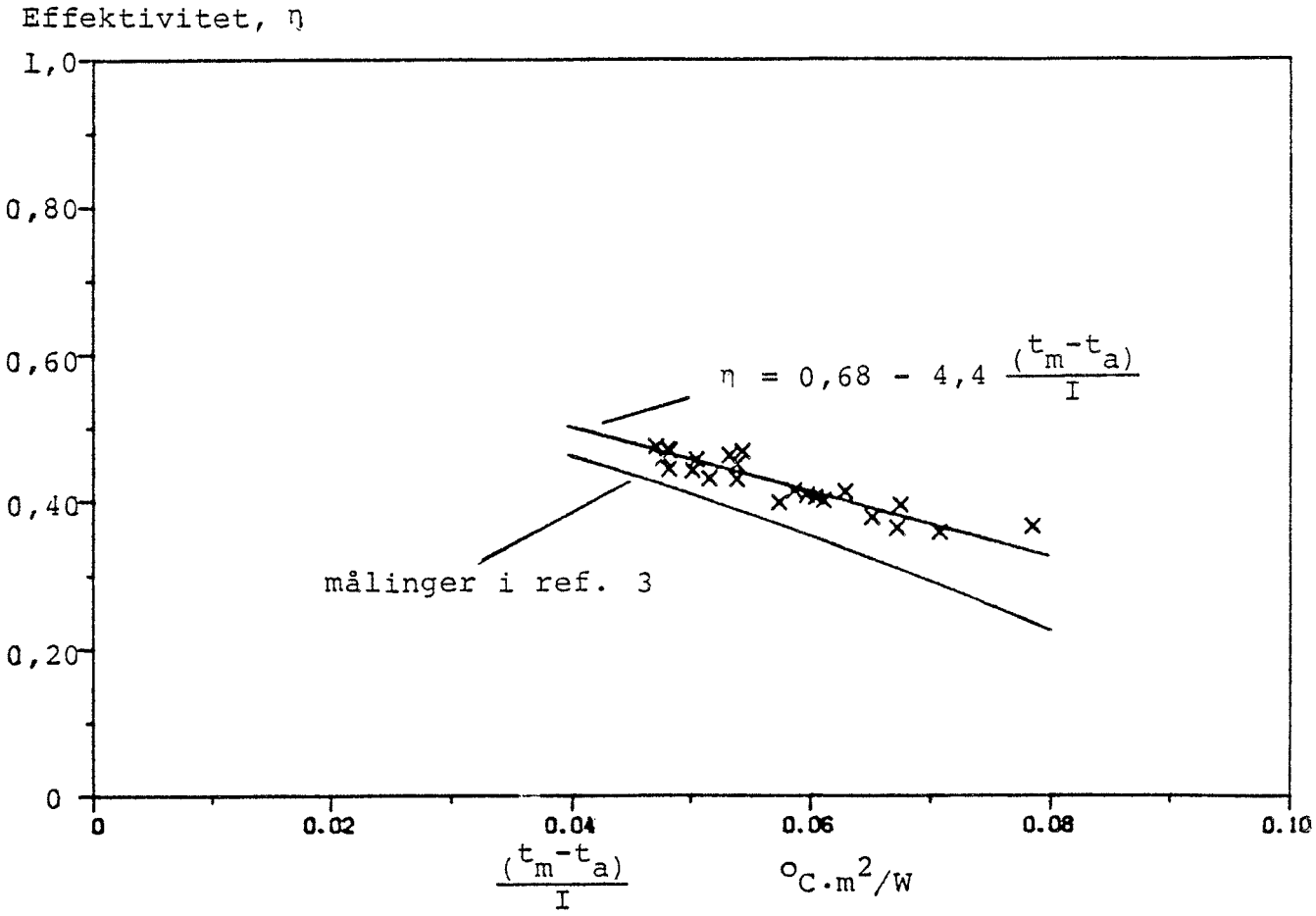


Fig. 3.9 Solfangerens effektivitetskurve, Gentofte.

Parameterbegrænsninger:

- solintensitet 700 W/m^2 < I < 900 W/m^2
- indfaldsvinkel < 30°
- lufttemperatur > 10°C
- vindhastighed > 2 m/s

For med tilnærmelse at opnå stationære forhold er kun medtaget målepunkter, som opfylder betingelserne:

- drifttid af solfanger = 3600 s
- dagens første drifttime udelades
- forskel i solintensitet i forhold til timen før < 100 W/m^2.

Varmeforbrug og ydelse af solvarmeanlæg

På fig. 3.10 og fig. 3.11 er forbrug og anlægsydelse fordelt på rumopvarmning og varmt brugsvand. Den del af ydelsen, som blev leveret til rumopvarmningen, udgjorde i 1. måleår 589 kWh og i 2. måleår 667 kWh. Dette svarer til kun 23% og 26% af den samlede solvarmeydelse. Sammenlignes med målingerne i Greve, hvor ca. 75% af ydelsen blev leveret til rumopvarmningen, må anlægget i Gentofte derfor siges at have fungeret som et for stort anlæg til varmt brugsvand. Edb-beregningerne i kapitel 7 viser, at dette bl.a. skyldes, at huset i nogen grad forsøges opvarmet ved hjælp af en del af radiatorerne, hvilket bevirker, at returtemperaturen bliver høj.

Fig. 3.12 viser det samlede varmeforbrug og solvarmeanlæggets ydelse. I 1. måleår har anlægget dækket 11,6% af det totale varmeforbrug på 21663 kWh - 2. måleår 13,7% af 18714 kWh.

Lagertemperatur

Månedsmiddelværdien af lagertemperaturen er vist på fig. 3.13. Som for anlægget i Greve er temperaturforløbet næsten det samme i de to måleår, med undtagelse af september måned. Forskellen her skyldes et stort solindfald i september 1980, som dels giver et lidt større udbytte af solfangeren end i 1979, dels bevirker at forbruget til rumopvarmning bliver mindre således, at der ikke tappes så meget varme fra lagerbeholderen.

Varmetab fra lagerbeholderen

Varmetabet fra lagerbeholderen udgjorde i 1. og 2. måleår henholdsvis ca. 2100 kWh og ca. 2350 kWh, hvilket svarer til 43% og 46% af den varmemængde, solfangeren har tilført lagerbeholderen.

I årsrapporten blev den samlede varmetabskoefficient beregnet til 6,1 $W/^{o}C$. Der er her regnet med maximalt tab gennem understøtninger og rørgennemføringer svarende til, at temperaturen ved isoleringens overflade er faldet til rumtempe-

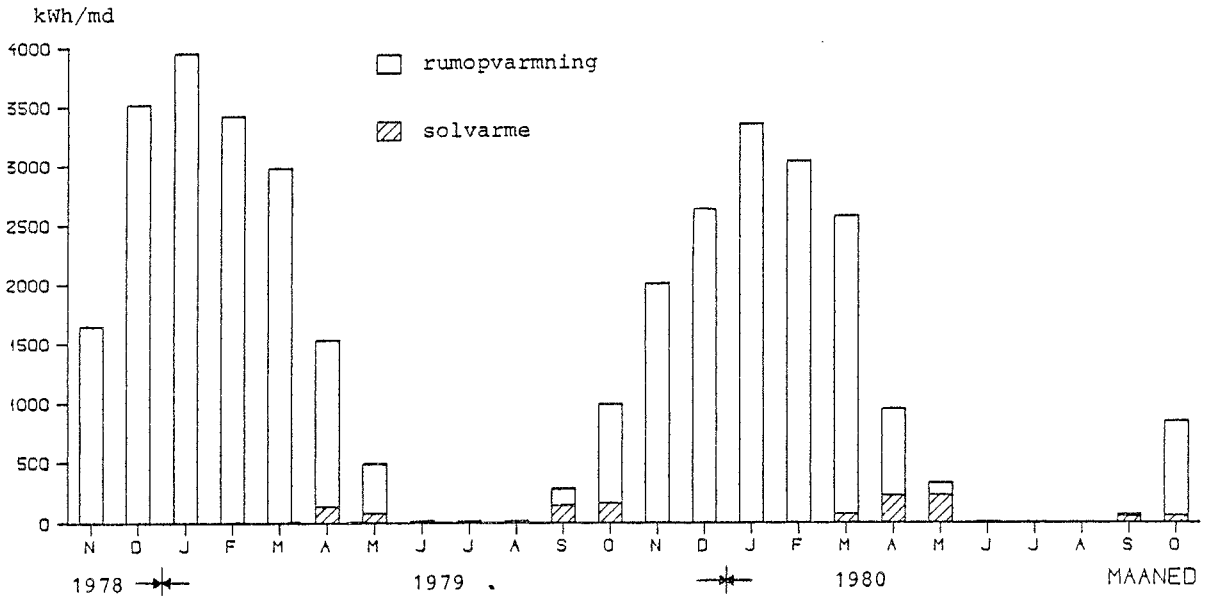


Fig. 3.10 Rumopvarmning og solvarme til rumopvarmning, Gentofte.

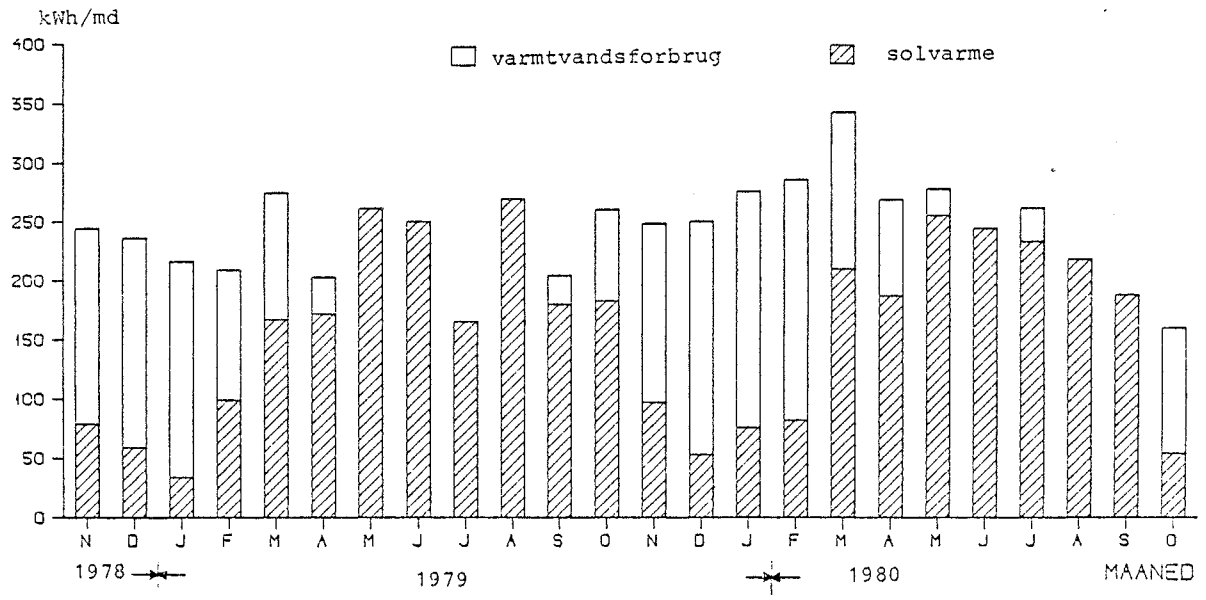


Fig. 3.11 Varmtvandsforbrug og solvarme til varmt brugsvand, Gentofte.

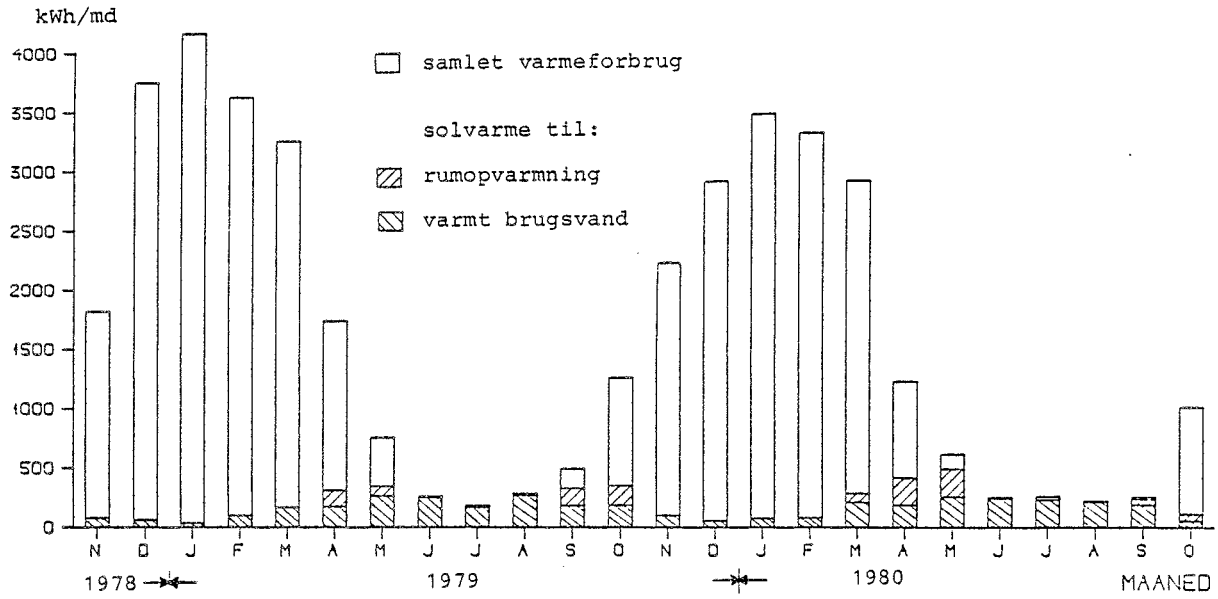


Fig. 3.12 Samlet varmeforbrug og solvarme, Gentofte.

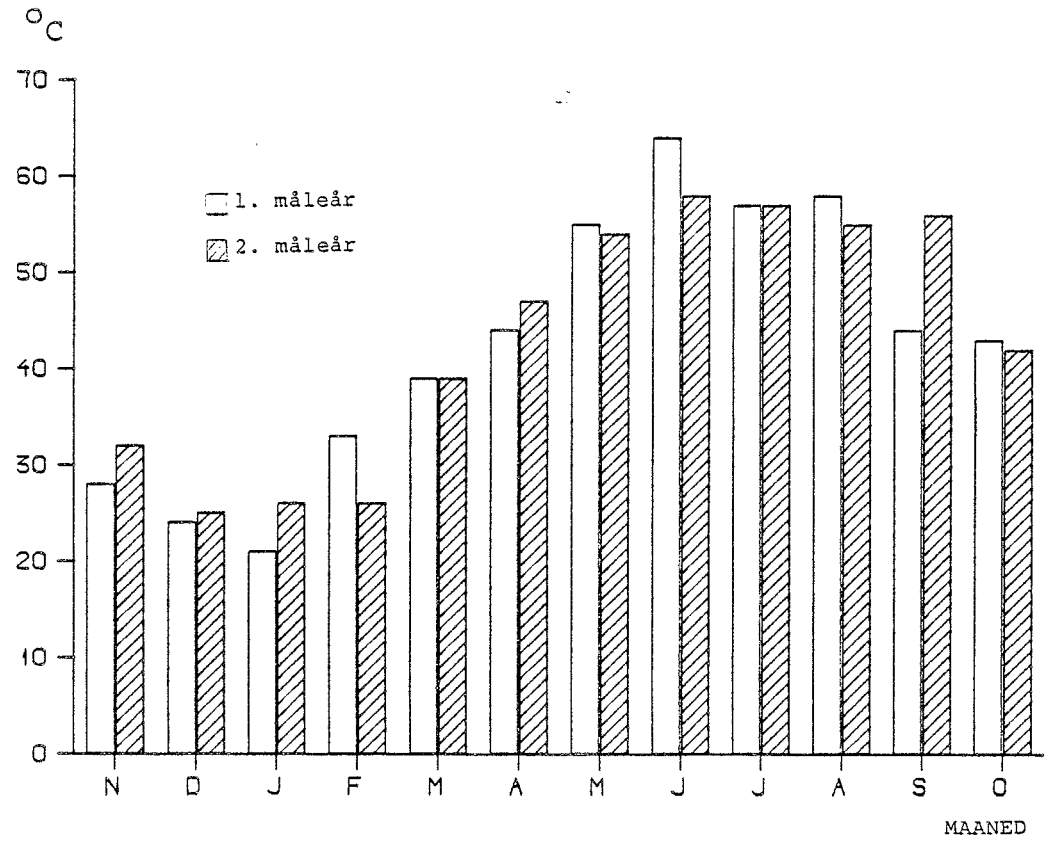


Fig. 3.13 Lagertemperatur, Gentofte.

ratur. Benyttes samme korrektion for tabskoefficienten som for anlægget i Greve, fås de beregnede tabskoefficienter ved en middelkældertemperatur på 23 °C til 6,9 W/°C i begge måleår. Ud fra det målte varmetab fra lagerbeholderen kan tabskoefficienterne i de to måleår beregnes til 12,2 W/°C og 13,4 W/°C - altså næsten dobbelt så store som den teoretiske værdi. Denne store forskel skyldes sandsynligvis, at isoleringsarbejdet på grund af den knebne plads omkring lagerbeholderen er mangelfuldt udført.

Regnes isoleringen at svare til 200 mm effektiv isolering, bliver den beregnede tabskoefficient 3,0 W/°C.

Solindfald

Det totale solindfald var størst i 2. måleår. Det blev her målt til 1003 kWh/m^2 mod 947 kWh/m^2 i 1. måleår. De 1003 kWh/m^2 er dog stadig ca. 16% mindre end værdien i det nye referenceår (ref. 5) = 1207 kWh/m^2. Indsættes det målte forbrug i EDB-programmet, fås med det målte solindfald for 2. måleår en ydelse på 88 kWh/m^2.år. Med referenceårets vejrdata, hvor solindfaldet bliver 1188 kWh/m^2.år, fås en ydelse på 90 kWh/m^2.år. Den lille forskel skyldes dog i dette tilfælde mest at anlægget i Gentofte er overdimensioneret.

Solvarmeanlæggets energibesparelse og oliefortrængning

På fig. 3.14 er vist energibesparelsen under hensyntagen til udnyttet varmetab, forbruget af energi til pumper samt besparelse, som opnås ved at slukke oliefyret i sommerperioden. Da oliefyret i næsten hele måleperioden kørte med et forholdsvis stort tomgangstab, ca. 600 W, og en fyringsnyttevirkning målt til 77%, er værdierne omregnet, så de svarer til et nyere fyr med et tomgangstab på 350 W (som i Greve) og en fyringsnyttevirkning på 88%. Sidstnævnte værdi svarer til en måling på det oliefyr, som blev installeret i september 1980.

Hvorledes besparelse og oliefortrængning beregnes er gennemgået i afsnittet for anlægget i Greve. I Gentofte var oliefyret i 1. måleår slukket i 124 dage og i 2. måleår i 154 dage.

		Målt η		η for nyere fyr	
		1.år	2.år	1.år	2.år
Tomgangstab	W	600	600	350	350
Fyringsnyttevirkning η	%	77	77	88	88
Q_1 Nyttiggjort solvarme	kWh	2505	2565	2505	2565
Q_2 Nyttiggjort varmetab fra solvarmesystem (skønnet)	"	500	400	500	400
Q_3 Sparet tomgangstab	"	1785	2220	1040	1295
Q_4 Elforbrug til pumper	"	150	175	150	175
Q_5 Sparet elforbrug til oliefyr	"	40	50	40	50
Energibesparelse $Q_1+Q_2+Q_3-Q_4+Q_5$	"	4680	5060	3935	4135
Fortrængt oliemængde $\frac{Q_1+Q_2+Q_3}{9,85 \cdot \eta}$	ℓ	632	684	467	491
Energibesparelse	kWh/m².år	167	180	140	147
Fortrængt oliemængde	ℓ/m².år	22,5	24,3	16,6	17,5

Fig. 3.14 Tabel over energibesparelse og oliefortrængning for anlægget i Gentofte

4. DRIFTSERFARINGER

Med begge anlæg er der i løbet af de to års målinger indhøstet en række værdifulde erfaringer, som er blevet udnyttet, dels som grundlag for vejledning og information vedrørende solvarmeanlæg, dels i forbindelse med de efterfølgende projekter under Energiministeriets solvarmeprogram.

De fleste driftserfaringer er gjort i indkøringsperioden og i det 1. måleår.

Fejlfunktioner

I anlægget i Greve var en del følere forkert forbundet. Kogningssikringen for solfangerkredsen var forbundet således, at solfangerpumpen altid var stoppet, når temperaturen i lagerbeholderen var højere end den indstillede værdi. Dette blev hurtigt rettet til den korrekte funktion, således at pumpen altid kører for lagertemperaturer over 85°C - senere 88°C. Kogningssikringen har siden været i funktion i begge anlæg.

Omkobling af radiatorreturen sker i anlægget i Greve ved hjælp af to magnetventiler, som styres af en differenstermostat med en føler i returledningen og en i lagerbeholderen. Disse to følere var byttet om på differenstermostaten, og desuden var de to magnetventiler ensvirkende og ikke modsatvirkende som forudsat. Fejlen blev først opdaget, da der blev behov for rumopvarmning, og det kunne konstateres, at der gik returvand til lagerbeholderen, selv om returtemperaturen var højere end lagertemperaturen.

Det er således vigtigt, at anlæggets funktion i videst muligt omfang afprøves i forbindelse med en afleveringsforretning.

Selvcirkulation i solfangerkredsen

I begge anlæg er der konstateret selvcirkulation i solfangerkredsen. I Gentofte blev kontraventilen udskiftet i august 1979, altså før måleperiodens start.

I Greve var der kun selvcirkulation ved lave tanktemperaturer (20-30°C). Dette kan forklares ved, at den del af rørsystemet, der går igennem bryggerset, ligger under lagerbeholderens niveau. Herved fungerer rørsystemet i sig selv som en kontraventil. Naturlig cirkulation kan nu kun forekomme, når den laveste del af rørsystemet, dvs. i bryggerset, er varmere end lagerbeholderen. Kontraventilen blev skiftet i december 1979, da der blev konstateret selvcirkulation for første gang den vinter. Selvcirkulationen skønnes dog kun at have bevirket et tab på ialt ca. 200 kWh.

I Gentofte var kontraventilen en type med gummimembran, der viste sig at være uegnet til glucol. I Greve var kontraventilen en fjederbelastet type forsynet med en nylon O-ring. Denne var på længere sigt også uegnet til glucol. I begge anlæg blev der installeret fjederbelastede kontraventiler (åbningstryk 0,5 mVS) forsynet med viton O-ringe, og der har siden da ikke været konstateret selvcirkulation af betydning.

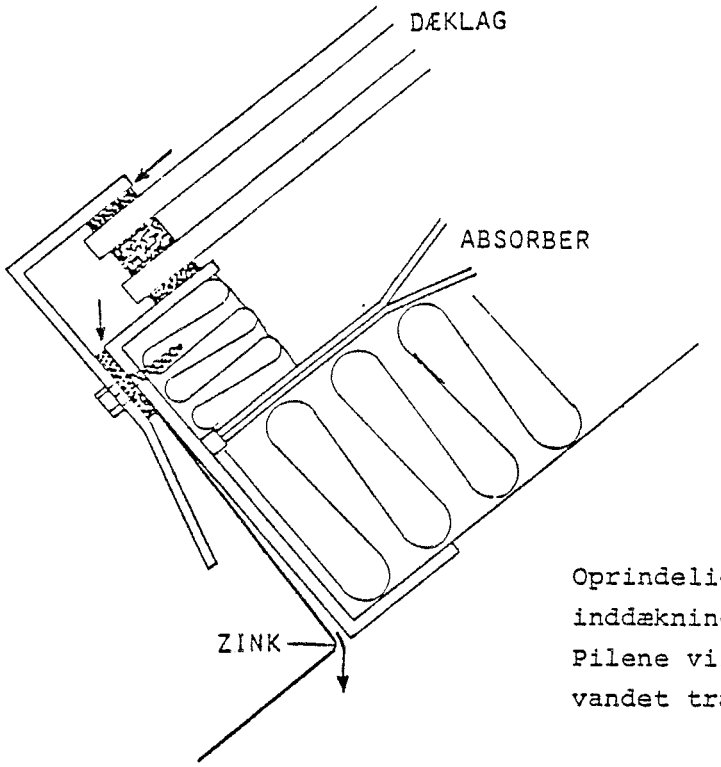
Utætheder ved solfangeren

I begge anlæg opstod der utætheder ved solfangeren.

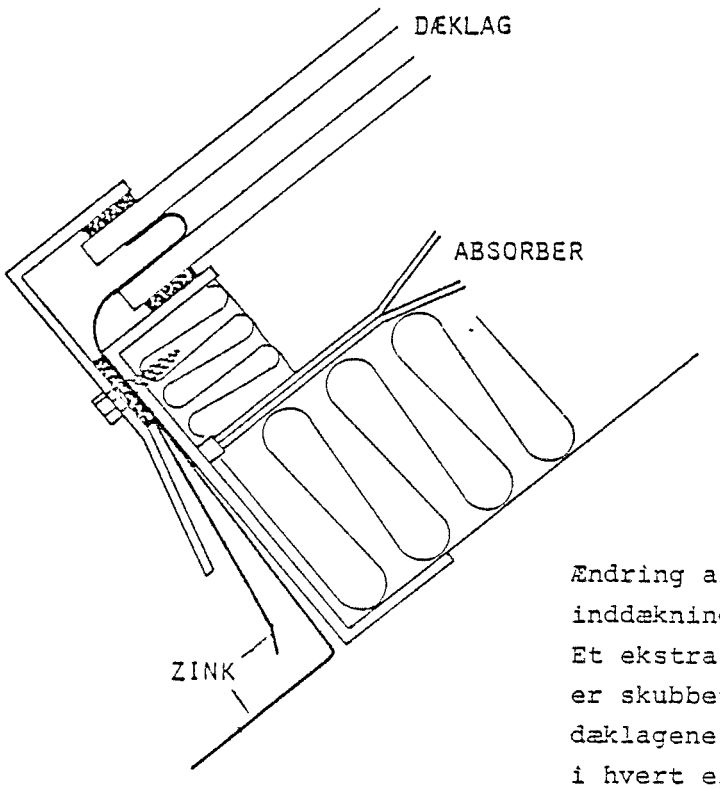
I Greve kunne siliconefugen mellem glasliste og yderste dæklag ikke holde, hvorved regnvand trængte ind forneden. Her blev det ikke, som forudsat, opfanget af zinkinddækningen, som var bukket op under glaslisten, men fortsatte ned i loftsrummet. Reparationen blev udført ved at glaslisten blev skruet af, butylbåndet mellem dæklagene fjernet og en ekstra zinkinddækning, som går uden på den oprindelige, skubbet op mellem de to lag glas. Dette blev gjort forneden og et stykke op på hvert element. (Se fig. 4.1).

Grunden til at siliconefugen ikke kunne binde skyldtes muligvis, at der var anvendt en forkert type maling på glaslisten. Det må dog anbefales, at man ikke baserer solfangerens tæthed alene på en fuge mellem glas og glasliste.

I Gentofte opstod der utætheder i kanten af to elementer, i en fuge mellem elementet og den metalskinne, som holder ele-



Oprindelige inddækning. Pilene viser, hvor vandet trængte ind.



Ændring af inddækning. Et ekstra lag zink er skubbet op mellem dæklagene for neden i hvert element.

Fig. 4.1 Inddækning af solfangeren i Greve.

mentet på plads. Her skyldtes utætheden sandsynligvis, at fugearbejdet blev vanskeliggjort derved, at elementerne ikke lå helt i samme plan. Et tag - og især et 40-årigt gammelt tag - er ikke helt lige. Fugerne ved to af elementerne er således blevet for tykke til i længden at kunne holde. Efter udbedring af fugerne har der ikke været problemer.

Udskiftning af glas

Der har i begge anlæg været brud på glas i solfangeren.

I Greve revnede det inderste glaslag i to af solfangerelementerne. Dette skete et par måneder før måleperioden, så det har ikke været muligt at fastslå årsagen, men det skyldes sandsynligvis, at solfangeren en klar solskinsdag har nået stagnationstemperatur på grund af pumpestop.

I Gentofte blev det yderste lag glas på et af elementerne ødelagt i forbindelse med besigtigelse af solfangeren. Dette skyldes således ikke normal drift af anlægget. Det viste sig her at være meget dyrt at udskifte glsset (ca. 4000 kr. excl. moms), idet det var nødvendigt at bruge stillads. I Greve kunne udskiftningen klares ved hjælp af stiger. Det må derfor anbefales, at der som yderste dæklag benyttes hærdet glas, ikke alene på steder, hvor risikoen for brud er stor (f.eks. på grund af børns leg eller hærværk) men også på steder, hvor det vil være dyrt at udskifte glasset.

Kondens i solfangeren

I anlægget i Gentofte har der i perioder været kondens indvendigt i flere af solfangerelementerne. I to elementer, hvor kondensdannelser dækkede ca. 1/3 og 2/3 af glasarealet, blev det forsøgt at afhjælpe problemet ved at bore et 9 mm udluftningshul for neden i trærammen.Dette har i væsentlig grad reduceret kondensdannelserne, dog uden helt at fjerne dem. Flere eller større huller ville muligvis løse problemet, men dette ville samtidig øge solfangerens varmetab. Hvor stor udluftning, der kan anbefales, er stadig et uafklaret spørgsmål.

I Greve har der kun forekommet ubetydelige kondensdannelser.

Sne på solfangeren

I vintermånederne skete det ofte, at solfangerne var dækket af sne på dage med et stort solindfald. Sneens skal så først smelte af, inden solfangeren kan give udbytte.

Dette viste sig især at være et problem i Greve. Solfangerens hældning med vandret er her kun 38°, og forneden er der en kant, som forhindrer sneen i at glide af. I Gentofte er hældningen 45°, og der er ikke en tilsvarende kant, hvorved sneen lettere kan glide af - ofte hjulpet ved at solfangeren er startet, når føleren er blevet fri.

Varmetab fra lagerbeholdere

Som nævnt i kapitel 3 blev varmetabskoefficienten i Greve målt til ca. 10 W/ °C - i Gentofte til ca. 13 W/ °C. En værdi, som ofte benyttes til overslagsberegninger, er den beregnede tabskoefficient med 100% effektiv isolering. Det vil i begge anlæg sige 200 mm overalt omkring beholderen og uden hensyntagen til kuldebroer. Herved fås tabskoefficienterne til 6,1 W/ °C og 3,0 W/ °C. De målte værdier er ca. 70% og ca. 330% højere. I Greve var isoleringsarbejdet udført tilfredsstillende, mens det i Gentofte var mangelfuldt på grund af de dårlige pladsforhold. Det vil dog være mere rimeligt ved overslagsberegninger at benytte en tabskoefficient på omkring det dobbelte af den beregnede under ideelle forhold.

Følerplacering i lagerbeholderen

I Gentofte har placeringen af føleren i lagerbeholderen voldt en del problemer. Dette skyldtes, at der ofte er en stor temperaturforskel mellem lagerbeholderens top og bund (ca. 20-30°C).

Oprindelig var føleren placeret midt i beholderen i den ene ende, hvilket er lidt over øverste del af varmeveksleren. Solfangeren kørte altid med positivt udbytte, men udfra målingerne kunne det konstateres, at den ofte kunne være startet tidligere, idet temperaturen omkring varmeveksleren ofte er væsentlig lavere end ved føleren midt i beholderen.

Den bedste placering af føleren er i varmevekslerens "tyngdepunkt", men dette var ikke praktisk muligt i dette tilfælde. I et forsøg på at øge udbyttet blev føleren derfor placeret ved den nederste af de tre temperaturfølere. Denne placering viste sig dog at være for langt nede, idet solfangeren kunne starte alene på grund af et koldt bundlag, som kun gik et lille stykke op i beholderen. Dette bevirkede, at anlægget i perioder kørte med negativt udbytte, fordi middeltemperaturen omkring varmeveksleren var højere end bundlagets temperatur.

I november 1979 blev føleren flyttet igen. Den er nu anbragt i en speciel lang dyklomme i solfangerkredsens udløb fra varmeveksleren, således at føleren, når solfangeren ikke er i drift, måler temperaturen næsten i varmevekslerens "tyngdepunkt". Under drift måles fremløbstemperaturen til solfangeren. Denne placering er udmærket til stop af solfangerpumpen, idet udbyttet vil være positivt, så længe fremløbstemperaturen er lavere end temperaturen i solfangeren, plus temperaturfaldet over rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder (0,1-0,6 ^{o}C). Stopdifferensen kan således stilles på en lav værdi, f.eks. 0,5^{o}C.

Denne placering af føleren har vist sig at fungere tilfredsstillende.

5. BESKRIVELSE AF EDB-MODEL

5.1 Indledning

EDB-modellen er en modifikation af SVS-programmet (SolVarme-System). Der er til dette udført tre nye subroutiner, (del-programmer), en der beregner varmestrømme og temperaturer i systemet, og en der beregner udbyttet af solfangeren og foretager beregninger på rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder, samt en hvor der foretages mere detaljerede beregninger på opvarmningssystemet. De nye routiner er bl.a. udviklet med henblik på at kunne udnytte kvartersværdier af solindfaldet, svarende til de målinger vi har foretaget i Greve og Gentofte. Endvidere tages der i højere grad end tidligere hensyn til varmekapaciteten af solfangeren og til varmetab fra rørsystemerne.

Det er således muligt at få en kvantitativ bestemmelse af betydningen af rørsystemernes længde, rørdimensioner og rørisolering.

Idet beregningen af solfangerens ydelse og beregninger på rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder foretages med et tidsstep på 15 min., kan systemets dynamiske opførsel bedømmes, herunder betydningen af indstillingen af start- og stopdifferencer.

5.2 Beskrivelse af SVS-programmet

SVS-programmet er udviklet på Laboratoriet for Varmeisolering i 1974, men er siden flere gange blevet udbygget og forbedret. Det er et kvasi-stationært program, hvilket vil sige at energi-strømmene inden for et tidsstep regnes stationære.

Programmet er opbygget af en række subroutiner, der enten tjener til indlæsning og udskrivning af data, til administration af data, eller til egentlige beregninger.

Subroutinerne kaldes i et hovedprogram, der således administrerer programmets afvikling. Flowdiagram for hovedprogrammet fremgår af fig. 5.1.

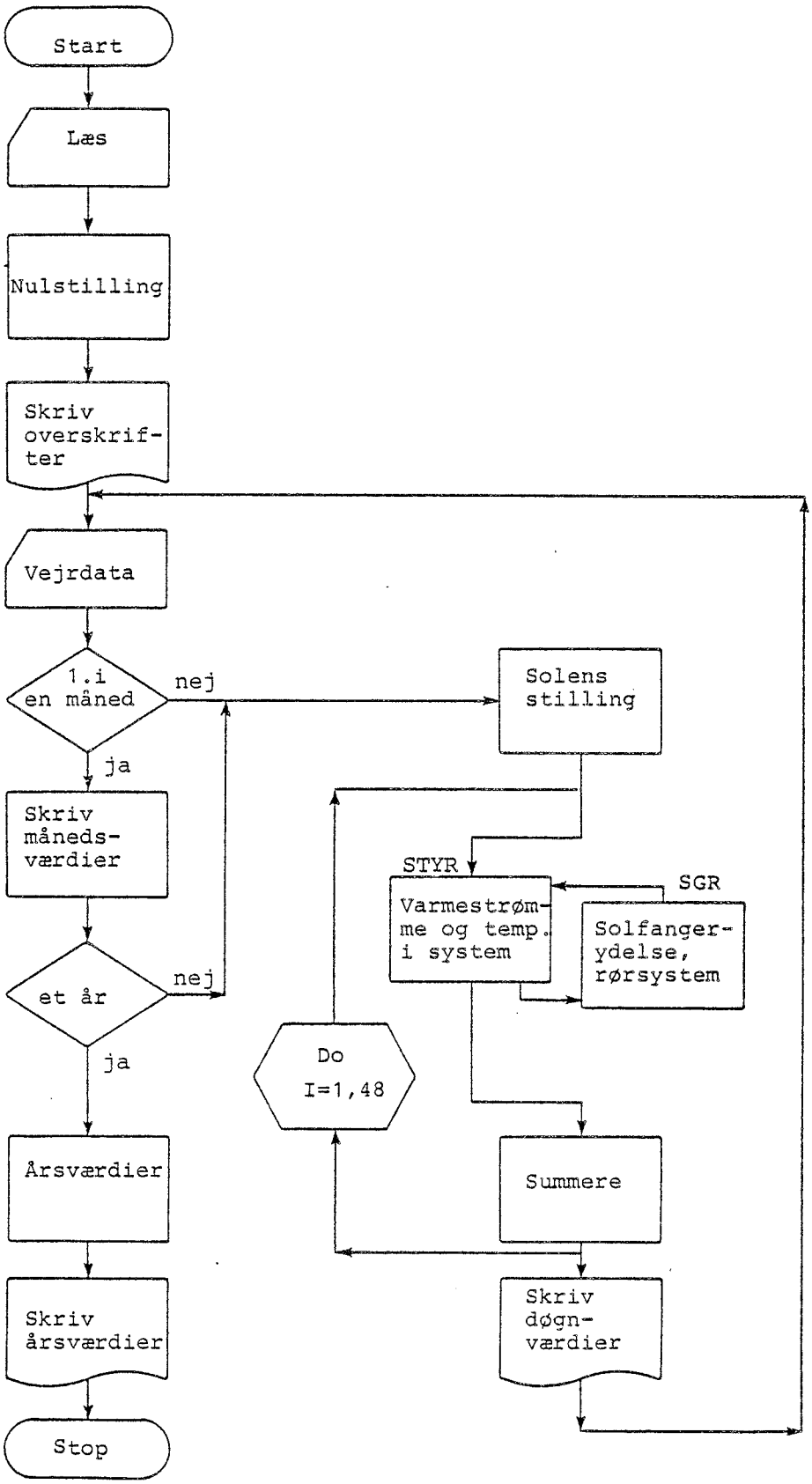


Fig. 5.1 Flowdiagram for hovedprogrammet i SVS-programmet (SolVarmeSystem). I hovedprogrammet kaldes en række underprogrammer der administrerer data, udfører beregninger eller udskriver resultater.

Programmet er skrevet i fortran, og beregningerne er udført på NEUCC's (Danmarks tekniske Højskoles EDB-center) IBM 3033.

5.3 Beskrivelse af styreroutinen

Styreroutinen (STYR på fig. 5.1) beregner varmestrømmene og temperaturerne i solvarmesystemet fra lagerbeholderen til forbrugsstederne. For hvert solvarmesystem, der skal simuleres med SVS-programmet, skal der opbygges en styreroutine, der beskriver det aktuelle system. I dette tilfælde er varmetab fra rørsystemerne i hele systemet taget med. Det gælder det varmetab, der er ved start af en pumpe eller en tapning, hvor et koldt rørsystem opvarmes, det såkaldte kapacitetstab. Og det gælder varmetab under drift fra det opvarmede rørsystem ved transmission gennem rørisoleringen, det såkaldte transmissionstab.

5.4 Beregninger på opvarmningssystemet

Der vil i beregningerne blive anvendt to forskellige opvarmningsformer, almindelige radiatorer (vandvarmeovne) og gulvvarmesystemer med vandførende rør.

Radiatorer

Beregninger herpå er udført i overensstemmelse med ref. 6.

Ifølge denne er ydelsen af en radiator givet ved

$$Q = R\ (\Delta m)^n \qquad W$$

hvor R er radiatorens størrelse $W/^oC^n$

n radiatoreksponenten ubenævnt

Δm den logaritmiske middeltemperaturdif. ^oC

Radiatoreksponenten afhænger af radiatorens udformning, herunder højden af radiatoren, samt af afkølingen over radiatoren. Fig. 5.2 viser et eksempel på radiatoreksponentens afhængighed af radiatorens højde og af afkølingen.

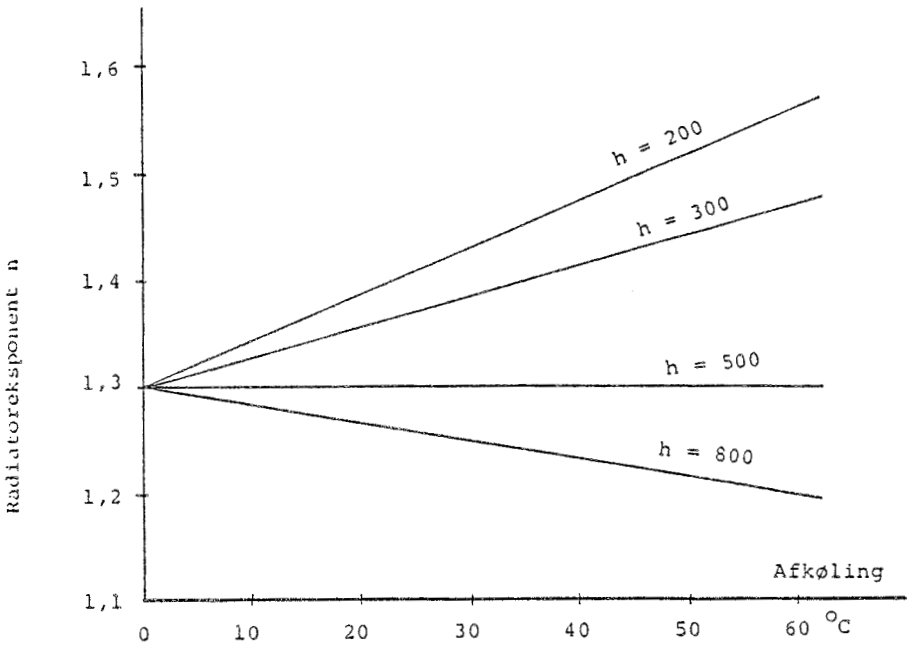


Fig. 5.2 Eksempel på radiatoreksponentens afhængighed af afkølingen og radiatorens højde (h). Fra ref. 6.

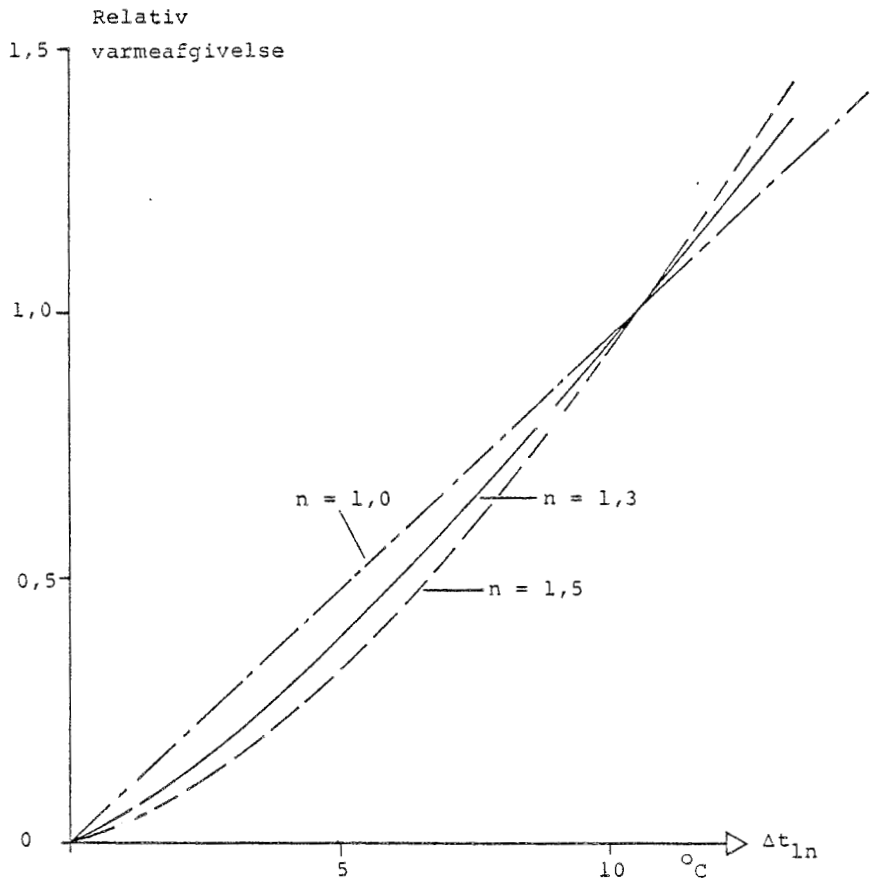


Fig. 5.3 Radiatorernes relative varmeafgivelse som funktion af den logaritmiske middeltemperaturdifferens med radiatoreksponenten som parameter. Varmeafgivelsen sat til 1,0 for Δt_{ln} = 10,5°C

Fig. 5.3 viser en radiators varmeafgivelse for forskellige radiatoreksponenter i afhængighed af den logaritmiske middeltemperaturdifferens. Der vil i denne rapport, med mindre andet er angivet, blive anvendt en radiatoreksponent på 1,3,uafhængig af afkølingen.

Den logaritmiske middeltemperaturdifferens er defineret ved

$$m = \frac{t_f - t_r}{\ln \frac{t_f - t_\ell}{t_r - t_\ell}}$$

hvor t_f er fremløbstemperaturen ^{o}C

t_r returtemperaturen ^{o}C

t_ℓ den omgivende lufts temperatur ^{o}C (rumtemperaturen)

Størrelsen R bliver således et udtryk for radiatorens størrelse.

For radiatorens varmebalance gælder

$$Q = G \cdot c_p(t_f - t_r) \quad W$$

hvor G er den gennemstrømmende vandmængde kg/s

c_p vandets varmekapacitet $J/kg^{o}C$

På grundlag heraf kan der opstilles et ligningssystem til beregninger på et radiatorsystem. Dette fremgår af ref.6 og er anvendt i denne rapport.

Det skal bemærkes, at der i ref. 6 er foretaget en sammenligning mellem målinger af radiatorers varmeafgivelse og beregninger foretaget efter ovennævnte metode. Den maximale afvigelse mellem målinger og beregninger er fundet til 10%.

Radiatorsystemerne dimensioneres efter en udelufttemperatur på $-12^{o}C$. Dimensioneringstilstanden angives ved den dimensionerende fremløbstemperatur og den dimensionerende returtemperatur adskilt ved en skråstreg,f.eks 60/40.Herved er radiatorstørrelsen R, og den dimensionerende gennemstrømning G, fastlagt og kan bestemmes ud fra de angivne formler.

Størrelsen af radiatorernes samlede varmeflade angives ved det dimensionerende varmetab divideret med den logaritmiske middeltemperaturdifferens i dimensioneringstilstanden

$$R_s = \frac{Q_{dim}}{(\Delta m)_{dim}} \qquad W/^oC$$

Størrelsen R_s, som oftest benyttes i kataloger, får således enheden $W/^oC$, og angiver radiatorernes størrelse uden at fastlægge den gennnemstrømmende væskemængde. Således vil dimensioneringstilstandene 60/22 og 40/26 begge svare til en varmefladestørrelse på ca. 585 $W/^oC$, ved et dimensionerende varmetab på 6100 W. Radiatorerne i de to systemer er altså lige store, hvorimod den dimensionerende gennemstrømmende væskemængde er forskellig, henholdsvis 138 l/h og 373 l/h. Der skal altså til radiatorsystemet 40/26 anvendes større rør og/eller pumpe end til systemet 60/22.

Gulvvarme

For gulvvarmesystemer antages varmeafgivelsen at være proportional med den logaritmiske middeltemperaturdifferens. Idet temperaturdifferencerne med et gulvvarmesystem altid er små, har radiatoreksponenten her ikke stor betydning.

Bestemmelse af fremløbstemperaturen

Fremløbstemperaturen kan være bestemt på følgende måder.

1) Kedeltermostat og en manuel blandeventil.
2) Halvautomatisk regulering - konstant fremløbstemperatur, lavere end kedeltemperaturen.
3) Termostatisk blandeventil - fremløbstemperaturen styres af varmebehovet ved hjælp af en eller flere rumfølere.
4) Udekompensering - Fremløbstemperaturen styres af udeluft-temperaturen. Evt. også efter solindfald og vindhastighed.

Vandgennemstrømningen vil i almindelighed for radiatorers vedkommende styres af radiatortermostater. Til gulvvarmeanlæg

kan der normalt ikke anvendes radiatortermostater på almindelig vis, til gengæld vil der ofte ske en vis form for selvregulering.

En nærmere beskrivelse af de forskellige styreformer vil fremgå af kap. 9 , hvor der også foretages en analyse af styringens betydning for solvarmeanlæggets ydelse.

5.5 Beskrivelse af solfangerroutinen

Solfangerroutinen foretager som nævnt beregninger på solfangerens ydelse, samt på rørsystemet fra solfangeren til lagerbeholderen, herunder varmeveksleren i lagerbeholderen. Input til routinen vil derfor være lagerbeholderens temperatur, solindfaldet, udelufttemperaturen samt en matematisk beskrivelse af solfangeren, rørsystemet og varmeveksleren.

Solfangerens varmekapacitet, varmekapaciteten og varmetransmissionskoefficienten af rørsystemet har stor betydning for solfangerkredsens opførsel, omend betydningen for ydelsen er væsentlig mindre end de samlede tab forårsaget heraf. Dette hænger sammen med solfangerydelsens temperaturafhængighed, idet et tab betyder en lavere temperatur i systemet og dermed en højere effektivitet af solfangeren.

Tabets betydning for ydelsen er endvidere stærkt afhængig af det betragtede system. I et system uden lagerbeholder, f.eks et solvarmesystem koblet på returledningen i et fjernvarmenet, hvor energien anvendes samtidig med at den produceres, vil hele tabet i rørsystemet være tabt. I et brugsvandsanlæg, hvor der kan tappes af systemet indtil lagerbeholderen når ned på en temperatur svarende til temperaturen på det kolde brugsvand, vil tabet i rørsystemet have ringe indflydelse på den nyttiggjorte ydelse. Et fald i lagertemperatur vil kun betyde at ydelsen bliver lidt mindre, samtidig med at effektiviteten af solfangeren stiger. Se ref. 7 . I et solvarmeanlæg til rumopvarmning er temperaturen i lagerbeholderen anderledes afgørende. Er fremløbstemperaturen til radiatorerne f.eks 35°C og returtemperaturen 25 °C, vil en lagertemperatur på 30 °C

betyde, at halvdelen af rumvarmebehovet kan dækkes. Falder lagertemperaturen til 25 °C, kan der ikke dækkes noget. Det skal i den forbindelse erindres, at den største del af ydelsen fra et anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand i almindelighed går til rumopvarmning.

Det gælder således, at tab i rørsystemet er af væsentlig større betydning i et anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand end i et rent brugsvandsanlæg.

Beregning af solfangerens ydelse

Beregning af solfangerens ydelse sker på grundlag af solfangerens målte effektivitetskurve (se ref. 3 og fig. 3.2). Denne kan skrives

$$\eta = \eta_o - (K_o + K_1(t_m - t_a)) \frac{t_m - t_a}{I_k}$$

hvor η er solfangerens øjeblikkelige effektivitet

t_m er solfangervæskens middeltemperatur °C

t_a udelufttempemperaturen °C

I_k solindstrålingen, der når middelvæske W/m^2

η_o er solfangerens effektivitet, når $t_m = t_a$

K_o og K_1 er varmetabskoefficienter i $W/m^2 \cdot °C$ og $W/m^2 \cdot °C^2$.

Varmetabskoefficienterne er afhængig af vindhastigheden, hvilket der ikke er taget hensyn til. De anvendte koefficienter gælder for en vindhastighed større end 5 m/s. Solfangerne i Greve og Gentofte er begge forsynet med to lag glas. Varmetabskoefficienten for disse er mindre temperaturafhængig end for solfangere med et lag glas, hvilket målingerne synes at bekræfte.

Absorberens middeltemperatur sættes lig udelufttemperaturen ved solopgang, og ud fra en varmebalance beregnes pladetemperaturens stigning i løbet af dagen under hensyntagen til solfangerens effektive varmekapacitet. Den effektive varmekapacitet

tager hensyn til, at glasset, isoleringsmaterialet og kassen antager en temperatur,der er højere end omgivelsernes temperatur, men mindre end pladetemperaturen (ref. 17). Når pladetemperaturen når op på en temperatur større end lagertemperaturen plus startdifferencen, antages solfangerpumpen at starte. En stor varmekapacitet vil forsinke opstarten. Derefter er pladetemperaturen foruden solindfaldet bestemt af lagertemperaturen, varmevekslerens effektivitet m.v.

Absorberen vil ofte have en overtemperatur i det øjeblik pumpen starter (stor startdifferens), den opmagasinerede energi vil blive nyttiggjort i starten af en driftsperiode.

Under drift vil varmekapiciteten af solfangeren have en udlignende effekt på udbyttet, idet der i takt med det svingende solindfald oplagres og tappes energi fra absorberen.

Når pladetemperaturen når ned under lagertemperaturen plus stopdifferencen, antages pumpen at stoppe. Den energi, der er oplagret i solfangeren, er derefter tabt, for så vidt pumpen ikke går i gang igen, inden absorbertemperaturen er faldet til omgivelsernes temperatur.

Klein (ref.8) har foretaget en grundig beregning af solfangerens varmekapacitets betydning for ydelsen. Han finder, at den udlignende effekt ikke har nogen betydning for ydelsen, hvorimod det han kalder lagringseffekten, temperaturopbygningen og tabet af den oplagrede energi ved stop af pumpen, betyder et fald i udbyttet i størrelsesordenen 5 til 10%. Tidskonstanten for en springvis ændring i solindfaldet finder han til ca. 5 min., den er således mindre end tidssteppet på 15 minutter, der er anvendt i modellen. At tidssteppet er større end tidskonstanten er en betingelse for at kunne regne stationært.

Beregninger på rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder

Det er praktisk at opdele tabet forårsaget af rørsystemet i to dele, kapacitetstabet og transmissionstabet.

Kapacitetstabet er den varmemængde, der går til opvarmning af rørene og væsken i rørene. Når pumpen starter, vil rørsystemets temperatur ofte være betydelig lavere end lagertemperaturen, og kapacitetstabet vil derfor være stort. Under drift

vil temperaturen som regel være stigende, idet temperaturen i lagerbeholderen vil stige, men ved faldende solindfald falder temperaturen i rørsystemet, og kapacitetstabet vil være negativt, idet der trækkes energi ud af rørsystemet. Kapacitetstabet er således afhængigt af rørsystemets længde og rørdimension samt af placeringen af rørsystemet - indendørs eller udendørs.

Transmissionstabet er varmetabet fra rørsystemet til omgivelserne under drift. Det er således først og fremmest afhængigt af rørsystemets isoleringsstandard, herunder om pumpe, ventiler m.v. er isoleret samt af rørsystemets placering.

Ved beregningen sættes temperaturen af rørsystemet enten lig temperaturen af udelufttemperaturen ved solopgang, eller rumtemperaturen. Uden for drift beregnes temperaturen ud fra den eksponentielle varmetabskoefficient, under drift sættes middeltemperaturen af rørsystemet lig middeltemperaturen af væsken i absorberen.

Temperaturlagdeling i lagerbeholderen

Det er forudsat i alle beregninger i denne rapport, at temperaturen er ens overalt i lagerbeholderen. I virkeligheden vil temperaturen i bunden af beholderen ofte være lavere end i toppen af beholderen, da det afkølede vand fra forvarmebeholder og radiatorer tilføres bunden af beholderen. Derved kan der opnås en højere ydelse af solvarmeanlægget, idet middeltemperaturen omkring varmeveksleren i solfangerkredsen så bliver lavere, forudsat at varmeveksleren er anbragt i bunden af beholderen.

I anlægget i Gentofte har der været en udpræget temperaturlagdeling. Da anlægget, som det vil fremgå af kap. 8, har fungeret som et overdimensioneret anlæg, har temperaturlagdelingen dog ikke haft nogen betydning for ydelsen.

I Greve har der ikke været ret meget temperaturlagdeling. Beholderen er lang og slank, og returvandet fra forvarmebeholderen og radiatorerne ledes ind et stykke oppe i beholderen, således at der sker en vis omrøring.

Det fremgår af ref. 13, at udnyttelse af temperaturlagdelingen for et brugsvandsanlæg betyder en forøgelse af ydelsen på omkring 10%. Undersøgelser i udlandet (Holland og USA) tyder på, at udnyttelse af temperaturlagdeling i forbindelse med kombinerede anlæg kan forøge ydelsen med 10-20%, idet der dog hersker en del uenighed på dette punkt.

6. VERIFIKATION AF EDB-MODEL

6.1 Indledning

Et af formålene med at foretage de omfattende målinger i Greve og Gentofte var at kunne kontrollere og forbedre beregningsprogrammer til solvarmesystemer. De således forbedrede beregningsprogrammer kan derved give mere pålidelige beregninger på andre systemer med andre komponenter og til en vis grad andre systemløsninger. Kontrollen med EDB-modellen er hovedsagelig baseret på målingerne fra Greve, idet systemløsningen der er anvendt her har vist sig hensigtsmæssig.

Konkluderende kan det nævnes, at det ved en udbygning af EDB-modellen er lykkedes at få beregningerne til at stemme godt overens med målingerne, både hvad angår ydelse, dækning, tab og driftstid.

I nærværende kapitel vil sammenligningen blive præsenteret, og det vil blive anført hvilke parametre, der har været kritiske i beregningen. I kapitel 7 og 8 vil der på grundlag heraf blive foretaget en analyse af anlæggene i Greve og Gentofte.

6.2 Sammenligningsgrundlag

Af de to års målinger i Greve er der udvalgt en periode på et år, som anvendes i denne sammenhæng. Udvælgelsen er sket ud fra måletiden, således at der i det udvalgte år, juli 79 - juni 80, forefindes målinger for 95% af tiden. Endvidere har solindfaldet ikke afveget så meget fra normalen, og huset har været beboet i hele perioden.

Fig. 6.1 viser måletiden i de enkelte måneder. I måneder med manglende måletid er de målte værdier korrigeret, så de svarer til en hel måned. I beregningerne er der af praktiske grunde anvendt værdier fra referenceåret. Det kan derfor ikke forventes, at der er overensstemmelse mellem målinger og beregninger i måneder, hvor der er længere perioder uden målinger. Det drejer sig om månederne oktober og november, samt i mindre grad juli og december.

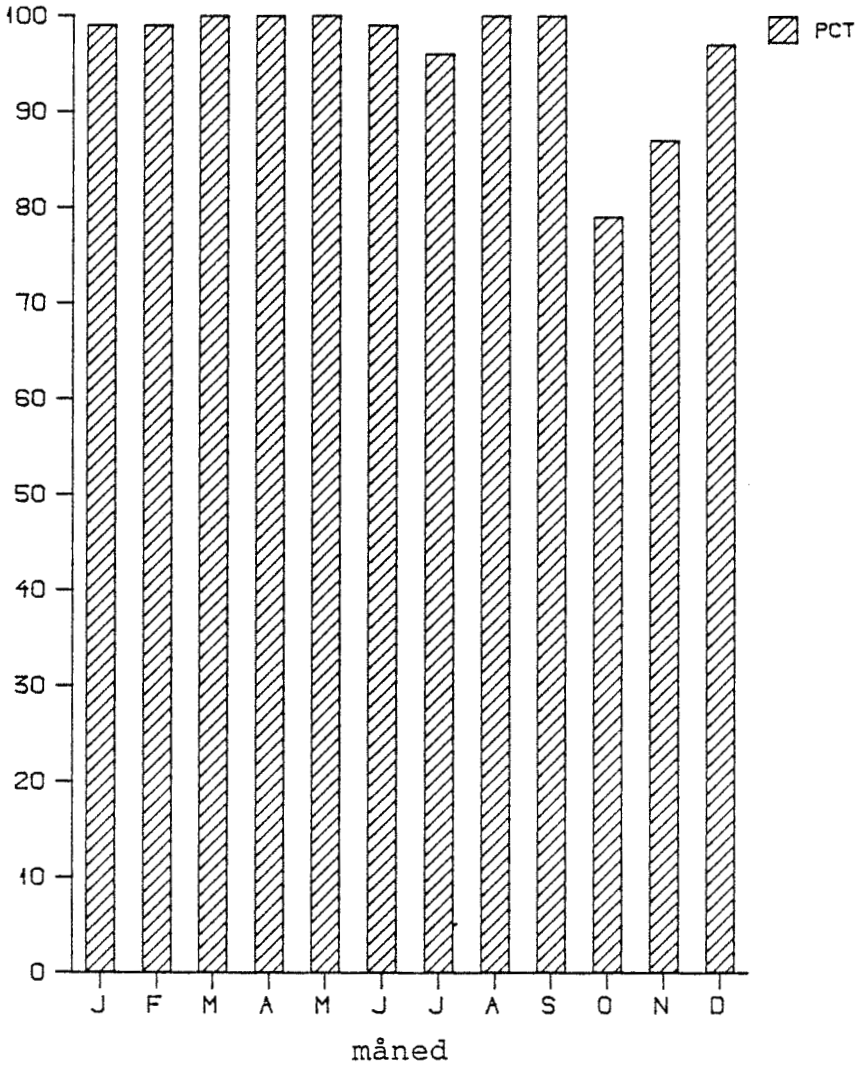


Fig. 6.1 Måletid i % i de enkelte måneder for det år fra målingerne i Greve, der anvendes til verifikation af EDB-modellen. Måleåret går fra juli 1979 til juni 1980 - der begyndes dog med januar måned.

Som nævnt omfatter målingerne kvartersværdier af solindfaldet hvilket gør at beregningen af solfangerudbytte kan gøres ret detaljeret. Desværre er udbyttet af solfangeren kun registreret som timeværdier, således at det ikke er muligt at verificere de beregnede svingninger i solfangerens udbytte inden for timen.

Ved sammenligningen mellem målinger og beregninger er der anvendt det faktisk målte solindfald - diffust og direkte, samt det målte forbrug til brugsvand og rumopvarmning. Endvidere er der anvendt de målte størrelser for lagerbeholderens varmetab, varmevekslerens varmeoverføringsevne samt rørsystemets længde, dimension og isoleringstykkelse. Vedrørende bestemmelse af disse henvises til ref. 1.

Fremløbstemperaturen er bestemt efter den kurve, der har været indstillet på udekompenseringsanlægget. Der har i måleåret været anvendt 3 forskellige kurver, B, C og D, som det fremgår af fig. 7.2.

Til varmesystemet i Greve er der som nævnt koblet et døgn- og ugeur til sænkning af fremløbstemperaturen. I perioden har uret været indstillet til at sænke fremløbstemperaturen med 15 ^{o}C fra kl. 23 til kl. 05 og fra kl. 8.30 til kl. 10.30, lørdag og søndag har der kun været sænkning i nattetimerne. Dette er taget med i modellen, idet det dog skal bemærkes, at fremløbstemperaturen ikke kan blive lavere end temperaturen i lagerbeholderen, således at fremløbstemperaturen ofte ikke kan sænkes.

Verifikationen er rent praktisk foretaget skridtvis ved at indsætte målte størrelser for visse parametre. For eksempel kan beregningen af solfangerens udbytte kontrolleres ved i beregningen at anvende den målte tanktemperatur, hvorved usikkerheden på beregningen af tapninger, tab fra lagerbeholder m.v. elimineres.

6.3 Ydelse og dækningsgrad

Den udnyttede ydelse er målt til 107 kWh/m^2·år og beregnet til 109 kWh/m^2·år, den tilhørende dækningsgrad er 28%. Heraf er 71% brugt til rumopvarmning og 29% til varmt brugsvand, både målt og beregnet.

Fig. 6.2 - 6.6. viser sammenligning af beregnede og målte månedsværdier. I månederne december og januar er såvel solfangernes ydelse som dækningen af forbruget målt noget lavere end beregnet. Dette skyldes, at solfangeren i perioder har været dækket af sne, som først skal smeltes af, inden solfangeren kan give udbytte, se kapitel 4. Reduktionen i udbyttet på grund af tildækning af solfangeren med sne er muligvis en del større end sammenligningen viser, idet solindfaldet er målt for lavt, da solarimetrene også har været dækket af sne i perioder. I Gentofte, hvor sneen har haft lettere ved at glide af, er udbyttet ikke tilsvarende reduceret.

Fig. 6.7 og 6.8 viser den målte og beregnede dækning med solenergi for perioden 4. april til 6. april.

6.4 Driftstid af solfangeren

Driftstiden er ret afhængig af solfangerens varmekapacitet og af indstillingen af start- og stopdifferencen på differenstermostaten. Imidlertid viser det sig, at solfangerens ydelse ikke er særlig afhængig af solfangerens varmekapacitet og indstilling af start- og stopdifferens. Dette gælder dog ikke ved en indstilling af stopdifferencen på en negativ værdi. En generel analyse af betydning heraf fremgår af kapitel 9.

Fig. 6.9 viser driftstiden og ydelsen af anlægget i Greve for forskellige varmekapaciteter af solfangeren. Den aktuelle effektive varmekapacitet af solfangeren i Greve er 31 kJ/m^2·^{o}C, hvilket er en relativ høj værdi, der hovedsagelig skyldes at solfangeren har et meget stort væskeindhold, 3,5 l/m^2 mod normalt ca. 1 l/m^2. Den store varmekapacitet bevirker

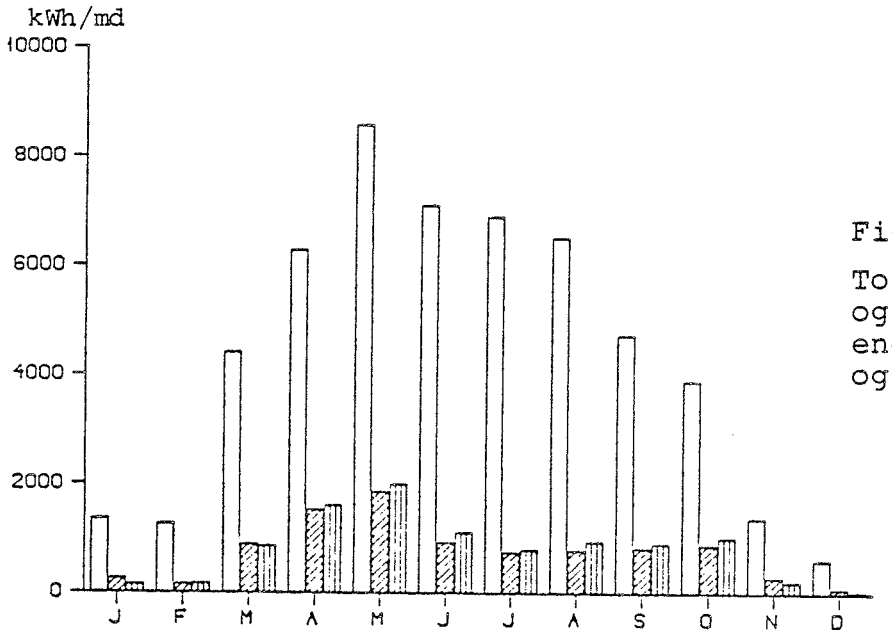


Fig. 6.2

Totalt solindfald og absorberet sol-energi, beregnet og målt.

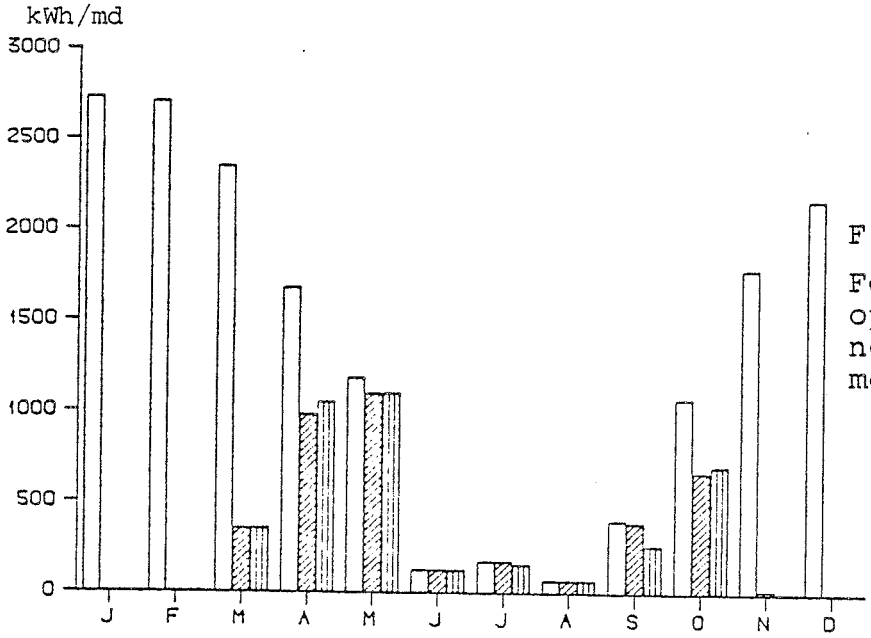


Fig. 6.3

Forbrug til rum-opvarmning, bereg-net og målt dækning med solvarme.

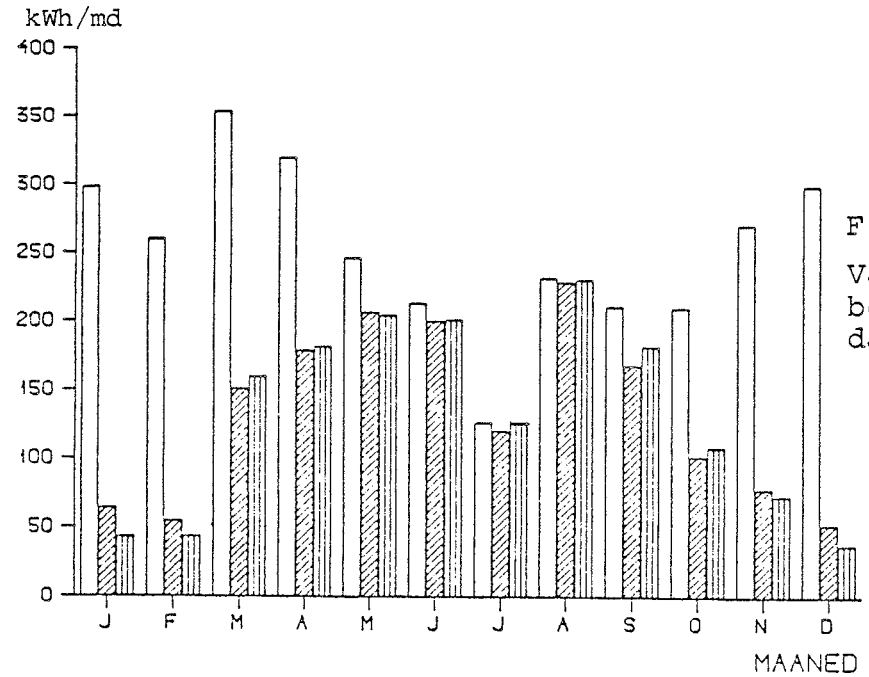


Fig. 6.4

Varmtvandsforbrug, beregnet og målt dækning med solvarme

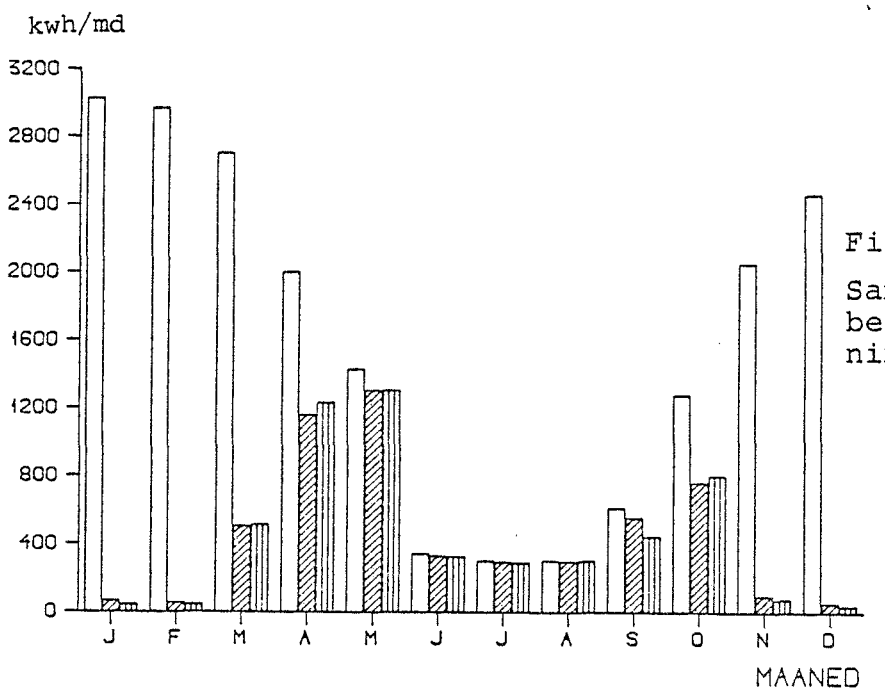


Fig. 6.5

Samlet varmeforbrug, beregnet og målt dækning med solvarme.

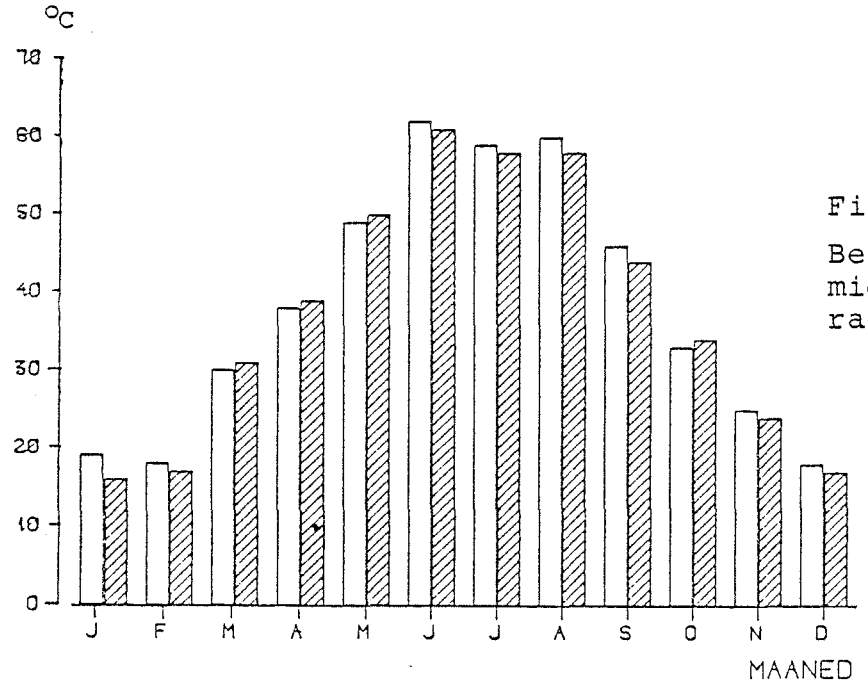


Fig. 6.6

Beregnet og målt middellagertemperatur.

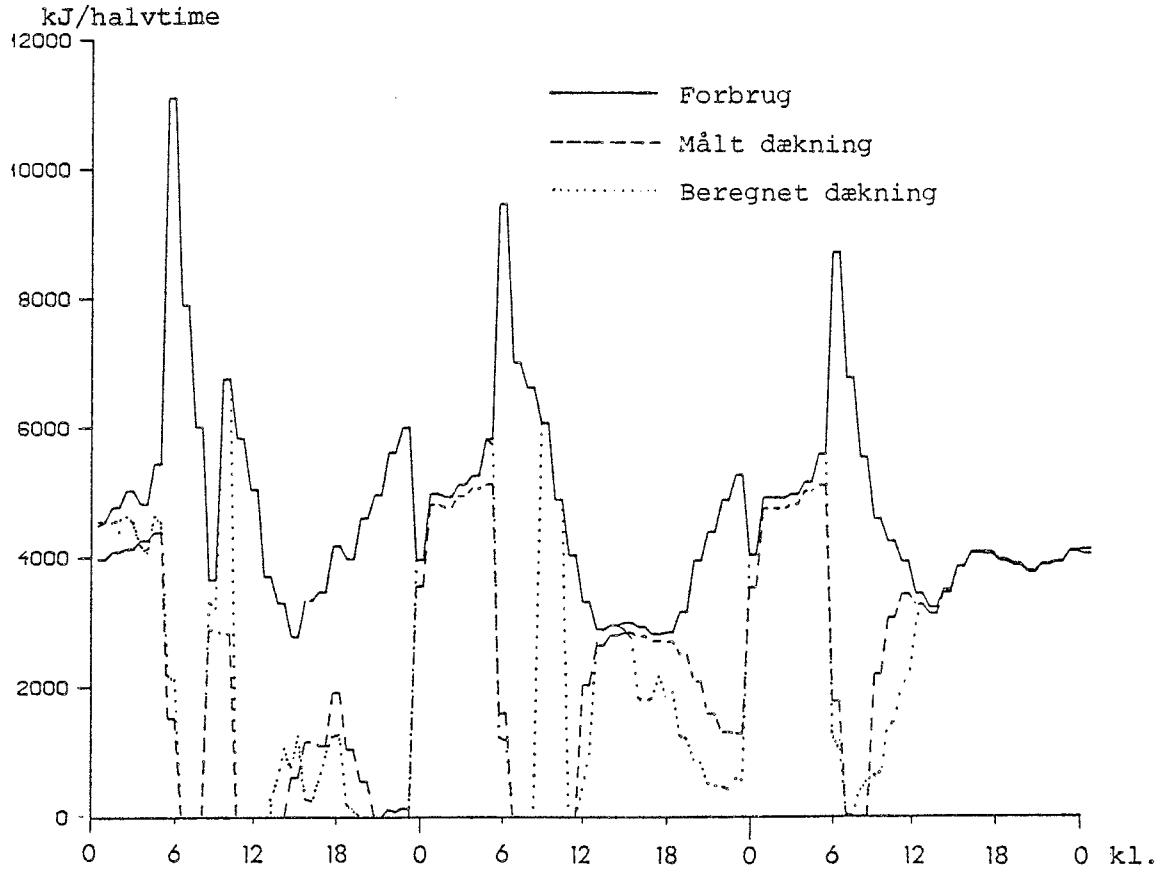


Fig. 6.7 Forbruget til rumopvarmning samt målt og beregnet dækning med solvarme. 4-6 april.

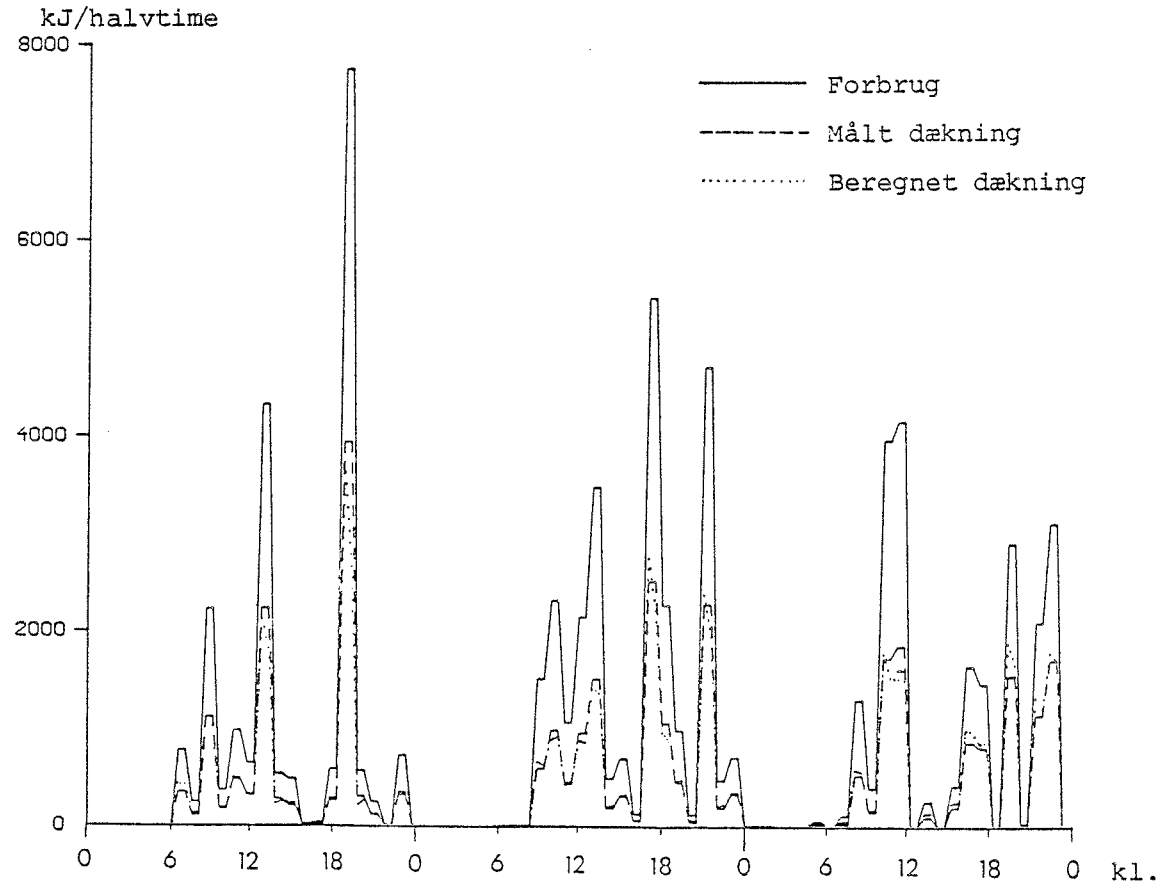


Fig. 6.8 Forbruget til varmt brugsvand samt målt og beregnet dækning med solvarme.

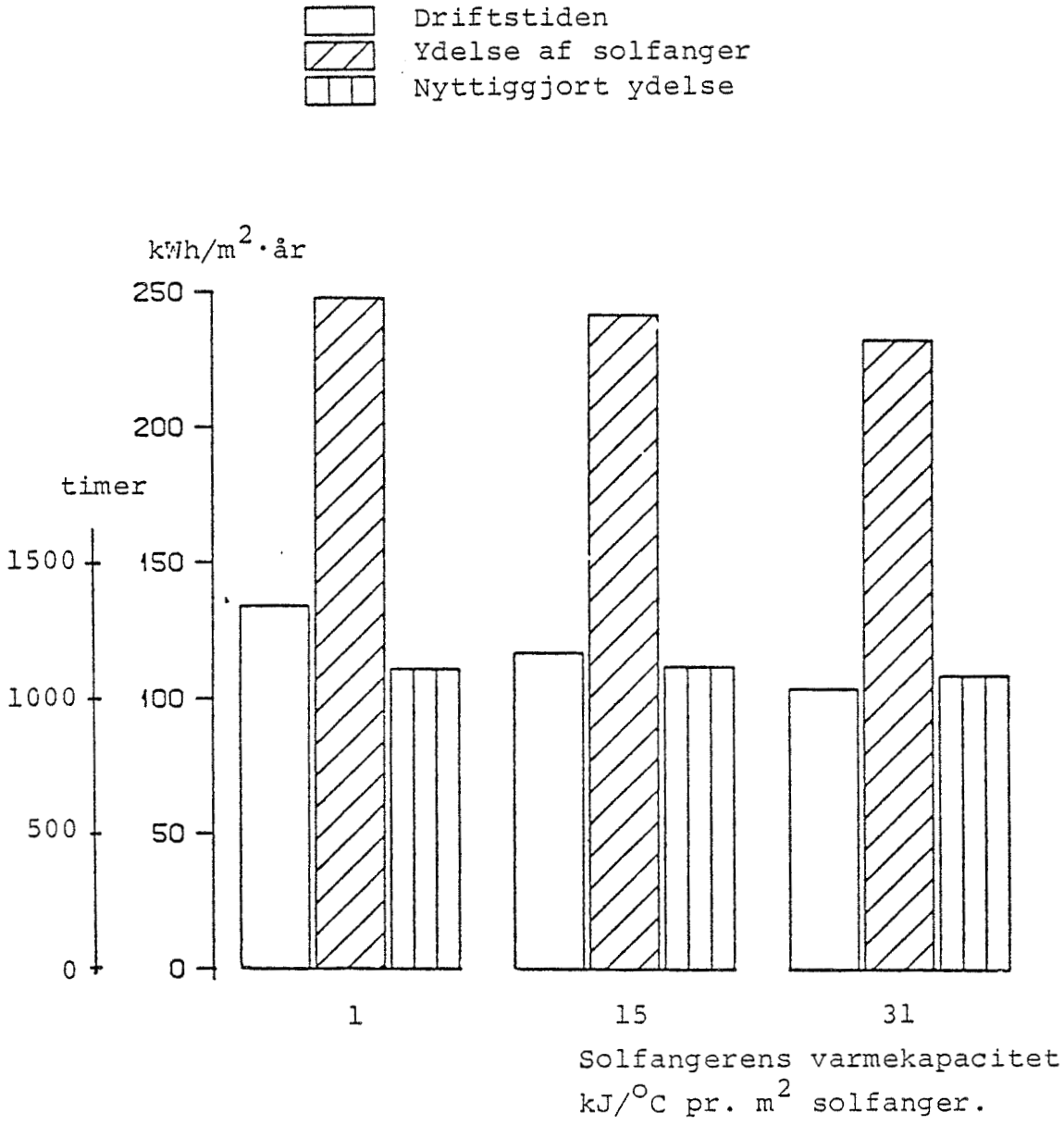


Fig. 6.9 Driftstiden, ydelsen af solfangeren og den nyttiggjorte ydelse i afhængighed af solfangerens varmekapacitet. Gældende for anlægget i Greve.

et fald i driftstiden på 23%. Imidlertid falder solfangerens ydelse kun med 6% og den nyttiggjorte energi kun med 3%, hvilket er samme størrelsesorden som fundet af Klein (ref.8). Forklaringen herpå ligger hovedsagelig deri, at de driftstimer man mister, altså de timer hvor varmekapaciteten bevirker at absorbertemperaturen ikke når op over startdifferencen, er de timer hvor effektiviteten er meget lav.

I perioden juli til december i måleåret har stopdifferencen på differenstermostaten stået på 3 ^{o}C, i resten af måleåret har den stået på ca. 0,5 ^{o}C. Af fig. 6.10 fremgår driftstiden i måleåret i de enkelte måneder, dels målt, dels beregnet med en stopdifferens på henholdsvis 3 ^{o}C og 0,5 ^{o}C. Driftstiden er som det ses væsentligt reduceret i efterårsmånederne som følge af den høje stopdifferens. Imidlertid har dette ikke nogen væsentlig betydning for ydelsen, den beregnede ydelse med en stopdifferens på 3,0 ^{o}C er kun reduceret med 1% i forhold til ydelsen ved en stopdifferens på 0,5 ^{o}C.

Ved en indstilling af stopdifferencen på 3 ^{o}C vil solfangerpumpen stoppe for tidligt, derefter vil absorbertemperaturen stige indtil den når op over startdifferencen, hvorpå pumpen starter igen. Den energi, der er blevet oplagret i absorberen og væsken under stilstandsperioden, vil blive nyttiggjort når (og hvis) pumpen starter igen.

Ydelsen vil altså ikke falde væsentligt, mens pumpen vil starte og stoppe meget oftere. Ved en stopdifferens på 0,5 ^{o}C er antal pumpestarter beregnet til 263 gange om året, mens pumpen for en stopdifferens på 3 ^{o}C starter 334 gange om året. Dette gælder for en varmekapacitet af solfangeren på 31 kJ/m^{2} ^{o}C, svarende til Greve-solfangeren. Ved en lavere varmekapacitet vil pumpen starte oftere. Beregningen af antal pumpestarter er naturligvis begrænset af tidssteppet på 15 minutter.

Det fremgår iøvrigt af fig. 6.10, at der er god overensstemmelse mellem den målte og den beregnede driftstid, når der tages hensyn til indstillingen af stopdifferencen.

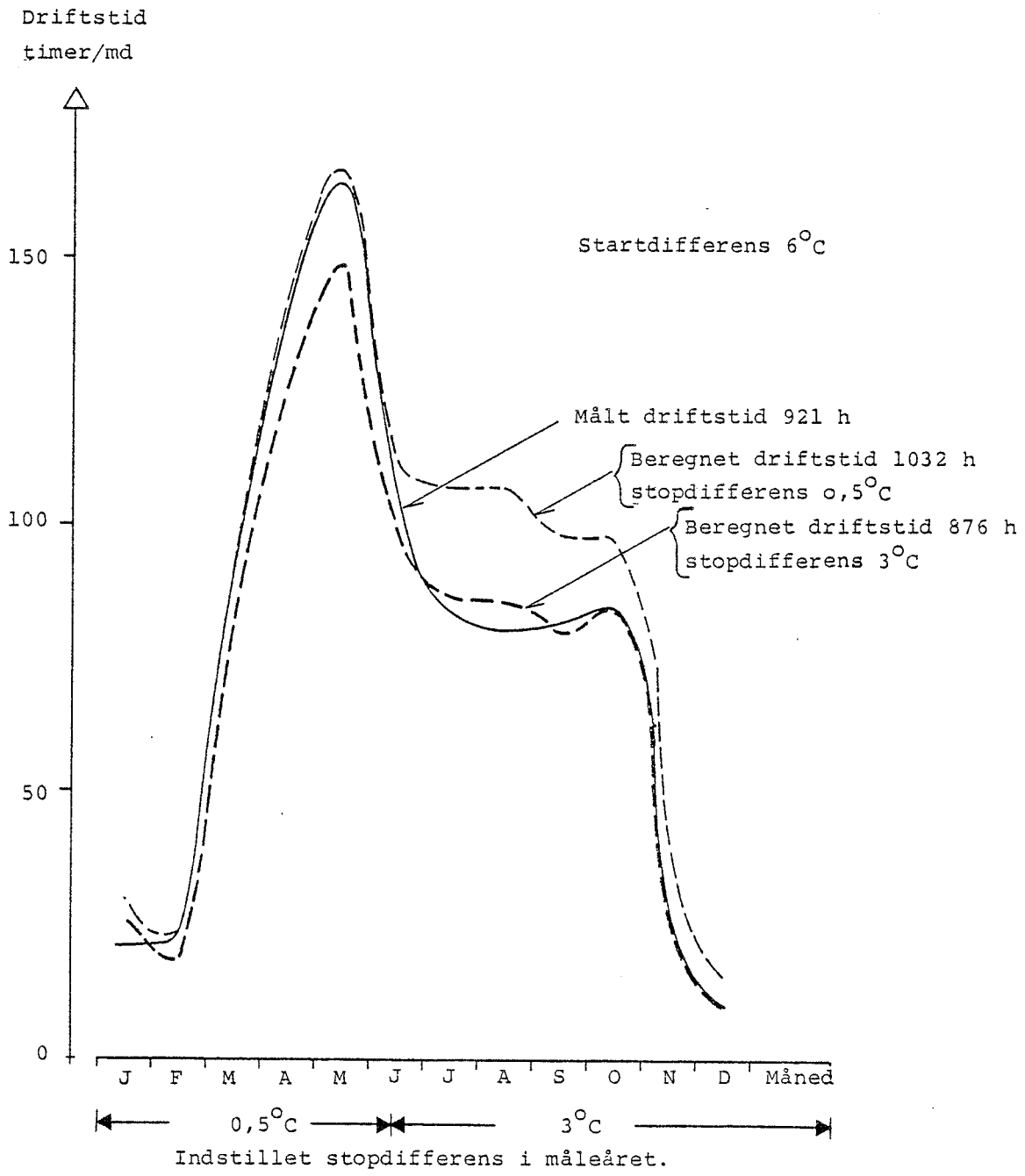


Fig. 6.10 Driftstiden af solfangeren i måleåret, målt og beregnet.

6.5 Varmetab fra rørsystemet

Af måletekniske grunde er tabet fra rørsystemet kun målt for en mindre del af rørsystemet og usikkerheden på målingen er stor. Endvidere er det ikke muligt at måle transmissionstab og kapacitetstab hver for sig, hvorfor beregninger af disse ikke umiddelbart kan sammenlignes med målinger.

Transmissionstabet er imidlertid ret ukompliceret at beregne, når rørsystemets varmetabskoefficient er kendt. Der er i beregningerne anvendt en varmetabskoefficient, der er beregnet ud fra en opmåling af systemet, herunder er der taget hensyn til uisolerede rørstrækninger, ventiler m.v. Se ref.1.

Kapacitetstabet er mere kompliceret. Som tidligere nævnt forekommer den største del af kapacitetstabet i begyndelsen af en driftsperiode lige efter at pumpen er startet. Det beregnede kapacitetstab kan derfor sammenholdes med målingerne ved at se på ydelsen lige efter at pumpen er startet, hvilket dog kompliceres af at målingen af ydelsen kun findes som timeværdier.

Varmekapaciteten af rørsystemet (rør og væske) er beregnet til 800 kJ/^{o}C. Ved ovennævnte metode viser det sig, at der kun forekommer et kapacitetstab svarende til en varmekapacitet på ca. 650 kJ/^{o}C. Dette må skyldes, at den del af rørsystemet, der befinder sig i nærheden af solfangerelementerne og lagerbeholderen, varmes op ved ledning fra solfangerelementerne henholdsvis lagerbeholderen.

Fig. 6.11 viser størrelsen af rørtabene i de enkelte måneder, vedrørende betydningen af disse for ydelsen henvises til afsnit 9.10.

Fig. 6.12 og 6.13 viser udbyttet af solfangeren,målt og beregnet. Der er eksempelvis den 4/4 beregnet store udsving i ydelsen, på grund af varmekapaciteten. Imidlertid forsvinder disse udsving, som det ses, i de målte timeværdier, men middelværdien, den faktiske ydelse, er den samme målt og beregnet.

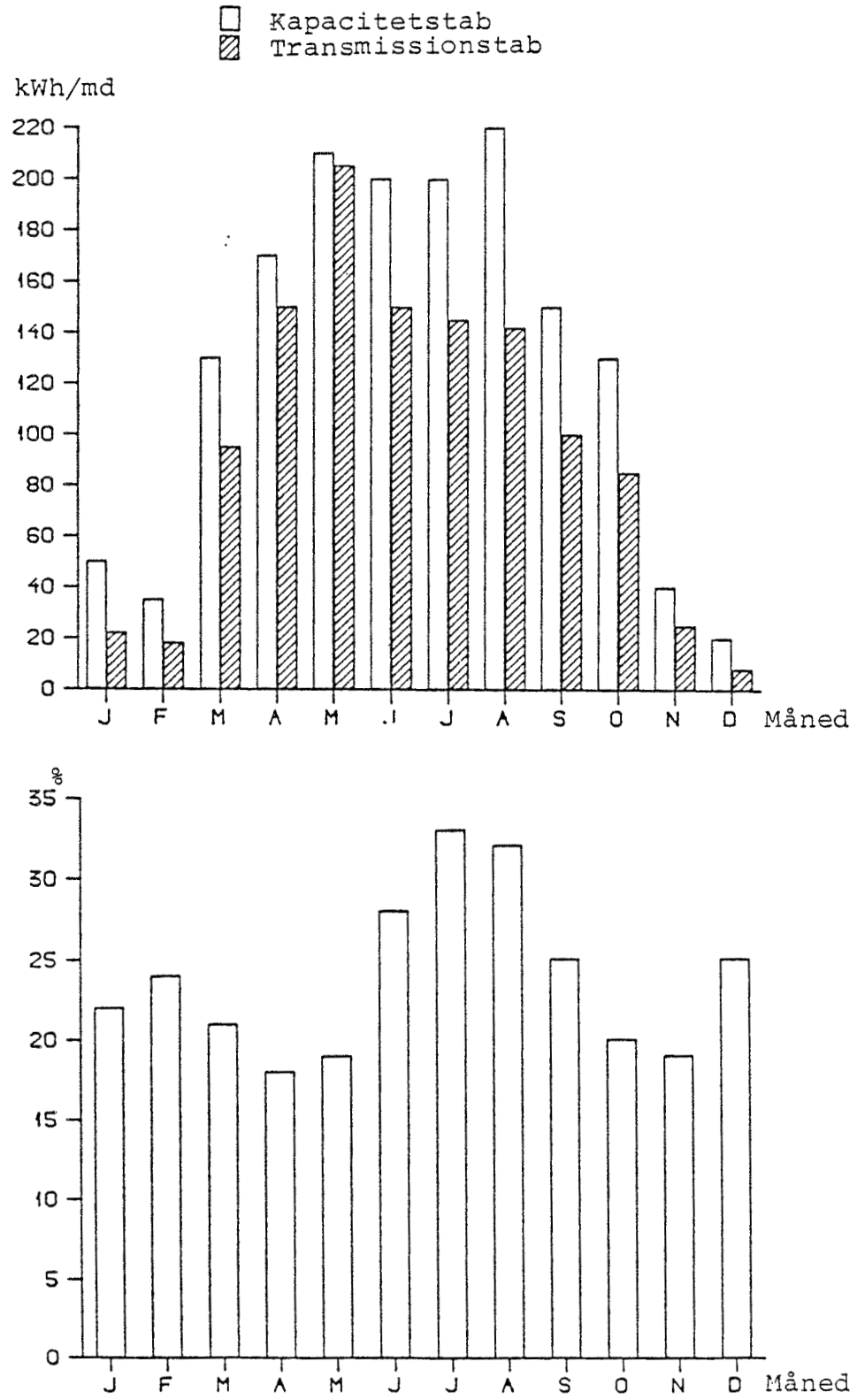


Fig. 6.11 Kapacitetstabet og transmissionstabet fra rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder. Gældende for anlægget i Greve. Beregnede værdier
Øverst: Absolutte værdier.
Nederst: Summen af de to tab i procent af solfangerens ydelse.

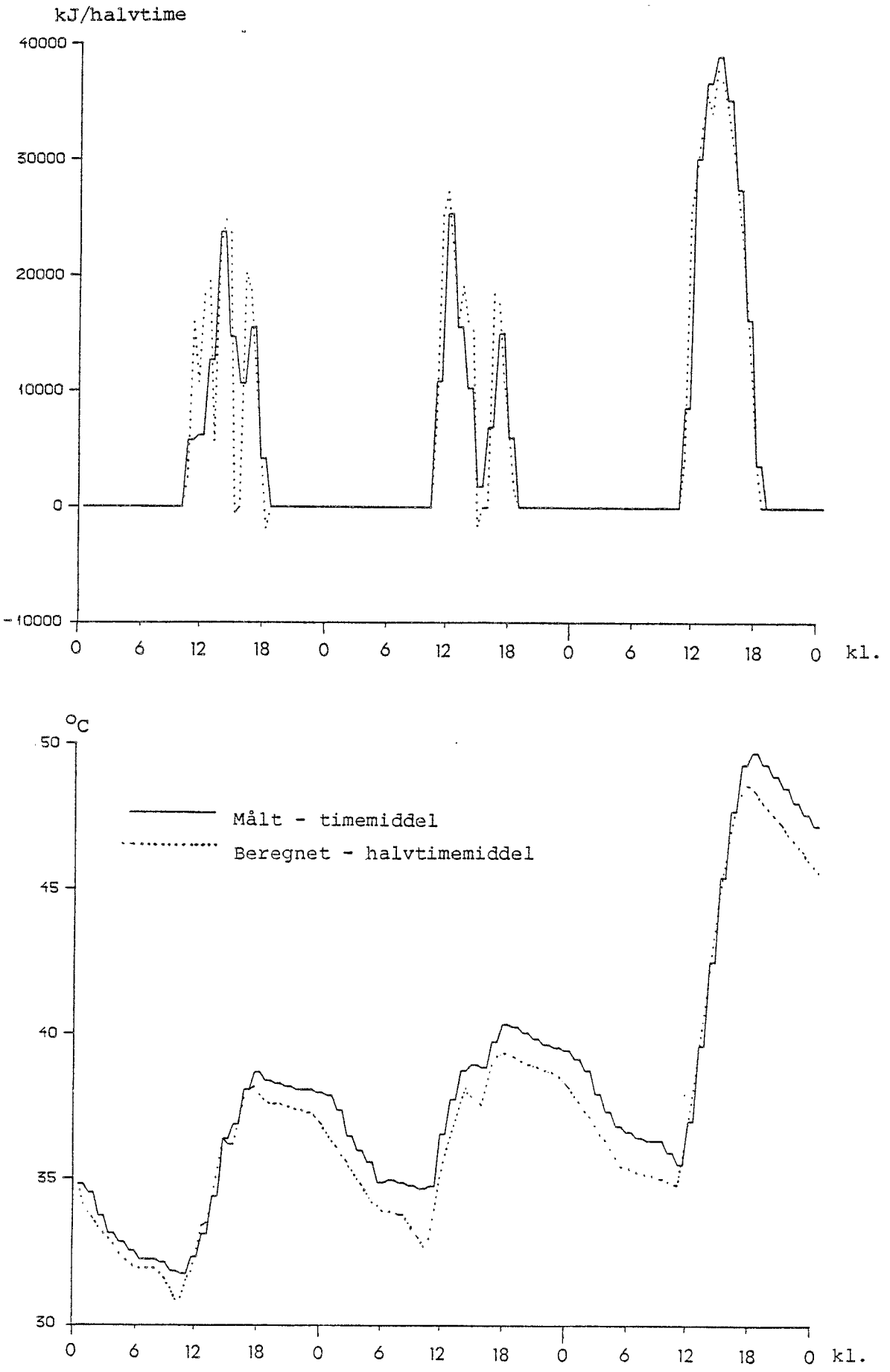
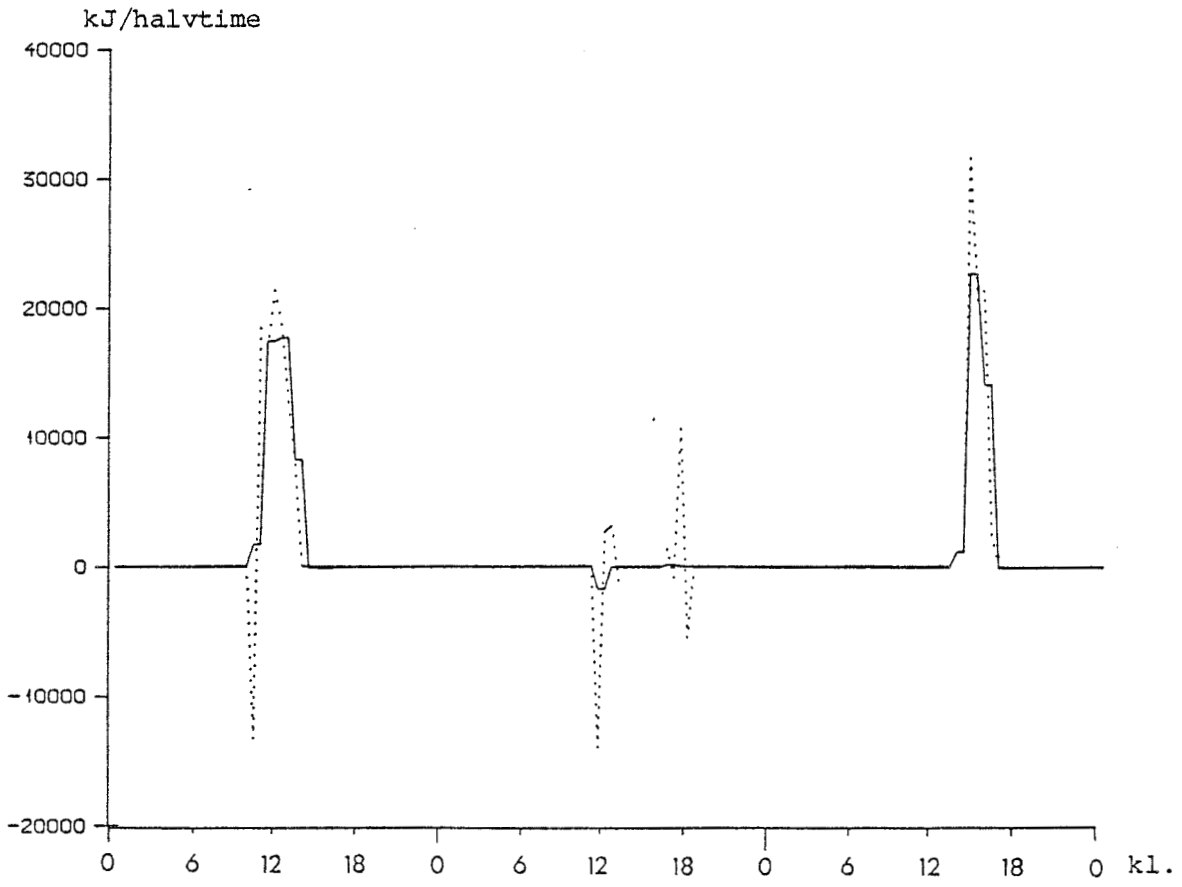


Fig. 6.12 Solfangerens ydelse (tilført lager) og lager-temperatur, målt og beregnet. Perioden 4-6 april.



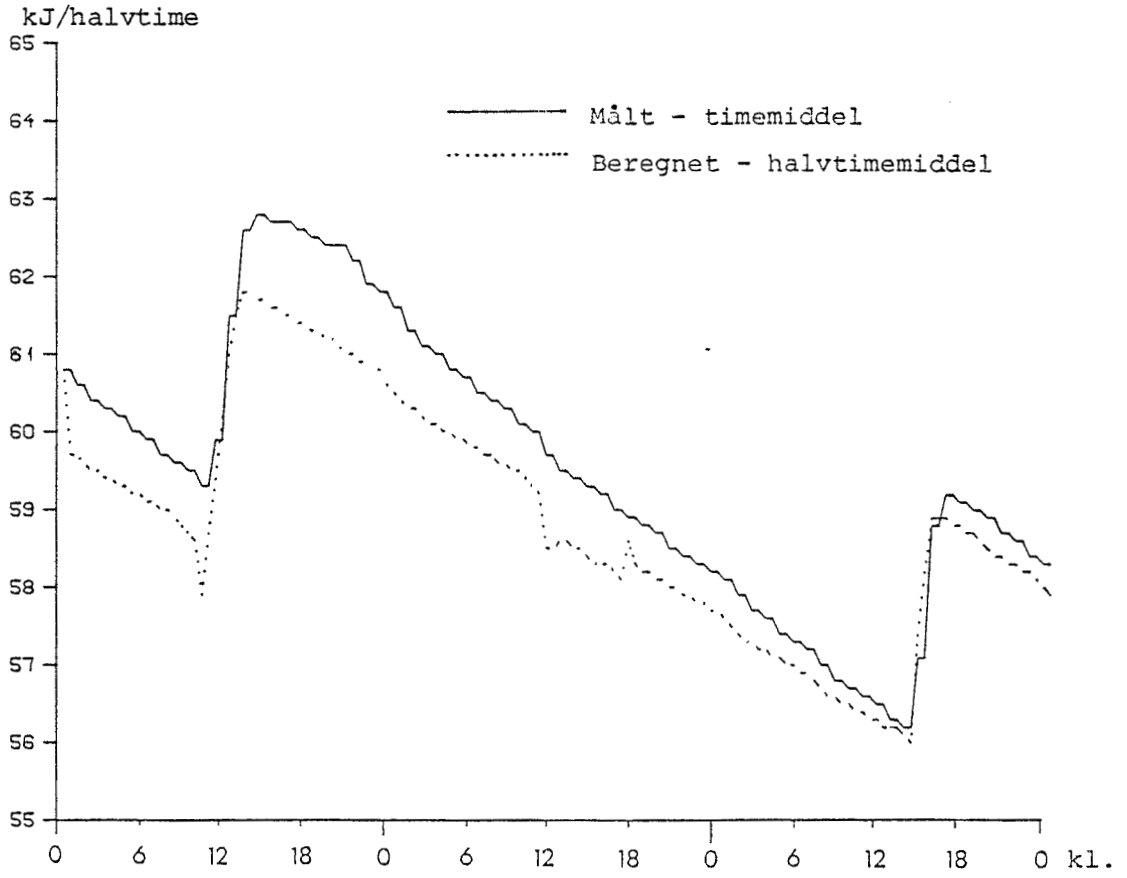


Fig. 6.13 Solfangerens ydelse (tilført lager) og lager-temperatur, målt og beregnet. Perioden 14-16 juli.

6.6 Sammenligninger med andre beregningsmodeller

Det fremgår af det foregående at modellen på tilfredsstillende vis beregner den målte ydelse af anlægget i Greve. Tilsvarende er der god overensstemmelse mellem måling og beregning for anlægget i Gentofte.

Modellen kan uden videre anvendes til beregning på brugsvandsanlæg, dog er der ikke mulighed for at tage hensyn til temperaturlagdeling i lageret. I forbindelse med BV-300 anlægget er der udviklet en model specielt til brugsvandsanlæg (ref. 13). Nærværende model beregner en ydelse der svarer nøje til beregninger med denne model.

Med hensyn til tab i rørsystemet er det som nævnt vanskeligt at foretage en sammenligning med målinger. Imidlertid er der samtidig med opbygningen af modellen til Greve- og Gentofte-anlæggene, udviklet en model til brugsvandsanlæg i forbindelse med et licentiatarbejde (ref. 7), der også tager hensyn til rørsystemer og varmekapaciteten af solfangeren. Denne model bygger på lidt andre principper, så det kunne være interessant at foretage en sammenligning.

Fig. 6.14 viser en beregning på et brugsvandsanlæg med de to modeller under samme forudsætninger. Disse er:

Solfangerareal	10 m^2 sortmalet absorber
Varmtvandsforbrug	4050 kWh/år
Lagerbeholder	0,5 m^3
Vejrdata	nye referenceår

Det fremgår at der er meget fin overensstemmelse mellem de to modellers beregning, både mht. den absolutte ydelse og betydningen af rørsystemet.

I beregningen i ref. 7 er det forudsat, at omgivelserne til rørsystemet har konstant temperatur (20°C). Af fig. 6.14 fremgår som supplement betydningen af rørsystemet, når rørene er placeret udendørs med den aktuelle lufttemperatur som omgivelsestemperatur. Det fremgår at rørenes placering har ret stor betydning.

Beregning nr.	Rørsystemets varmekapacitet kJ/°C pr. m^2 solfanger	Rørsystemets varmetabskoef. W/°C pr. m^2 solfanger	Nettoydelse kWh/m^2 år		
			Fra ref [7] 1)	Røromg.=20°C 2)	Røromg.=udetemp. 2)
1	0	0	218	220	220
2	0	0,5	213	215	212
3	1	0,5	212	214	211
4	5	0,5	211	213	209
5	10	0,5	210	212	206
6	20	0,5	209	209	201
7	5	1,0	206	207	201
8	5	2,0	195	196	185
9	20	2,0	189	193	179

1) Fra ref. 7 .

2) Beregnet med modellen fra denne rapport.
Solfangerareal 10 m^2. Varmtvandsforbrug 4050 kWh/år.
Solfanger: 1 lag glas, sortmalet.

Effektiv varmekapacitet kJ/°C m^2	Antal driftstimer timer pr. år		Nettoydelse kWh/m^2·år	
	1)	2)	1)	2)
13,6	1790	1809	211	213
42,6	1710	1643	209	203

1) Fra ref. 7 .

2) Beregnet med modellen fra denne rapport.

Fig. 6.14 Sammenligning af modellens beregninger mht. rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder og solfangerens varmekapacitet med tilsvarende beregninger fra ref. 7.

Fig. 6.14 viser desuden en sammenligning af de samme to modellers beregning af betydningen af solfangerens varmekapacitet på ydelsen og driftstiden. Det fremgår at modellen fra ref. 7 viser en væsentlig mindre betydning af varmekapaciteten, idet ydelsen beregnet med denne stort set er uafhængig af varmekapaciteten, hvorimod driftstiden falder. Nærværende beregning stemmer derimod bedre overens med beregningerne i ref. 8, (se afsnit 5.5.) hvor der angives et fald i ydelsen på 5-10% som følge af varmekapaciteten.

7. ANALYSE AF ANLÆG I GREVE

7.1 Indledning

Energibalancen for anlægget i Greve vil blive præsenteret og de forskellige energistrømme diskuteret.

Der blev i 1977 foretaget beregninger på anlægget i Greve forud for opførelsen. Resultatet blev en dækningsgrad på 50%. Dette er en del mere end de målte 28%, og det vil blive diskuteret hvilke faktorer, der har været årsag til denne forskel. Endelig vil det blive anført, hvad ydelsen af anlægget i Greve ville have været, hvis anlægget havde været opført med de bedste af de komponenter, som benyttes i dag og med et mere hensigtmæssigt rørsystem.

7.2 Energistrømme for anlægget i Greve

Fig.7.1 viser energistrømmene for anlægget i Greve i måleåret anvendt til verifikation fra solindfaldet til det endelige forbrug.

Det skal kort gennemgås hvilke anlægsparametre, der har betydning for størrelsen af de forskellige tab hen gennem systemet.

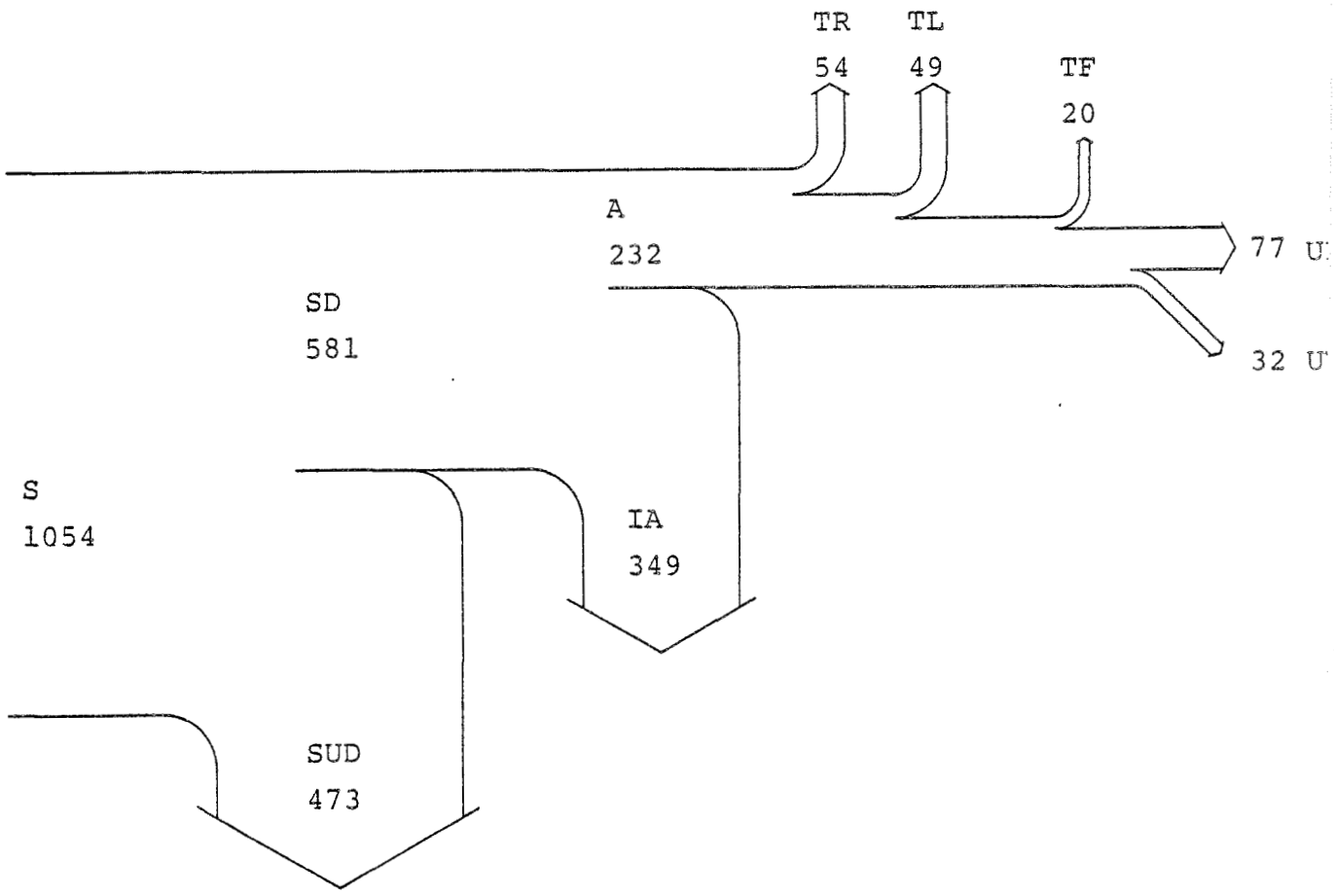
Tab_IA: Afhængig af solfangerens effektivitet, og idet denne er temperaturafhængig, er tabets størrelse også afhængig af systemets temperaturniveau.

Tab_TR: Afhængig af rørlængder, rørdimensioner og rørisolering, herunder isolering af ventiler, pumpe m.v.. Endvidere afhængig af rørenes placering - inde eller ude.

Tab_TL: Afhængig af lagerbeholderens isolering og placeringen af lagerbeholderen. For mindre lagerbeholdere er det oftest gennem kuldebroer, rørgennemføringer og understøtninger, man har det største varmetab. Placeres lagerbeholderen indendørs, vil en del af varmetabet i fyringssæsonen kunne udnyttes.

Tab_TF: Som TR og TL. En del af dette tab kan også regnes udnyttet i fyringssæsonen.

Betegnelserne IA, TR, TL og TF fremgår af fig. 7.1.



S	Totalt solindfald på solfangerens plan	kWh/år pr. m^2 solf
SUD	Solindfald uden for solfangerens driftstid	-
SD	Solindfald i driftstiden	-
IA	Ikke absorberet solenergi i driftstiden	-
A	Absorberet solenergi	-
TR	Tab fra rørsystem mellem solfanger og lager	-
TL	Tab fra lagerbeholder	-
TF	Tab fra forvarmebeholder	-
URV	Udnyttet solenergi til rumopvarmning	-
UVV	Udnyttet solenergi til varmt brugsvand	-

Fig. 7.1 Energistrømmene for anlægget i Greve. Gældende for måleåret anvendt i kapitel 6. Tabet fra rørsystemet er væsentligt større end angivet i fig. 3.1 idet målingen af tabet kun omfatter en del af rørsystemet.

7.3 Beregninger udført i 1977

Der blev i 1977 foretaget beregninger på anlægget i Greve, disse fremgår af ref. [9] . På dette tidspunkt var anlægget ikke endeligt udformet, og beregningsforudsætningerne stemmer ikke helt med det faktiske anlæg. Af betydning i denne forbindelse skal nævnes, at lagerbeholderen var forudsat placeret indendørs. Endvidere var det ikke fastlagt hvilken solfanger, der skulle anvendes, og desuden forefandtes der dengang ikke effektivitetsmålinger af danske solfangere. Der blev derfor anvendt data fra solfangeren på nulenergihuset. Det viste sig senere, at den solfanger, der blev anvendt, var væsentlig dårligere end solfangeren på nulenergihuset.

Forbruget til varmt brugsvand blev sat til 240 l/dag (10 til 50 °C), hvorimod der i måleåret i Greve er målt et forbrug svarende til 195 l/dag. Det blev videre antaget, at huset var isoleret efter BR77, hvor forbruget til rumopvarmning på grundlag af BA4-programmet (ref. 10) blev beregnet til 14000 kWh/år. Huset viste sig lige netop at opfylde isoleringskravene i BR77, men i måleåret er der dog målt et forbrug på 16400 kWh.

Solfangeren i Greve har kun absorberet 22% af det samlede solindfald, hvilket er ret lidt. Dette hænger sammen med, at solfangeren har en lav effektivitet.

Varmetabene fra rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder har som det ses været meget stort, endog større end tabet fra lagerbeholderen. Som nævnt er rørsystemet udført uhensigtsmæssigt. Af ref. 1 fremgår en alternativ måde at udføre rørsystemet på, hvorved rørlængden mere end halveres.

Tabet fra rørsystemet mellem lagerbeholderen og forbrugsstederne er ret lille. Det samme gælder tabet fra forvarmebeholderen. Imidlertid er isoleringen af forvarmebeholderen noget mangelfuld, mest som følge af dårlig fastgøring af isoleringsmaterialet. Varmetabet svarer til en effektiv isolering på 2 cm mineraluld, og varmetabet kunne let reduceres.

Det var forudsat,at huset blev opvarmet med radiatorer dimensioneret efter T_f/T_r=60/40°C ved en udetemp. på -12°C.Det samlede dimen-

sionerende varmetab (uden hensyntagen til, at der er varmegenvinding på ventilationsluften) er beregnet til 5800 W. Se ref.1 Dette fører til, at opvarmningssystemet skal have en kapacitet på 201 W/^{o}C (logaritmisk middeltemperaturdifferens mellem varmeflader og rumtemperatur). Målingerne i Greve viser, at den faktiske kapacitet er 190 W/^{o}C (incl. gulvvarmesystem i bad), altså meget tæt på den ønskede.

Systemudformningen i 1977 modellen var som anlægget i Greve med omkobling af radiatorreturen ved hjælp af to magnetventiler styret af returtemperaturen fra radiatorsystemet. Fremløbstemperaturen blev forudsat reguleret ved hjælp af en termostatisk blandeventil styret af en rumføler, således at fremløbstemperaturen blev styret efter varmebehovet. Der blev ikke taget hensyn til individuel regulering i de enkelte rum med radiatortermostater. Radiatoreksponenten blev sat til 1,3.

I Greve er fremløbstemperaturen styret ud fra udelufttemperaturen efter en af kurverne B, C eller D, på fig.7.2, samt ved hjælp af radiatortermostater. Endvidere er der som nævnt tilkoblet et døgn- og ugeur til sænkning af fremløbstemperaturen.

Det skal bemærkes, at fremløbstemperaturen i Greve bliver indstillet til 30 ^{o}C ved en udetemperatur på 20 ^{o}C, når der ikke er noget varmebehov. Fremløbstemperaturen vil være højere end nødvendigt, undtagen i dimensioneringstilstanden. Radiatortermostaterne vil derfor være nødvendige til regulering af vandgennemstrømningen, så varmeafgivelsen passer til behovet.

I systemet med styring efter varmebehovet vil radiatortermostaterne kun tjene til regulering af temperaturen i de enkelte rum i afhængighed af gratisvarmen. Gennemstrømningen i radiatorerne vil ikke variere så meget som i systemet med udekompensering.

Der blev i beregningerne ikke taget hensyn til varmekapaciteter af solfanger og rørsystemer og til varmetab fra rørsystemer.

Den beregnede dækningsgrad blev 50%, svarende til en ydelse på 184 kWh/m^{2} · år. Dette blev beregnet på grundlag af vejrdata fra det dengang brugte referenceår (se ref. 4 og bilag IV).

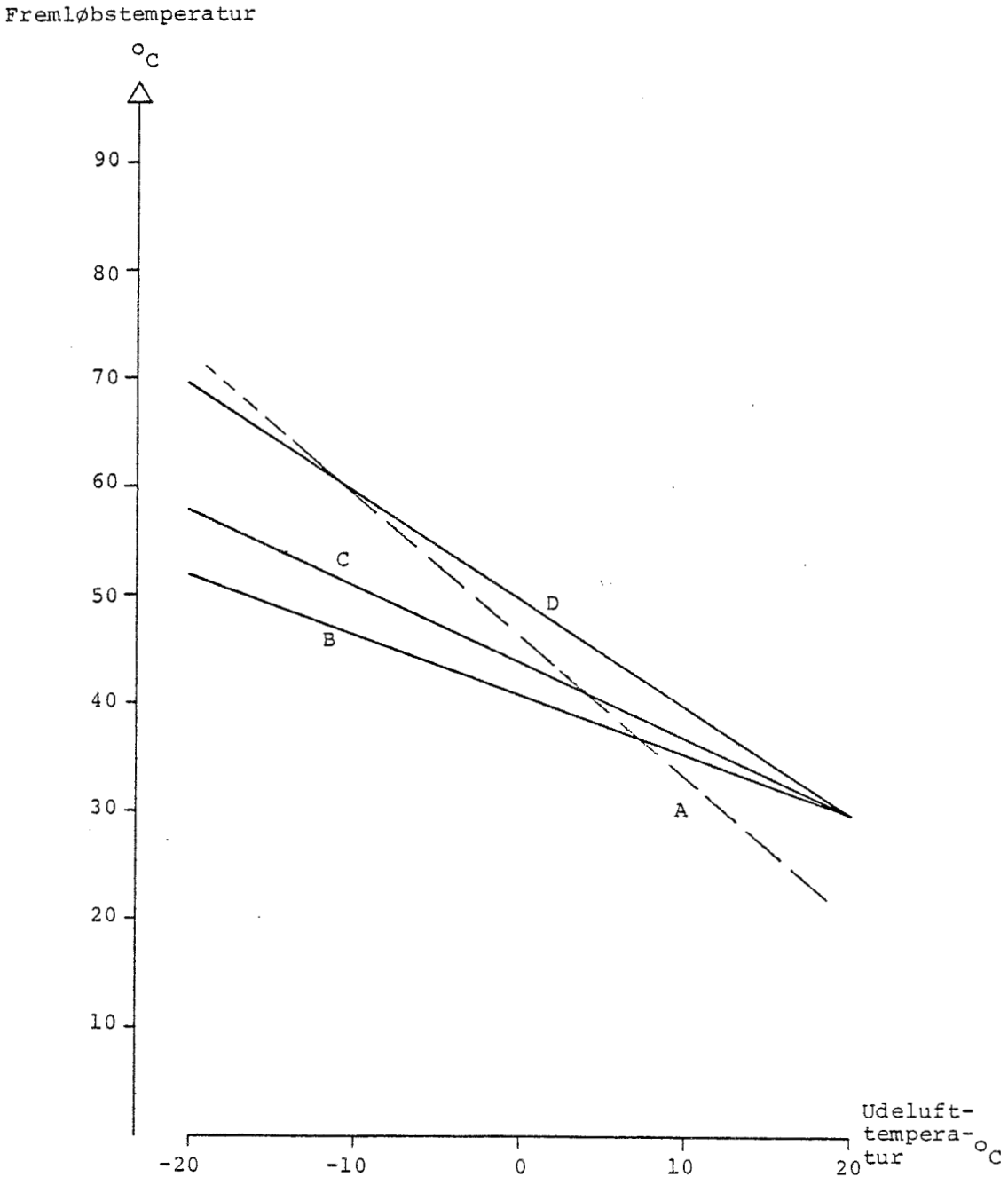


Fig. 7.2 Fremløbstemperaturen bestemt af udeluft-temperaturen for anlægget i Greve.

7.4 Beregning med ny EDB-model

Af fig.7.3 fremgår beregninger med den nye EDB-model. For at klarlægge hvilke ting der giver forskellen mellem den oprindeligt beregnede dækningsgrad på 50% og den målte på 28%, er den nye model først brugt med de oprindelige antagelser, hvorefter de faktiske data for anlægget i Greve er indført. Forskellene mellem de to beregninger ligger dels i beregningsmæssige tilnærmelser vedrørende varmetab og varmekapaciteter, dels i en dårligere solfanger og i lagerplaceringen. Endelig var forbrug og solindfald naturligvis ikke kendt.

Den nye model beregner med de oprindelige antagelser, standardforbrug og det gamle referenceår, en dækningsgrad på 48%.

Betydningen af solindfaldet

Indføres det målte solindfald i beregningen, falder dækningsgraden fra 48% til 40%. Det store fald skyldes mest, at det gamle referenceår indeholder et solindfald i forårsmånederne, der er en del større end normalt. Dette får specielt betydning for et anlæg til rumopvarmning, da det er i disse måneder, der leveres mest til rumopvarmning. Endvidere har solindfaldet i måleåret været noget mindre end normalt. Fig. B1 i bilag IV viser solindfaldet i det gamle referenceår samt solindfaldet målt i Greve. Endvidere er der vist solindfaldet i det nye referenceår. (ref. 5), som vil blive anvendt til beregninger i kap. 9.

Betydningen af rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder

Tages der i beregningen hensyn til rørsystemets kapacitetstab og transmissionstab, falder dækningsgraden fra de 48% til 42%. På grund af tabet vil temperaturen i lagerbeholderen falde, hvorved solfangerens effektivitet stiger. Energistrømmene bliver således:

	Uden rør	Med rør
Ydelse af solfanger	215	278
Tab i rør	0	94
Tilført lager	215 kWh/m^2·år	184 kWh/m^2·år

Tabet fordeler sig omtrent ligeligt mellem kapacitetstab og transmissionstab.

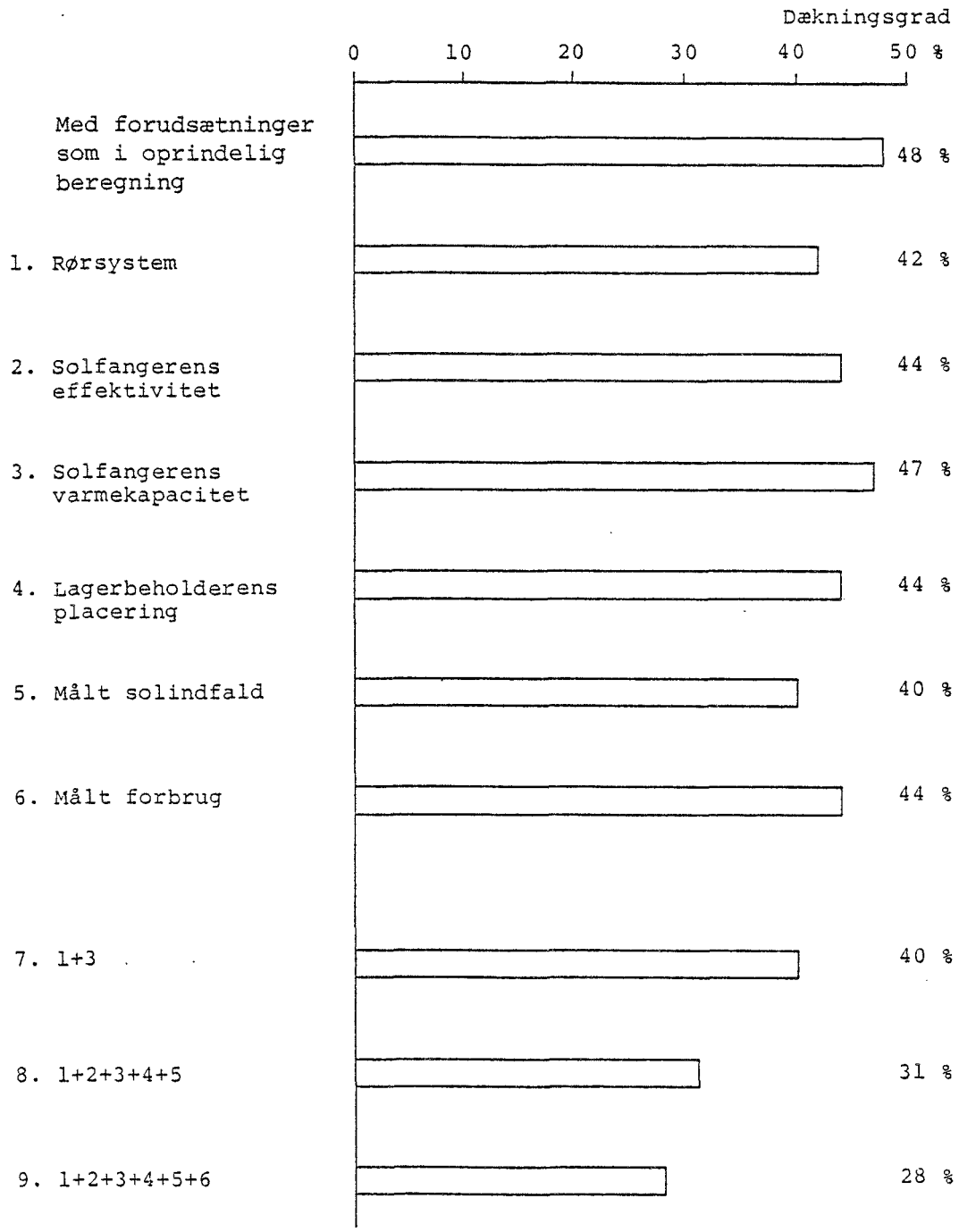


Fig. 7.3 Beregninger på anlægget i Greve med den nye EDB-model.

Betydningen af solfangerens effektivitet

Benyttes effektivitetskurven for den aktuelle solfanger i stedet for nulenergihusets, reduceres dækningsgraden fra 48% til 44%.

Fig.7.4 viser effektivitetskurver for de to solfangere. Begge solfangere er forsynet med to lag glas, og effektiviteten ved lave temperaturer er ens for de to solfangere.

Forskellen ligger i at solfangeren i Greve har et større varmetab på grund af en mindre bagsideisolering og kuldebroer i konstruktionen.

Solfangeren der er brugt i nulenergihuset må iøvrigt betragtes som en af de bedste solfangere med to lag glas og sortmalet absorber. En nærmere undersøgelse af solfangeren i Greve fremgår af ref. 1.

Betydningen af lagerbeholderens placering

At lagerbeholderen blev placeret i det uopvarmede tagrum i stedet for i et opvarmet rum betyder et fald i dækningsgrad fra 48% til 44%. Dette gælder for en isoleringsstandard svarende til beholderen i Greve. Denne er isoleret med 20 cm mineraluld, men på grund af kuldebroer svarer varmetabet til en effektiv isolering på ca. 13 cm.

Var den effektive isoleringstykkelse 20 cm, ville dækningsgraden kun falde til 46%. Ved en effektiv isoleringstykkelse på op imod 50 cm vil den udendørs placering ikke betyde noget. Imidlertid er en sådan isolering vanskelig at opnå, da kuldebroerne, som ikke helt kan undgås for så store isoleringstykkelser, vil være helt afgørende.

Betydningen af forbruget

Forbruget til varmt brugsvand blev målt noget lavere end forudsat, mens forbruget til rumopvarmning var lidt højere. Med det målte forbrug falder dækningsgraden fra 48% til 44%. Forskellen ligger dels i det lavere forbrug til brugsvand, men også deri at det målte forbrug er noget større i vintermånederne end i sommermånederne, hvor solvarmeanlægget kan dække

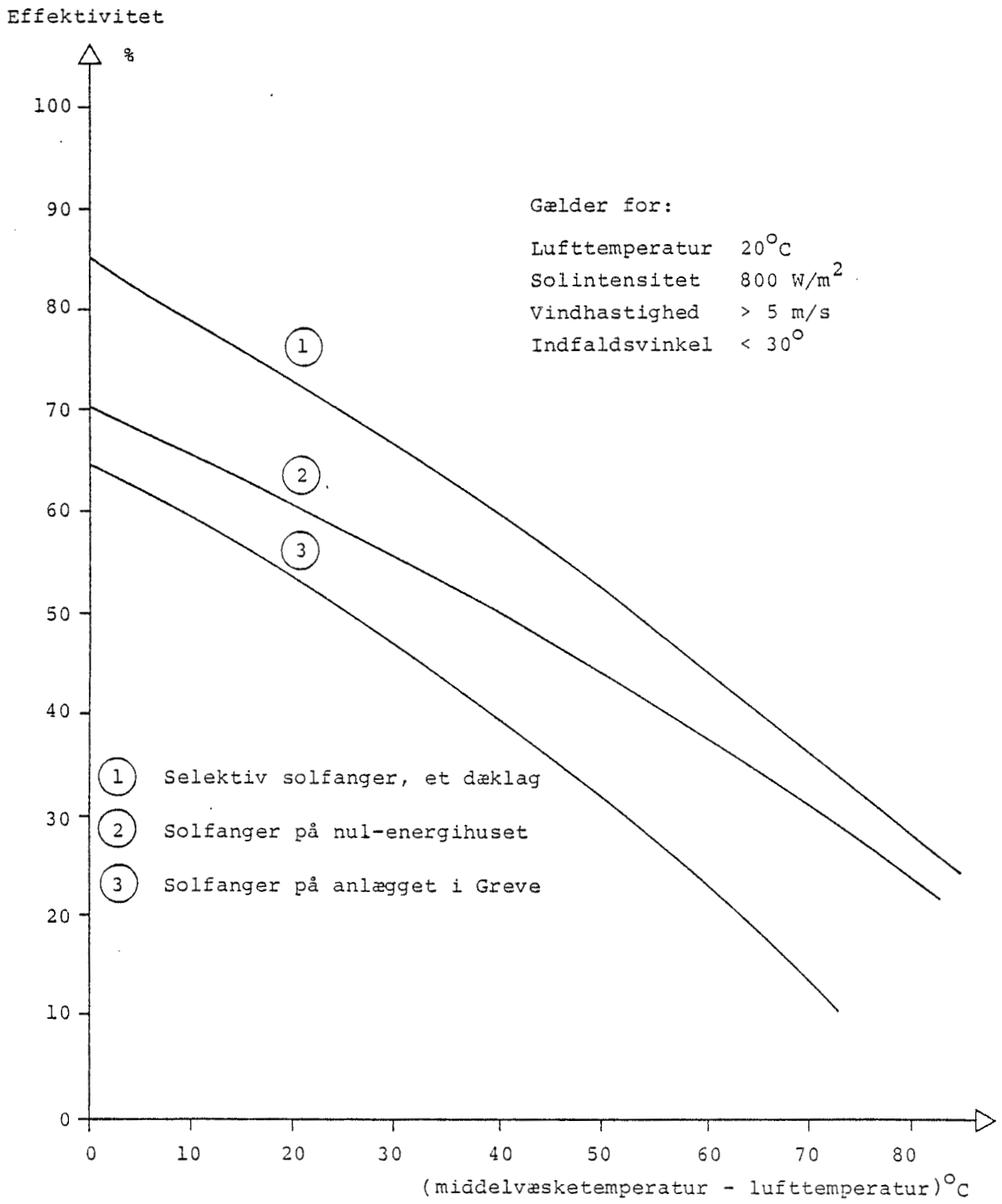


Fig. 7.4 Effektivitetskurver for solfangere. Solfangeren med effektivitetskurven 1 er anvendt som referencesolfanger i denne rapport.

et meget stort forbrug. Se fig. 7.3. Således dækkes efter de oprindelige beregninger 76% af behovet for brugsvand, mens der med det målte forbrug kun dækkes 70% af det lavere forbrug. Med hensyn til rumopvarmning dækkes henholdsvis 39% og 41%. Med det målte forbrug dækkes altså en større procentdel af det større forbrug, hvilket skyldes, at brugsvandsforbruget er lavere, således at der bliver mere til rumopvarmning.

Den samlede betydning

I de oprindelige beregninger blev der ikke taget hensyn til varmetab fra rørsystemet samt solfangerens varmekapacitet. Tages der hensyn til dette, beregnes en dækningsgrad på 40% mod før 48%.

Tages der desuden hensyn til de øvrige faktorer (solfangerens effektivitet, lagerbeholderens placering, solindfaldet og forbruget) beregnes med modellen en dækningsgrad på 28%. Dette svarer nøje til målingerne i Greve, der også gav en dækningsgrad på 28%.

Betydningen af styringen af rumopvarmningen

Ved beregningen af ovennævnte 28% er der anvendt en styring af fremløbstemperaturen ud fra rumtemperaturen som oprindeligt antaget. I Greve er der som nævnt styring efter udetemperaturen og radiatortermostater, samt døgn- og ugeur.

Indføres den aktuelle styring i modellen, fås samme dækningsgrad på 28%. En beregning med samme model og samme forbrug, hvor der ikke tages hensyn til sænkning af fremløbstemperaturen giver en dækningsgrad på kun 25%. Det har altså betydning for ydelsen af anlægget, at fremløbstemperaturen sænkes periodevis.

Solvarmeanlægget dækkes mest af opvarmningsbehovet i forårs- og efterårsmånederne ved en relativ høj udelufttemperatur. Som nævnt indstilles fremløbstemperaturen i anlægget i Greve i dette område til en for høj værdi, der bevirker at solandelen af rumopvarmningen falder. Periodevis sænkning af fremløbstemperaturen retter imidlertid op på dette forhold.

Når fremløbstemperaturen sænkes, lukker radiatortermostaterne op, hvorved vandgennemstrømningen (og varmeafgivelsen) stiger. Det skal erindres, at fremløbstemperaturen ikke kan komme under temperaturen i lagerbeholderen. Døgn- og ugeuret er indstillet til at sænke fremløbstemperaturen med 10 eller 15 °C, men dette kan i reglen ikke lade sig gøre. Der sker da det, at fremløbstemperaturen bliver lig temperaturen i lagerbeholderen, radiatortermostaterne lukker op, og solvarmeanlægget leverer en del til rumopvarmning. På den måde bevirker en sænkning af fremløbstemperaturen ikke, at varmeydelsen og rumtemperaturen falder væsentligt. I virkeligheden kompenseres der bare for at fremløbstemperaturen egentlig var højere end nødvendigt, og dette er til fordel for solvarmeanlægget.

En beregning med en styring af fremløbstemperaturen efter kurve A på fig.7.2 uden døgn- og ugeur giver en dækningsgrad på 27%.

7.5 Ydelsen af et forbedret anlæg

Et nyt solvarmeanlæg med samme solfangerareal, opvarmningssystem, solindfald og forbrug som i Greveanlægget, men med forskellige forbedringer, vil give en dækningsgrad på 36%, mod de målte 28%. Forbedringerne omfatter følgende:

Selektiv solfanger, et lag glas
Mere hensigtsmæssigt rørsystem
Styring af fremløbstemperatur efter kurve A, fig. 7.2.
t_f = 20 °C for t_a = 20 °C

For solfangeren er der anvendt data fra effektivitetsmåling på en danskproduceret solfanger. Der er ikke taget hensyn til døgn- og ugeur.

En yderligere forbedring af solvarmeanlæg til rumopvarmning kan opnås ved en ændring af opvarmningssystemet, dette vil blive behandlet i kap.9.

8. ANALYSE AF ANLÆGGET I GENTOFTE

8.1 Indledning

Formålet med projektet i Gentofte var at demonstrere, at solvarme til rumopvarmning kunne anvendes i eksisterende byggeri. Det pågældende hus blev valgt til projektet, fordi det var blevet efterisoleret, således at man måtte forvente, at huset, med de eksisterende radiatorer, kunne varmes op med relativt lave fremløbstemperaturer til fordel for solvarmeanlægget.

Endvidere blev solvarmeanlægget, i modsætning til anlægget i Greve, opbygget, så brugeren, ud fra nogle temperaturaflæsninger, skulle foretage omkobling af radiatorreturen et par gange om året.

Solfangerarealet blev sat til 28 m^2 for at få erfaringer med et mellemstort anlæg i forhold til de 50 m^2 i Greve.

Ud fra målingerne må det konkluderes, at anlægget ikke har fungeret efter sin hensigt. Det har næsten ikke leveret noget til rumopvarmningen, og har således fungeret som et overdimensioneret brugsvandsanlæg med den deraf følgende lave ydelse pr. m^2 solfanger. De væsentligste grunde hertil har været:

1) Forbruget til rumopvarmning har været lavt, idet huset ofte kun har været delvis opvarmet og ofte kun i korte perioder. Samtidig har den ønskede rumtemperatur i opvarmede rum været lav.

   Dette har bevirket, dels at belastningen på varmeanlægget har været meget skiftende med korte perioder med stor belastning, dels at der har været et lavt varmebehov i forårs- og efterårsmånederne.

2) At den samlede varmefladestørrelse er ret lille.

3) At der har været et stort varmetab fra lagerbeholderen.

I det følgende vil energistrømme for anlægget blive gennemgået. Fordelingen og størrelsen af forbruget til rumopvarmning vil blive beskrevet og ved hjælp af EDB-modellen vil betydningen af de nævnte forhold blive kvantificeret.

8.2 Energistrømmene

Fig. 8.1 viser energistrømmene for anlægget svarende til fig. 7.1 for Greve-anlægget.

I forhold til Greve-anlægget har der i Gentofte været mindre tab fra rørsystemet, idet dette her er mere hensigtsmæssigt udført.

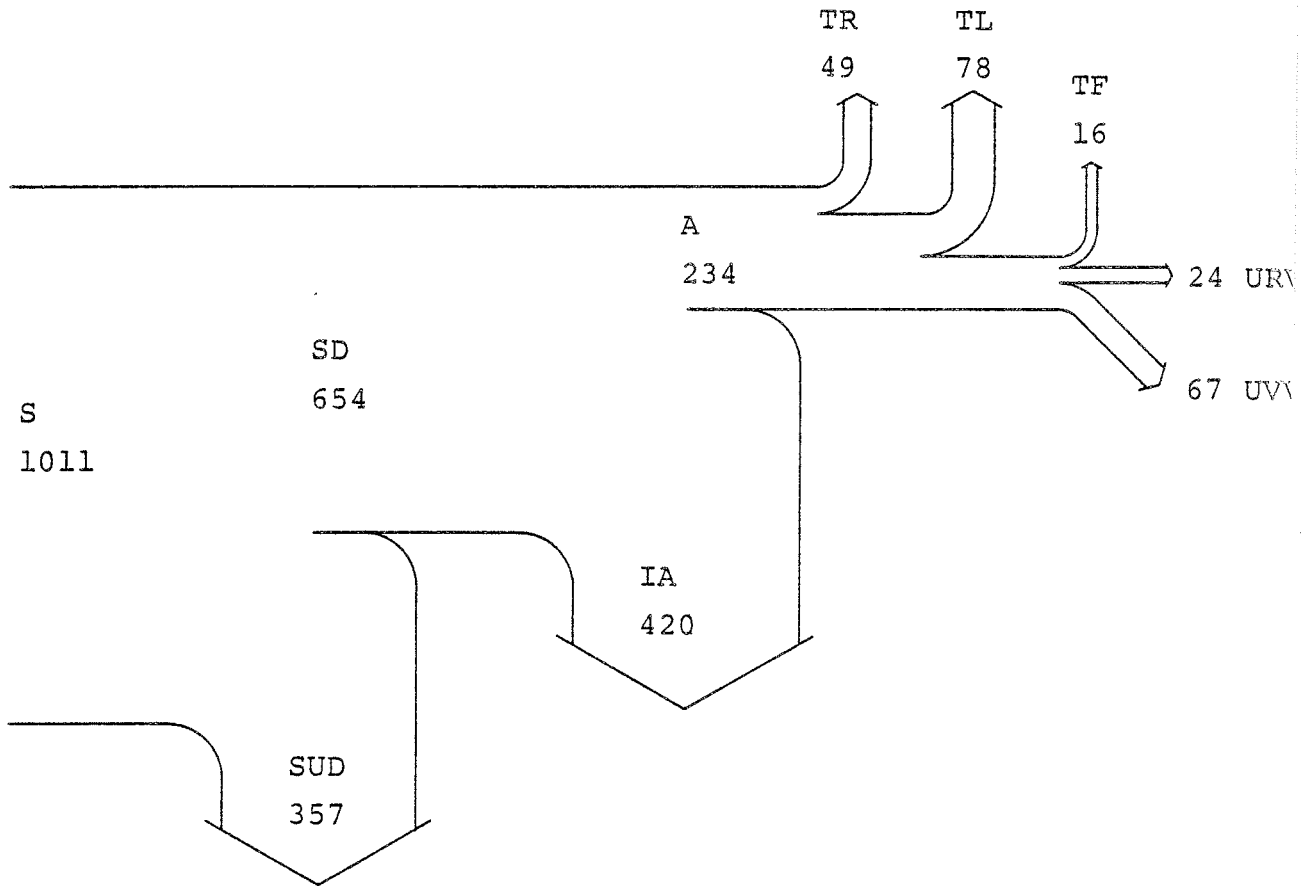
Varmetabet fra lagerbeholderen har i Gentofte været en del større (pr. m^2 solfanger) på trods af, at beholderen er placeret i det ofte varme fyrrum. Dette skyldes, at middeltemperaturen af beholderen har været større, da der næsten kun har været tappet til brugsvandet. Endvidere er den effektive isoleringstykkelse af beholderen i Gentofte kun 4 cm mod 13 cm i Greve.

Den mest afgørende forskel på de to anlæg er dog,at anlægget i Greve har leveret ca. 75% af den udnyttede ydelse til rumopvarmning, mens anlægget i Gentofte kun har leveret omkring 25% til rumopvarmningen.

8.3 Forbruget til rumopvarmning

Ud fra målingerne er det dimensionerende varmetab for huset beregnet til 11000 W (ved $-12^{\circ}C$ udetemperatur). Dette giver med en BA4-beregning et forbrug på 29000 kWh i referenceåret, hvorimod der i 1. måleår er målt et forbrug på 19000 kWh og i 2. måleår 15700 kWh. Det lave forbrug skyldes,at cirkulationspumpen næsten hele året er afbrudt om natten, og at mange rum kun opvarmes periodevis. I fyringssæsonen er middeltemperaturen i dagligstuen $20^{\circ}C$, mens middeltemperaturen i de øvrige rum ligger på $15^{\circ}C$ til $18^{\circ}C$.

Fig. 8.2 viser forbruget til rumopvarmning i Gentofte og i Greve sammenlignet med forbruget i et parcelhus isoleret efter BR77 i det nye ref.år,beregnet med BA4-programmet med en indetemperatur på $21^{\circ}C$. Fig. 8.3 viser den procentdel af det årlige forbrug, der ligger i de enkelte måneder.



S	Totalt solindfald på solfangerens plan	kWh/år pr. m^2 sol
SUD	Solindfald uden for solfangerens driftstid	-
SD	Solindfald i driftstiden	-
IA	Ikke absorberet solenergi i driftstiden	-
A	Absorberet solenergi	-
TR	Tab fra rørsystem mellem solfanger og lager	-
TL	Tab fra lagerbeholder	-
TF	Tab fra forvarmebeholder	-
URV	Udnyttet solenergi til rumopvarmning	-
UVV	Udnyttet solenergi til varmt brugsvand	-

Fig. 8.1 Energistrømmene for anlægget i Gentofte, 2. måleår. Tallene er ikke helt identiske med angivelserne i fig. 3.8, idet der beregningsmæssigt er korrigeret for at en del af rørstrækningerne målemæssigt tilhører solfangeren og lagerbeholdere.

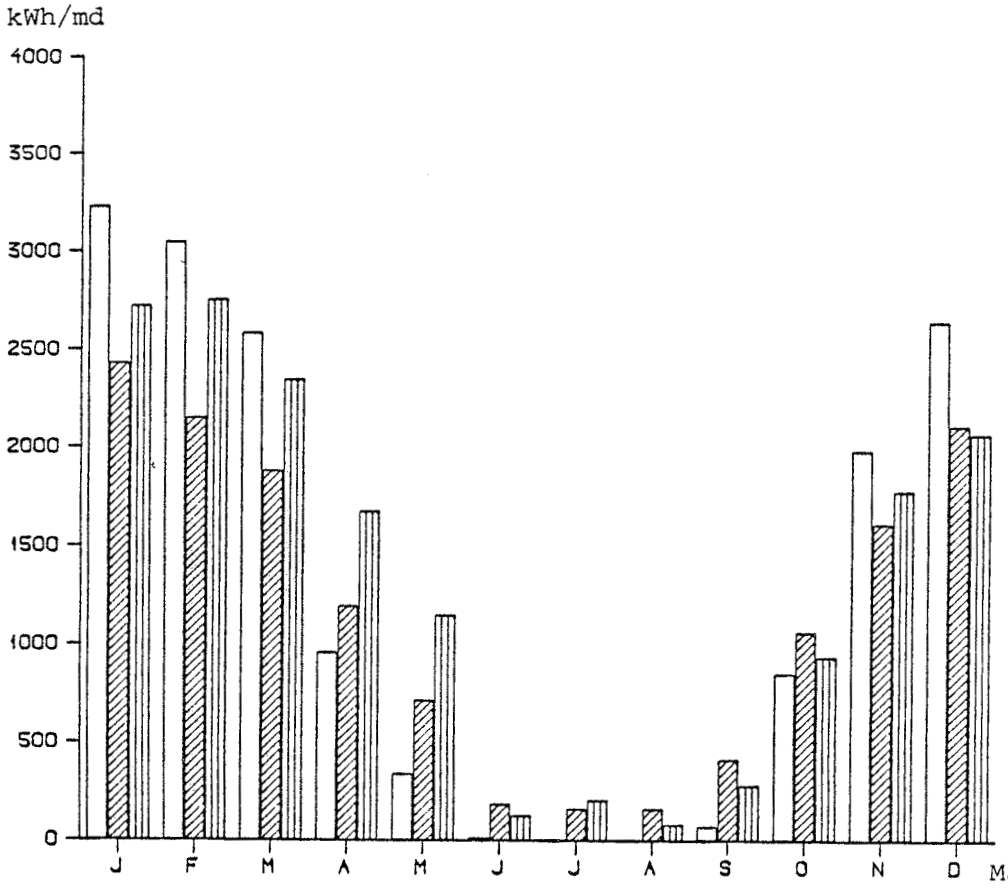


Fig. 8.2
Forbruget til rumopvarmning i Gentofte og Greve sammenlignet med det beregnede forbrug for et hus isoleret efter BR77 i det nye referenceår. Forbrugene i månederne sep. og okt. for Greve og Gentofte er ikke fra samme år.

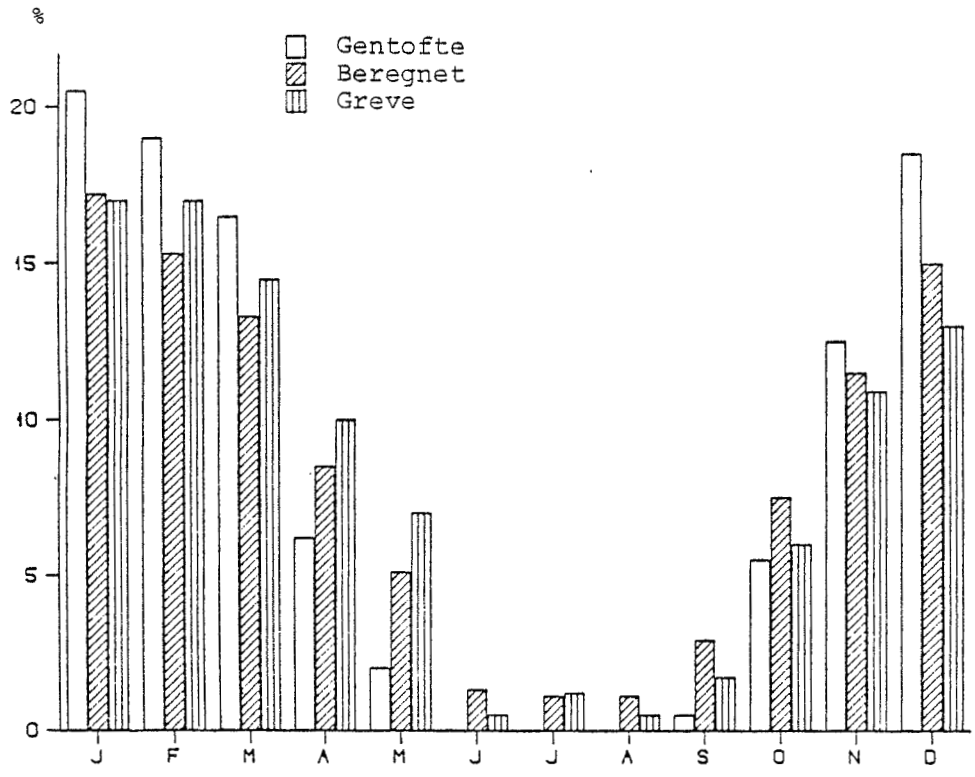


Fig. 8.3
Forbruget fra fig. 8.2 angivet i procent pr. måned af det årlige forbrug.

Det fremgår at der i perioden april til oktober i Gentofte er brugt 14% af det årlige forbrug til rumopvarmning, mens der i Greve i samme periode er brugt 27% af årsforbruget og i BR77-huset 29% af årsforbruget, beregnet med BA4-programmet. At fordelingen er så meget anderledes i Gentofte hænger direkte sammen med det lave komfortkrav, der bevirker, at der ikke er noget videre behov for opvarmning i forårs- og efterårsperioderne.

Idet et solvarmeanlæg til rumopvarmning leverer størstedelen af dækningen af rumvarmen i perioden april-oktober (for Greve-anlægget 90%), er det afgørende,at forbruget i Gentofte netop i denne periode har været så lavt.

Den samlede varmefladestørrelse i huset er bestemt til ca. 275 W/^{o}C og den maximale vandgennemstrømning til ca. 430 ℓ/time. Dette svarer til dimensioneringstilstanden 80/56, således at rumtemperaturen kan holdes på 21^{o}C ved -12^{o}C udetemperatur med en fremløbstemperatur på 80^{o}C og en returtemperatur på 56^{o}C.

For at solvarmeanlægget kan dække en del af rumvarmebehovet,skal retur-temperaturen fra radiatorerne være lavere end lagertemperaturen. Dette er kun sjældent tilfældet i Gentofte-anlægget selv i perioder med høj lagertemperatur og lavt varmebehov. Der er flere grunde til dette.

Når cirkulationspumpen starter om morgenen, eller når en radiator lukkes op,og rumtemperaturen er lav, vil radiatortermostaterne åbne helt op og der fås en stor gennemstrømning og en høj returtemperatur. Da det samtidig ved periodevis opvarmning er ønskeligt at få en hurtig opvarmning,er der anvendt en høj fremløbstemperatur.

Endvidere er som nævnt ofte kun en del af huset opvarmet. Det betyder, at kun en del af varmefladen udnyttes, uden at varmebehovet mindskes tilsvarende, idet der sker en varmetransport fra opvarmede rum til uopvarmede rum gennem de indvendige skillevægge.

Der er således to forhold, der betinger en høj returtemperatur fra radiatorerne. For det første anvendes der på grund af periodevis opvarmning en høj fremløbstemperatur for at få en hurtig opvarmning. For det andet er belastningen af den enkelte radiator højere på grund af varmetransport til naborum.

Ydermere kan det spille ind, at en radiator er underdimensioneret, således at den ikke kan dække det varmebehov,den skal, hvorved radiatortermostaten på denne vil være helt åben. Blot en enkelt sådan "kortsluttet" radiator vil kunne medføre en vedvarende stor gennemstrømning og høj returtemperatur. Imidlertid har vi ikke foretaget målinger på de enkelte radiatorer, således at dette kan bekræftes.

Som følge af den høje returtemperatur er det kun i korte perioder,at solvarmeanlægget har kunnet supplere rumopvarmningen, selv i forårs- og efterårsmånederne.

Brugeren af anlægget har holdt nøje øje med returtemperaturen og lagertemperaturen og, specielt i andet måleår, foretaget mange omkoblinger af radiatorreturen for at undgå at opvarme lagerbeholderen med varme fra kedlen. Dette har, som det vil fremgå senere, haft en vis betydning.

8.4 Sammenligning af målinger og beregninger

Den udviklede EDB-model, verificeret på Greve-anlægget, har været brugt til beregninger på anlægget for andet måleår. Den eneste ændring i forhold til beregningerne på Greve-anlægget er, at omkoblingerne er manuelle, og de omkoblinger der har været foretaget er, ud fra brugerens notater, indkodet i modellen. Ud fra målingerne er det anslået, at omkring halvdelen af den tilgængelige varmeflade i perioden april til oktober, hvor det har betydning for solvarmeanlægget, har været udnyttet.

Den målte ydelse var i 2. måleår 91 kWh/m^2·år. Der beregnes med modellen en udnyttet ydelse på 88 kWh/m^2·år. Af denne ydelse beregnes 21 udnyttet til rumvarme mod de målte 24 kWh/m^2·år.

Af figur 8.4 fremgår beregninger med modellen under forskellige forudsætninger til belysning af de nævnte faktorer.

	Rumopvarmning		Varmeanlæg				Sol-fanger	Lager-isol.	Ydelse kWh/m^2·år				Dæknings-grad %
	Forbrug	Fordeling	Dim.	Fremløbs-temp.	Periode m. reduceret rad.størrelse	Rad.retur uden om lager			Brutto-ydelse	Tilført lager fra kedel	Netto-ydelse	Heraf til rumvarme	
1	Målt [1]	Målt	80/56	Målt [2]	Målt [3]	Målt [4]	Målt	4cm	98	10	88	21	14
2						nov-marts			94	10	84	17	13
3						dec-feb.			113	29	84	17	13
4						autom. styring			103	0	103	39	16
5					udn. hele tiden	nov-marts			100	3	97	32	15
6						dec-feb.		10cm	122	27	95	25	15
7						nov-marts		10cm	102	9	93	26	15
8			60/40	60°C		dec-feb.		10cm	116	4	112	47	17
9			60/40	40°C		dec-feb.		10cm	134	23	111 [5]	44	17
10			35/30	35°C		aldrig		10cm	150	25	125	62	19
11		Normal [6] over året				dec-feb.		10cm	154	6	148	86	23
12		Jævnt over døgnet [7]				dec-feb.		10cm	119	2	117	52	18
13	29000	BA4				dec-feb.		10cm	185	47	138	67	12
14	29000	BA4				nov-marts		10cm	162	27	135	65	12
15	29000	BA4				autom. omkobling		10cm	176	0	176		15
16	29000	BA4	60/40	60°C		dec-feb.		10cm	195	12	183		16
17	29000	BA4	60/40	60°C		autom. omkobling		10cm	176	0	176		15
18						dec-feb.	selektiv	10cm	140	22	118	42	18
19	29000	BA4	60/40	60°C		dec-feb.	selektiv	10cm	211	6	205	143	18

1) 15700 kWh·år.

2) Mellem 55°C og 65°C.

3) I perioden april-sept. antages det, at kun halvdelen af radiatorerne udnyttes.

4) Der er koblet om 13 gange i forårs- og efterårs-perioden.

5) Kun 82% af forbruget til rumopvarmning kan dækkes.

6) Det årlige forbrug fordelt over året som beregnet med BA4.

7) Forbruget pr. døgn fordelt jævnt over hele døgnet.

Fig. 8.4

Beregninger på anlægget i Gentofte. Beregnet med det målte sol-indfald.

Omkobling af radiatorreturen

Som nævnt er der i andet måleår foretaget mange omkoblinger af radiatorreturen for at forøge anlæggets udbytte. Der er ialt koblet om 13 gange. Havde der i stedet været koblet om kun 2 gange om året, var ydelsen blevet 84 kWh/m^2.år (før 91 kWh/m^2.år), uanset om radiatorreturen gik udenom lageret i perioden november til marts eller perioden december til februar. Med automatisk omkobling af radiatorreturen som i Greve anlægget beregnes en ydelse på 103 kWh/m^2.år. (Beregning 1-4).

Udnyttelse af alle radiatorer

En beregning foretaget under den lidt konstruerede forudsætning, at det samme målte varmebehov blev ydet af den samlede varmefladestørrelse, giver en ydelse på 97 kWh/m^2·år. Den forøgede ydelse skyldes, at returtemperaturen som følge af den større varmeflade bliver mindre. Der beregnes en ydelse til rumopvarming på 32 kWh/m^2·år mod målt 24.(Beregning nr. 5).

Lagerbeholderens isolering

Lagerbeholderens varmetab svarer til 4 cm effektiv mineraluldsisolering. Sættes isoleringen til 10 cm og antages det,at radiatorreturen er koblet uden om lageret i perioden december-februar - det har ingen mening at antage de oprindelige omkoblinger - fås en ydelse på 97 kWh/m^2·år. Lagerbeholderens varmetab har således en vis betydning. (Beregning nr. 6 og 7).

I de følgende beregninger fastholdes lagerisoleringen på 10 cm.

Radiatorstørrelsen

Med en radiatordimensionering på 60/40 i stedet for den målte 80/56,fås en ydelse på 112 kWh/m^2·år,idet radiatorreturen antages koblet uden om lageret i december-februar,og fremløbstemperaturen er konstant 60°C.

Sættes fremløbstemperaturen til konstant 40°C fås den samme ydelse, og kun 82% af opvarmningsbehovet kan dækkes. At ydelsen ikke bliver højere ved at sænke fremløbstemperaturen skyldes, at der periodevis tilføres store energimængder til lageret, idet den gennemstrømmende vandmængde ved en sænkning af fremløbstemperaturen bliver større.

Ved dimensioneringstilstanden 35/30 svarende til f.eks. et gulvvarmesystem, fås en ydelse på 125 kWh/m^2·år, idet det antages at radiatorreturen går gennem lageret hele året.

Ved en forøgelse af varmefladestørrelsen fås således en vis stigning i ydelsen. (Beregning nr. 8-10).

Fordelingen af forbruget til rumopvarmning

En beregning af anlægget i Gentofte, med samme forbrug til rumopvarmning (15700 kWh/år), men fordelt over året som beregnet med BA4-programmet (fig. 8.3) giver en ydelse på 148 kWh/m^2·år, mod 88 med den målte fordeling.

Antages forbruget døgn for døgn at være det samme som i målingerne, og antages det at forbruget i det enkelte døgn er jævnt fordelt, i stedet for som tilfældet er, at det falder i korte perioder, beregnes en ydelse på 117 kWh/m^2·år. Årsagen til den højere ydelse ligger i, at varmefladen udnyttes bedre, returtemperaturen falder,og der tilføres ikke så store energimængder til lagerbeholderen. (Beregning nr. 11 og 12).

Det er altså,som nævnt i indledningen,helt afgørende for anlæggets ydelse,at forbrugsfordelingen har været atypisk.

De her anvendte forbrug er naturligvis urealistiske. Det er måske mere interessant at se,hvad ydelsen havde været,hvis hele huset havde været varmet op.

Forbruget til rumopvarmning

Med BA4-programmet blev det årlige behov til rumopvarmning beregnet til 29000 kWh, med en krævet rumtemperatur på 21°C. Med dette varmebehov beregnes en ydelse på 138 kWh/m^2·år, idet det

er antaget, at radiatorreturen er koblet uden om lageret i perioden december til februar, og idet fremløbstemperaturen er konstant 60°C. Kobles der uden om i november til marts falder ydelsen til 135 kWh/m^2·år, og med automatisk omkobling fås 176 kWh/m^2·år.

Tilsvarende beregninger med radiatordimensioneringen 60/40 giver 183 kWh/m^2·år med manuel omkobling og 197 med automatisk med en fremløbstemperatur på 60°C. (Beregning nr. 13-17).

Det må da konstateres, at anlægget ville have givet en pæn ydelse, hvis hele huset havde været opvarmet. Endvidere at det er uheldigt med den manuelle omkobling af radiatorreturen ved den faktiske radiatordimensionering, mens det ville have været i orden, hvis radiatordimensioneringen havde været 60/40.

Ydelsen med forbedret solfanger

Siden anlægget blev bygget, er der fremkommet mere effektive solfangere. Fig. 8.4 viser nogle supplerende beregninger med en solfanger svarende til 1 på fig. 7.4 (Beregning nr. 18 og 19).

Konklusion

At anlægget i Gentofte har ydet så lidt, som det har, skyldes først og fremmest, at forbruget til rumopvarmning har været lavt, med deraf følgende afvigende fordeling over året. Selv med meget store radiatorer og mere effektive solfangere ville ydelsen med det pågældende forbrug ikke blive særlig høj.

Det er derfor ikke hensigtsmæssigt at installere et så stort kombineret anlæg i forbindelse med et sådant forbrugsmønster. Et mindre anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand vil desuden være mindre følsomt for forbrugsmønsteret.

I forbindelse med huset i Gentofte ville det være hensigtmæssigt at anvende en systemløsning med en separat radiator til solvarme. Denne løsning vil blive behandlet nærmere i kapitel 9.8, og der vil her blive foretaget en beregning på anlægget i Gentofte.

Havde anlægget i Gentofte været udført efter dette princip med det halve areal, en halvt så stor beholder og den samme solfanger, var ydelsen blevet omkring 175 $kWh/m^2 \cdot år$, forudsat at lagerbeholderen var isoleret svarende til 10 cm mineraluld, og beregnet med det målte forbrug og solindfald.

Med det halve areal fås altså den dobbelte ydelse og dermed samme dækningsgrad.

Med en tidssvarende selektiv solfanger ville samme dækning kunne opnås med et solfangerareal på 10 m^2. Dette anlæg ville altså give samme dækning som det aktuelle anlæg i Gentofte.

9. ANALYSE AF SOLVARMEANLÆG TIL RUMOPVARMNING OG VARMT BRUGSVAND TIL INDIVIDUELLE BOLIGER

9.1 Indledning

I dette kapitel vil der blive foretaget en analyse af ydelsen af kombinerede solvarmeanlæg i afhængighed af anlægsstørrelse og dimensionering af opvarmningssystemet. Denne analyse vil blive foretaget på baggrund af den verificerede Greve model.

På grundlag heraf vælges en anlægsstørrelse til nærmere analyse, specielt af betydningen af systemløsningen, opvarmningssystemet og reguleringen af dette. Det vil blive diskuteret hvilken systemløsning og hvilken reguleringsform, der er mest hensigtsmæssig under hensyntagen til pris, ydelse og driftssikkerhed.

Der peges på to systemløsninger som er hensigtsmæssige, og der vil blive foretaget forskellige parametervariationer på disse.

9.2 Mulighederne for umiddelbare forbedringer

Det fremgår af kap. 7 og kap. 8, at den væsentligste svaghed ved Greve anlægget var solfangeren og rørsystemet, og ved Gentofte anlægget opvarmningssystemet og systemløsningen.

De umiddelbare muligheder for forbedringer af kombinerede anlæg ligger først og fremmest i anvendelse af effektive tidssvarende solfangere, bedre udformning af rørsystemer og anvendelse af et opvarmningssystem, der i størrelse mindst svarer til det i Greve anlægget, samt anvendelse af en hensigtsmæssig styring af varmeanlægget og en hensigtsmæssig systemløsning.

9.3 Ydelsens afhængighed af solfangerareal og opvarmningssystemets dimensionering

Denne analyse foretages direkte på grundlag af EDB-modellen til Greve anlægget. Det vil sige en systemløsning svarende til

fig. 2.3 med automatisk omkobling af radiatorreturen, med styring af fremløbstemperaturen efter udelufttemperaturen og anvendelse af radiatortermostater.

Forudsætninger

Undersøgelsen omfatter et parcelhus på ca. 120 m^2 isoleret efter BR77 med et dimensionerende varmetab på 6100 W. Dette svarer nogenlunde til huset i Greve, hvor det dimensionerende varmetab er 5800 W.

Forbruget til rumopvarmning er med BA4-programmet (ref. 10) beregnet til 14100 kWh/år. BA4-programmet beregner varmebehovet under hensyntagen til gratisvarme (fra solindfald, personvarme og elforbrug) og varmeakkumulering i bygningen. Som vejrdata anvendes timeværdier fra det nye referenceår, og beregningen giver varmebehovet som timeværdier. Det skal bemærkes, at BA4-programmet behandler huset som ét rum, dvs. at det i forbindelse med beregning af radiatorsystemer ikke er muligt at dele varmebehovet op på de enkelte rum.

De øvrige forudsætninger er som følger:

Varmt brugsvand:

200 l/dag, opvarmet fra 10 til 50 °C, svarende til ca. 3400 kWh/år. Forbrugsfordelingen antages ens hver dag.

Rørsystem mellem solfanger og lager:

Varmetabskoefficient 0,4 W/°C pr. m^2 solfanger, varmekapacitet 7 kJ/°C pr. m^2 solfanger, svarer for et 25 m^2 anlæg til 40 m 1" middelsvære gevindrør isoleret med 30 mm mineraluld.

Solfanger:

Et dæklag af glas, selektiv absorber, se fig. 7.4 kurve 1. Varmekapacitet 15 kJ/°C·m^2

Lagerbeholder:

75 l pr. m^2 solfanger.

I bilag III er angivet data for standardanlæg.

Ydelse og dækningsgrad

Fig. 9.1 og 9.2 viser ydelsen og dækningsgraden i afhængighed af solfangerarealet for forskellige dimensioneringer af opvarmningssystemet. Der er vist ydelsen med og uden hensyntagen til rørsystemet. Rørsystemets tabskoefficient og varmekapacitet er svarende til Greve-anlægget, idet størrelserne antages at være proportionale med solfangerarealet. Resultatet afviger kun lidt fra de tilsvarende beregninger i 'Solvarmebogen' (ref.11), i hvilke der ikke er taget hensyn til bl.a. rørsystemer. Beregningerne i 'Solvarmebogen' giver lidt højere ydelse, dette skyldes nok mest, at der her er anvendt det 'gamle' referenceår. Se bilag IV.

Til sammenligning er der endvidere vist ydelsen af anlægget i Greve og Gentofte, og ydelsen af et solvarmeanlæg med samme solfanger, der kun leverer brugsvand.

Fig. 9.2 viser, at dækningsgraden ved dimensioneringstilstanden 35/30 ^{o}C når 45% ved et areal på 40 til 50 m^2 solfanger, en yderligere forøgelse af dækningsgraden kræver meget store arealer. Ved en dækningsgrad på 45% er ydelsen knapt 200 kWh/m^{2}år.

Med et solfangerareal på omkring 5 m^2 giver et solvarmeanlæg til rumopvarmning og brugsvand ikke væsentligt mere end et rent brugsvandsanlæg. For arealer herfra og op til omkring 30 m^2 giver det kombinerede anlæg en gradvis større ydelse end brugsvandsanlægget. Herfra er forskellen i ydelse konstant.

Ud fra et ydelsesmæssigt synspunkt kan det således altid betale sig at udføre et solvarmeanlæg, så det også kan levere til rumopvarmning. For et solfangerareal over ca. 10 m^2 giver et kombineret anlæg en væsentlig højere ydelse end et rent brugsvandsanlæg.

Et kombineret anlæg vil være dyrere pr. m^2 solfanger end et rent brugsvandsanlæg med samme solfangerareal, idet der skal etableres en sammenkobling af solvarmeanlægget med det øvrige opvarmningssystem, og installeres en form for styring af denne. Der vil derfor være et mindste-areal, for hvilket denne merinvestering kan betale sig. For arealer større end dette vil anlægsprisen pr. m^2 falde, samtidig med at ydelsen også falder. En nærmere analyse heraf vil ikke blive foretaget her, idet merinvesteringen helt afhænger af systemløsningen.

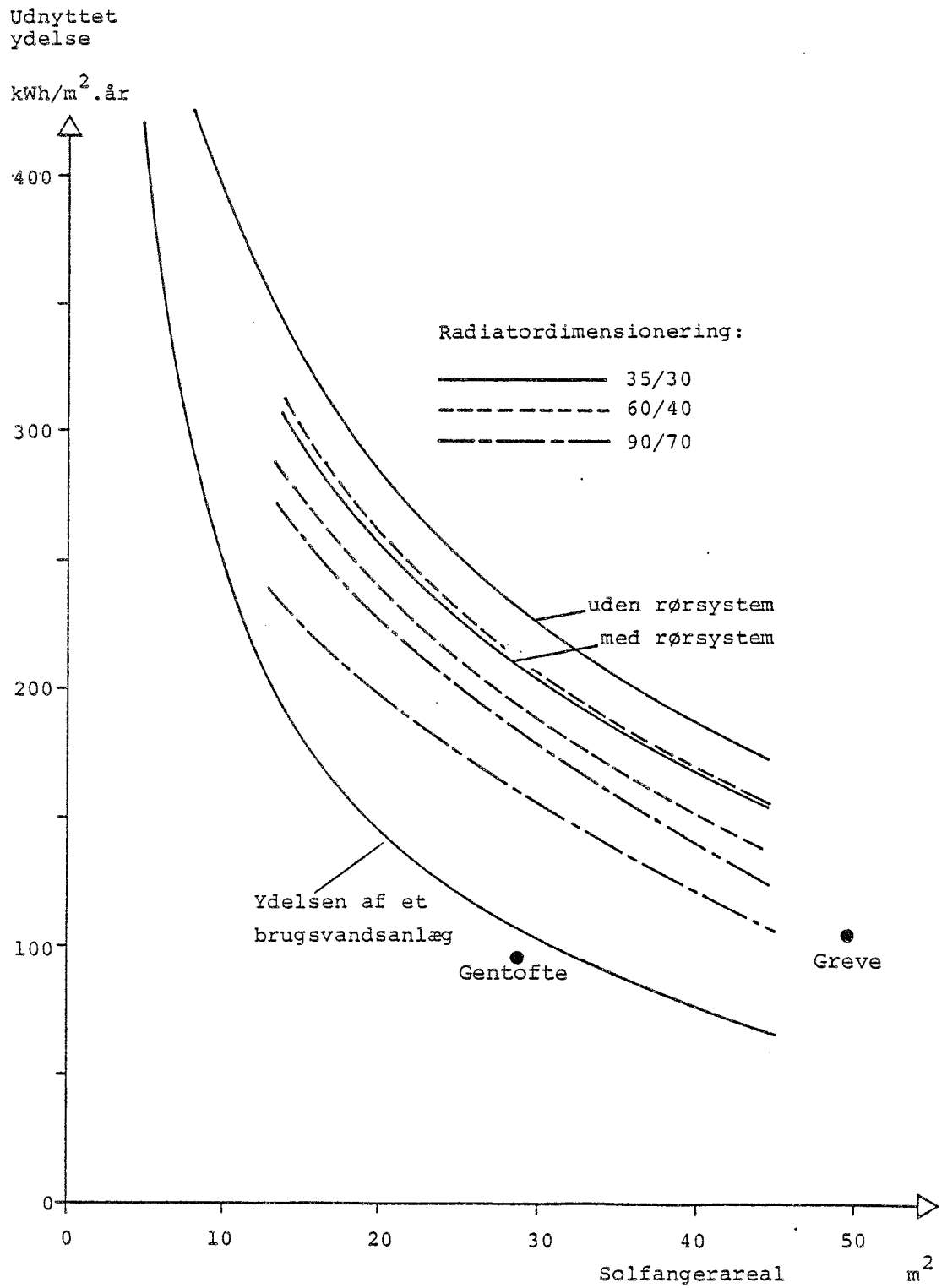


Fig. 9.1 Ydelsens afhængighed af radiatordimensionering og solfangerareal beregnet med den verificerede edb-model. Med og uden hensyntagen til rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder.

Forbrug til rumopvarmning 14100 kWh/år
Forbrug til varmt brugsvand 3400 -

Målingerne i Greve og Gentofte er markeret til sammenligning.

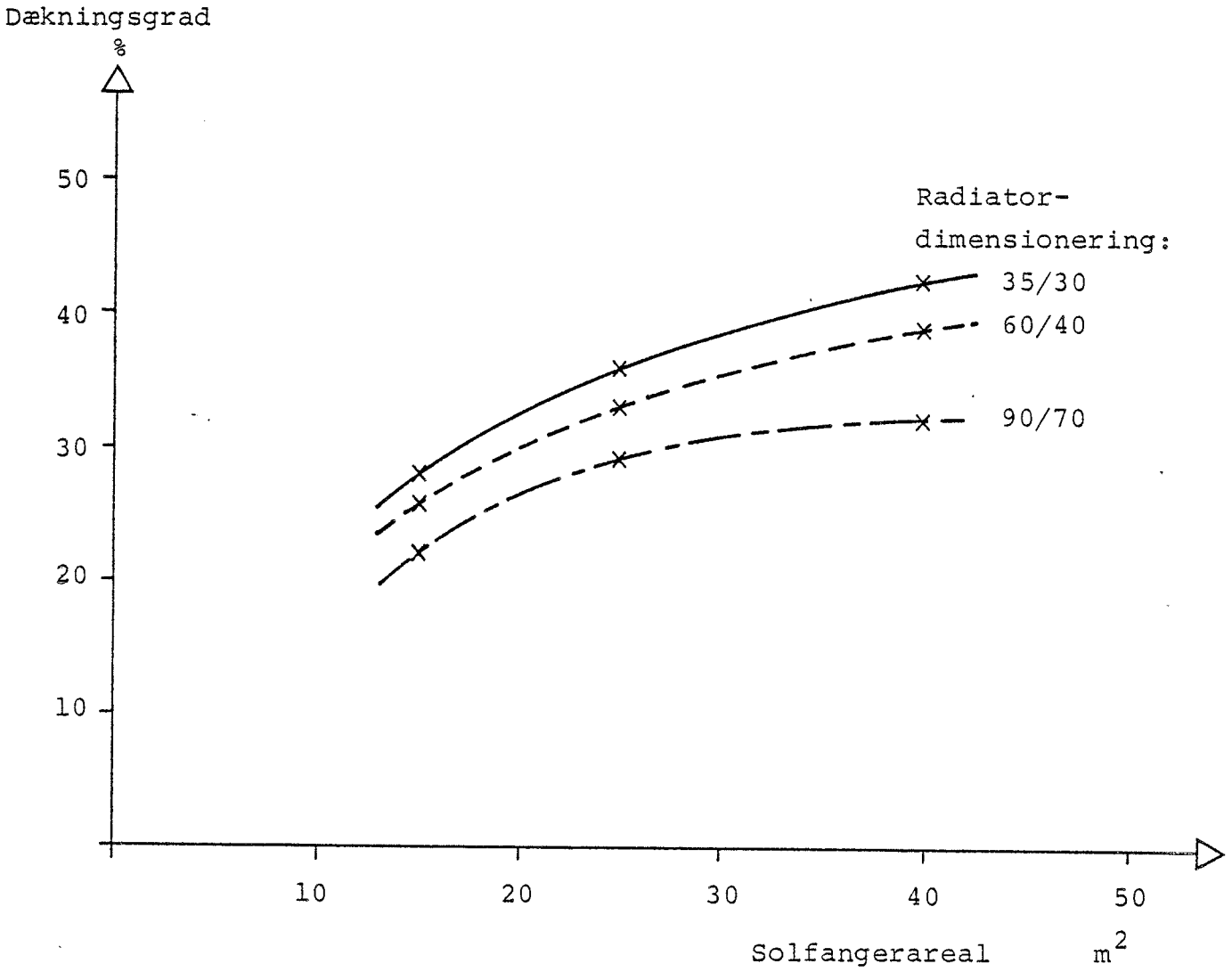


Fig. 9.2 Dækningsgraden for solvarmeanlæg svarende til systemet på fig. 2.3, og hvor der i beregningen tages hensyn til rørsystemet.

Rørsystemets betydning

Fig. 9.3 viser rørsystemets betydning for ydelsen for forskellige solfangerarealer og radiatordimensioneringer. Beregningerne er de samme som for fig. 9.1 og der er altså anvendt data for rørsystemet i Greve, det vil sige at det drejer sig om et ret stort rørsystem. Oftest vil rørsystemet være væsentligt kortere og i Greve var det også muligt at udføre rørsystemet mere hensigtsmæssigt, som det fremgår af ref.1,men i tilfælde af at lagerbeholderen er placeret langt fra solfangeren er tallene ikke urealistiske. I Greve-anlægget er der ialt 134 m rør, hvoraf størstedelen er 2" rør. Rørene er isoleret med 30 mm mineraluld, dog forekommer der rørstrækninger og ventiler mv. uden isolering.

Det er antaget at rørsystemets data er proportionalt med solfangerarealet, hvilket vel ikke er helt realistisk idet der må være relativt flere rør i små anlæg.

Af fig. 9.3 fremgår det at rørsystemet bevirker et fald i den udnyttede ydelse på omkring 10%, næsten uafhængig af solfangerareal og radiatordimensionering. Tabet i rørsystemet ligger på omkring 90 kWh/m^2.år, også uafhængig af solfangerareal og radiatordimensionering. Dette er langt højere end forskellen i ydelse der ligger på 17 til 31 kWh/m^2.år. Grunden hertil er at solfangerens effektivitet stiger ved faldende lagertemperatur som følge af tabene, hvorved noget af det tabte indhentes. Ved store solfangerarealer udgør tabet en langt større procentdel af den udnyttede ydelse end ved små solfangerarealer. Når det alligevel ikke betyder mere for ydelsen,ligger det i,at store anlæg med høj dækningsgrad er relativt ufølsomme,idet de producerer en del overskudsenergi i sommerperioden der under ingen omstændigheder kan udnyttes. Det der ikke bliver tabt i rørene bliver bare senere tabt som varmetab fra lagerbeholderen.

Af fig. 6.14 fremgår nogle beregninger på rørsystemets indflydelse på ydelsen af brugsvandsanlæg. Det ses at det samme rørsystem på et brugsvandsanlæg på 10 m^2 kun bevirker et fald i den udnyttede ydelse på omkring 5%, altså det halve af hvad der gælder for et anlæg til rumopvarmning. Grunden hertil fremgår af afsnit 5.5.

Solfanger-areal m^2	Ydelse med rør kWh/m^2·år	uden rør kWh/m^2·år	forskel kWh/m^2·år	forskel %	Tab i rør kWh/m^2·år
15	272	303	31	10	85
25	210	233	23	10	90
45	146	163	17	10	95

Dimensio-neringstilstand $^oC/^oC$	Ydelse med rør kWh/m^2·år	uden rør kWh/m^2·år	forskel kWh/m^2·år	forskel %	Tab i rør kWh/m^2·år
35/30	231	253	22	9	90
60/40	210	233	23	10	90
90/70	181	204	23	11	94

Fig. 9.3 Rørsystemets betydning for ydelsen for forskellige solfangerarealer og dimensioneringstilstande.
Rørsystemets varmetabskoefficient 0,62 W/^oC pr. m^2 solf.
Rørsystemets varmekapacitet 16 kJ/^oC -
Disse tal svarer til rørsystemet i Greve, der er altså tale om et ret stort rørsystem.

9.4 Solvarmesystemer til rumopvarmning, opvarmningssystemer og regulering af varmeanlægget.

Der vil senere blive præsenteret en nærmere analyse af opvarmningssystemets betydning for ydelsen, specielt mht. dimensionerende fremløbstemperatur og afkøling, samt reguleringen af varmebehovet. Til denne analyse anvendes et solfangerareal på 25 m^2 og de samme forbrug som nævnt i afsnit 9.3 (14000 kWh/å til rumopvarmning og 3400 kWh/år til varmt brugsvand). Af fig. 9.1 og 9.2 ses, at et sådant anlæg ved dimensioneringstilstanden 35/30 giver en ydelse på ca. 240 kWh/m^2·år og en dækningsgrad på ca. 34%.

Forinden vil de betragtede solvarmesystemer, opvarmningssystemer og reguleringsformer blive gennemgået.

Formålet er at finde frem til et ukompliceret solvarmesystem, der med en enkel og billig regulering giver en høj ydelse med mindst mulig varmeflade. Det vil endvidere være afgørende, at systemet er sikkert, forstået på den måde, at en fejlindstilling eller en mindre projekteringsfejl ikke vil bevirke, at solvarmeanlæggets ydelse falder væsentligt. Endvidere må ydelsen ikke falde væsentligt ved anvendelse af natsænkning, delvis opvarmning af huset m.v.

Solvarmesystemer til rumopvarmning

Fig. 9.4 viser tre forskellige systemløsninger for solvarmeanlæg til rumopvarmning.

I system 1 går radiatorreturen altid gennem både lagerbeholder og kedel. I system 2 forsynes radiatorerne fra lagerbeholderen, hvis dette er muligt, ellers fra kedlen. I system 3 er der mulighed for forvarmning i lagerbeholderen og eftervarmning i kedlen, idet radiatorreturen kan sendes gennem lagerbeholderen, eller direkte til kedlen.

Anlæggene i Greve og Gentofte svarer begge til system 3, idet omkoblingen i Greve sker automatisk, mens den i Gentofte er manuel.

Af ref. 11 fremgår en undersøgelse af disse tre systemers ydelse. Fig. 9.5 viser en gengivelse af resultatet for et

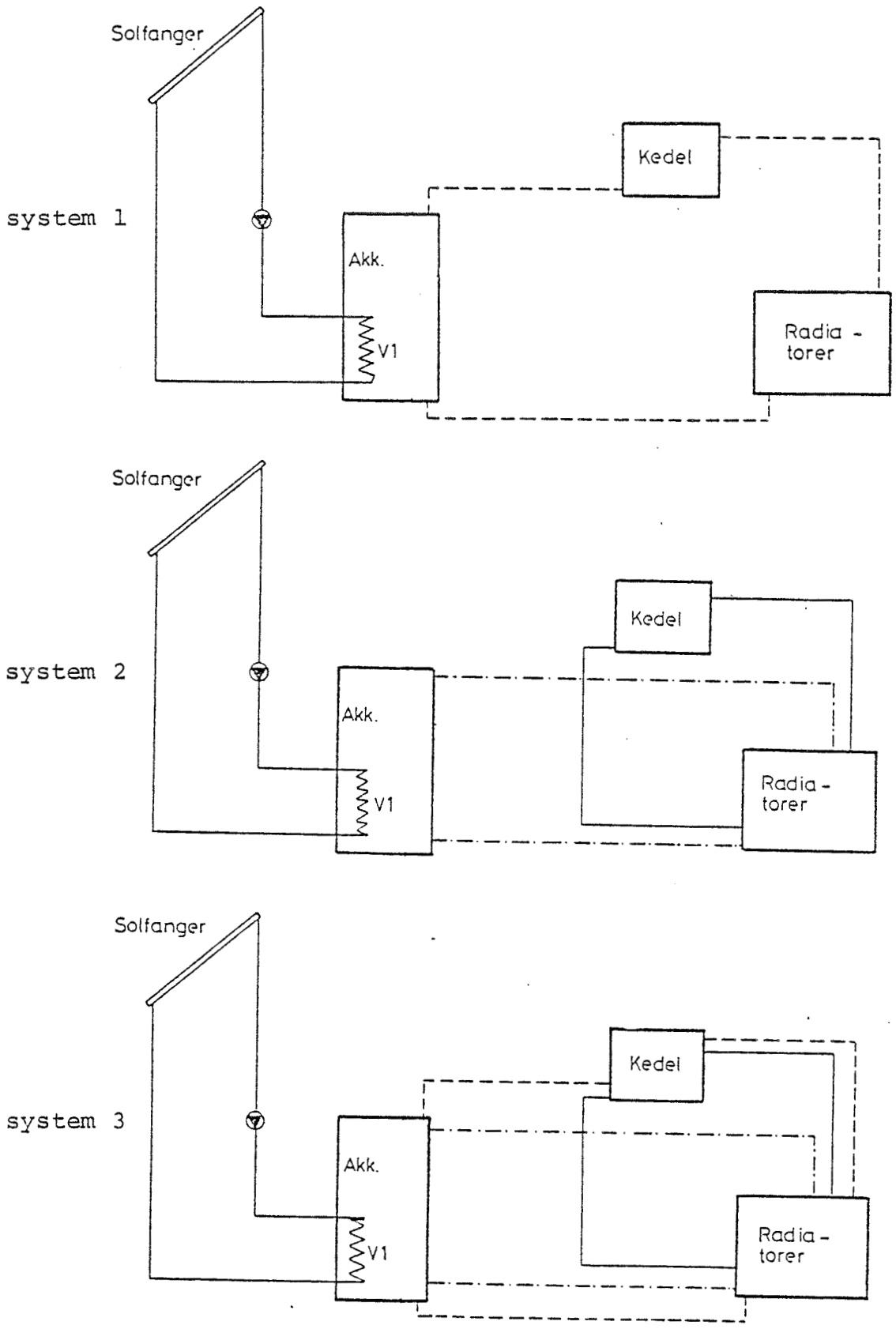


Fig. 9.4 Systemløsninger for solvarmeanlæg til rumopvarmning, ref. 11.

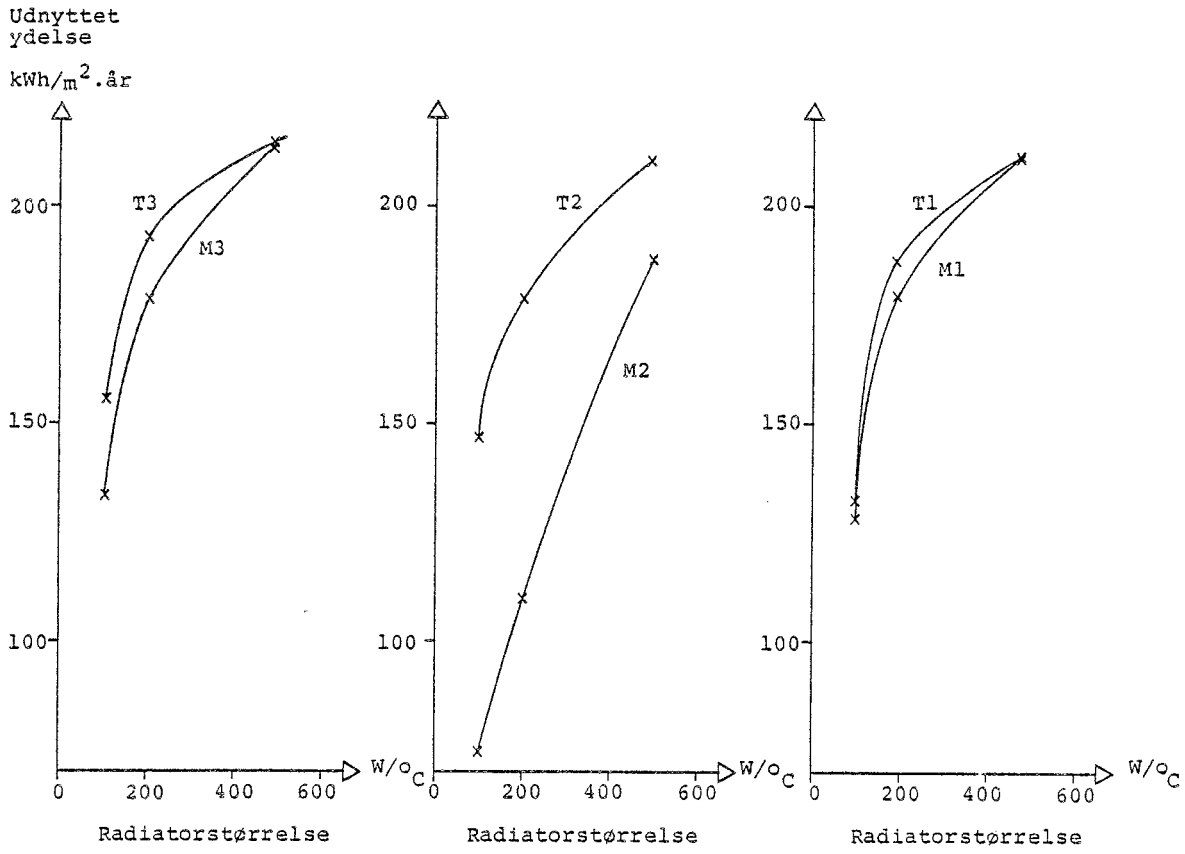


Fig. 9.5 Ydelsen som funktion af radiatorstørrelsen for systemløsningerne 1, 2 og 3 fra fig. 9.4.

Der er vist ydelsen ved temperaturregulering (T) og mængderegulering (M).

Solfangerareal = 40 m^2.

Forbrug til rumopvarmning 14000 kWh/år og til varmt brugsvand 4400 kWh/år svarende til værdierne i ref. 11.

40 m^2 solvarmeanlægs ydelse i afhængighed af varmefladestørrelsen.

Der er vist ydelsen ved temperaturregulering og mængderegulering. Ved temperaturregulering anvendes konstant den dimensionerende vandgennemstrømning, og fremløbstemperaturen reguleres efter behov. Ved mængderegulering anvendes konstant den dimensionerende fremløbstemperatur, og gennemstrømningen reguleres.

Det ses, at temperaturregulering i alle tilfælde giver størst ydelse, men at forskellen bliver minimal for store varmeflader. Endvidere ses det, at system 1 for store varmeflader giver næsten samme ydelse som system 3, samt at mængderegulering giver lave ydelser med system 2.

Idet det vil være ønskeligt i forbindelse med radiatorer at anvende radiatortermostater (udnyttelse af gratisvarmen), udelukkes system 2, da radiatortermostaterne indebærer en vis grad af mængderegulering,der med dette system giver lavere ydelser. Da system 1 ser ud til at give ydelser i nærheden af dem system 3 giver for store varmeflader, inkluderes dette system i undersøgelserne. Fordelen ved system 1 er, at det er enkelt, idet der ikke er nogen omkobling af radiatorreturen.

Regulering af radiatoranlæg

Fig. 9.6 - 9.8 viser de reguleringsformer, der vil blive undersøgt i forbindelse med anvendelse af radiatorer.

1. Konstant fremløbstemperatur og radiatortermostater. Fremløbstemperaturen bestemmes af kedeltermostaten eller ved en termostatisk blandeventil, og varmetilførslen reguleres af radiatortermostaterne. Dette er ren mængderegulering.
2. Termostatisk blandeventil og konstant gennemstrømning. Fremløbstemperaturen reguleres i en blandeventil styret af en rumføler placeret i et centralt rum. Temperaturregulering.

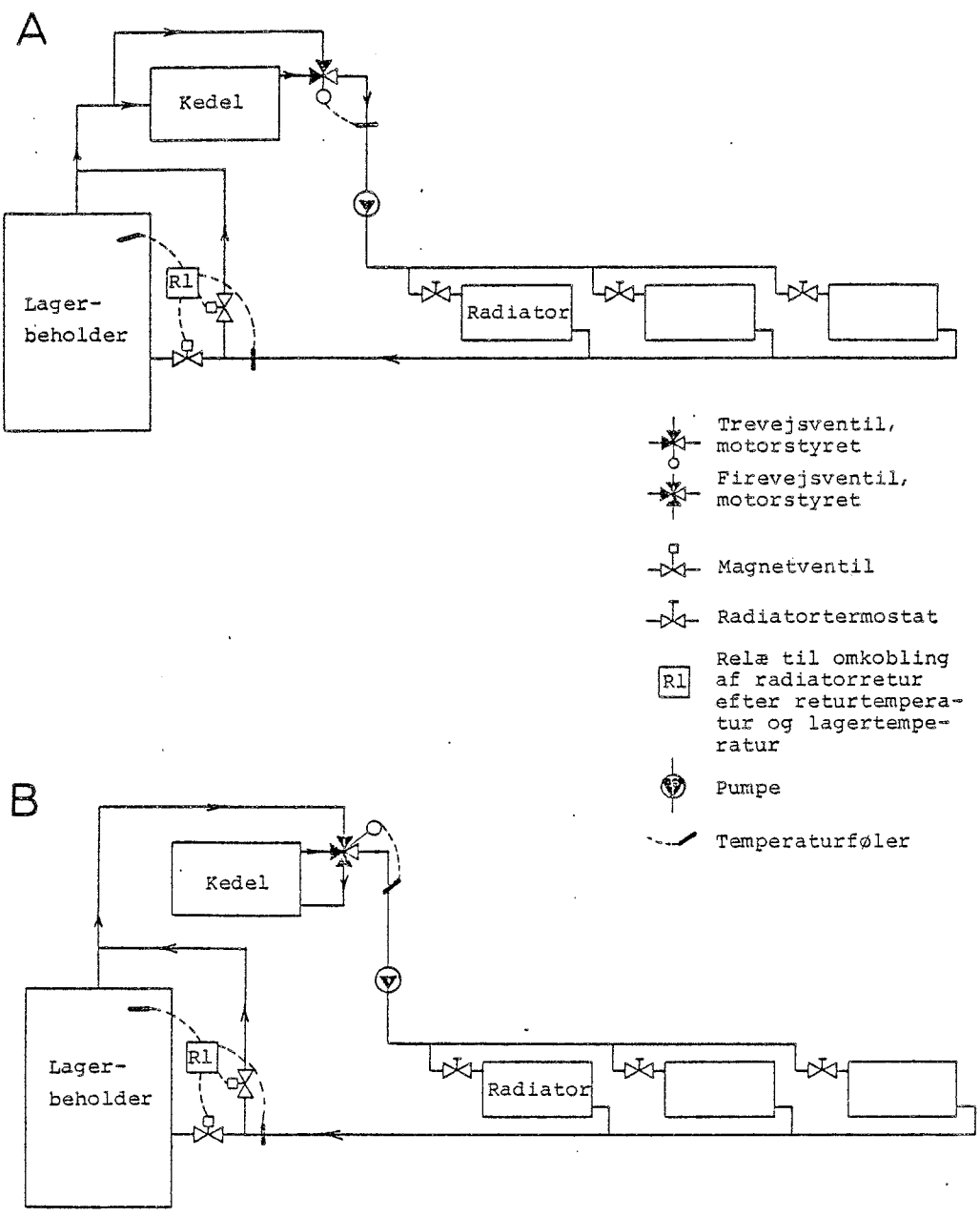


Fig. 9.6 Regulering med konstant fremløbstemperatur og radiatortermostater. Ren mængderegulering.

A Kedlen kan tåle koldt returvand. Hvis den ønskede fremløbstemperatur er lig kedeltemperaturen, behøves ingen blandeventil, kun et omløb til når kedlen er slukket.

B Kedlen kan ikke tåle koldt returvand.

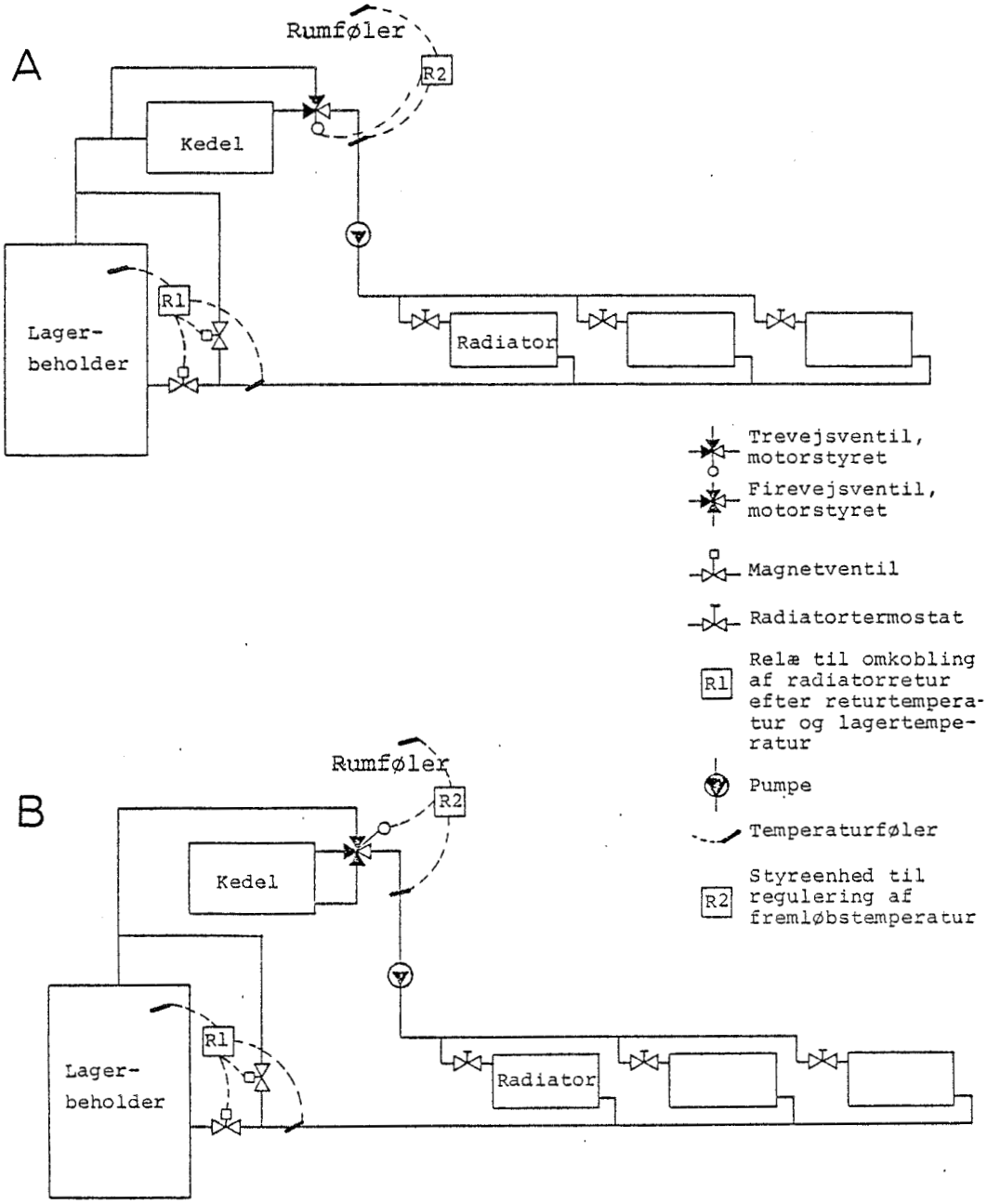


Fig. 9.7 Regulering af fremløbstemperaturen efter rumtemperaturen (varmebehovet). Ren temperaturregulering.

Fremløbstemperaturen kan ikke blive lavere end temperaturen i lagerbeholderen. Derfor er radiatortermostater nødvendige.

Der vil dog blive problemer med styringen, hvis der er termostatventil på radiatoren i det rum, hvor rumføleren er anbragt.

A Kedlen kan tåle lave returtemperaturer.

B Kedlen kan ikke tåle lave returtemperaturer.

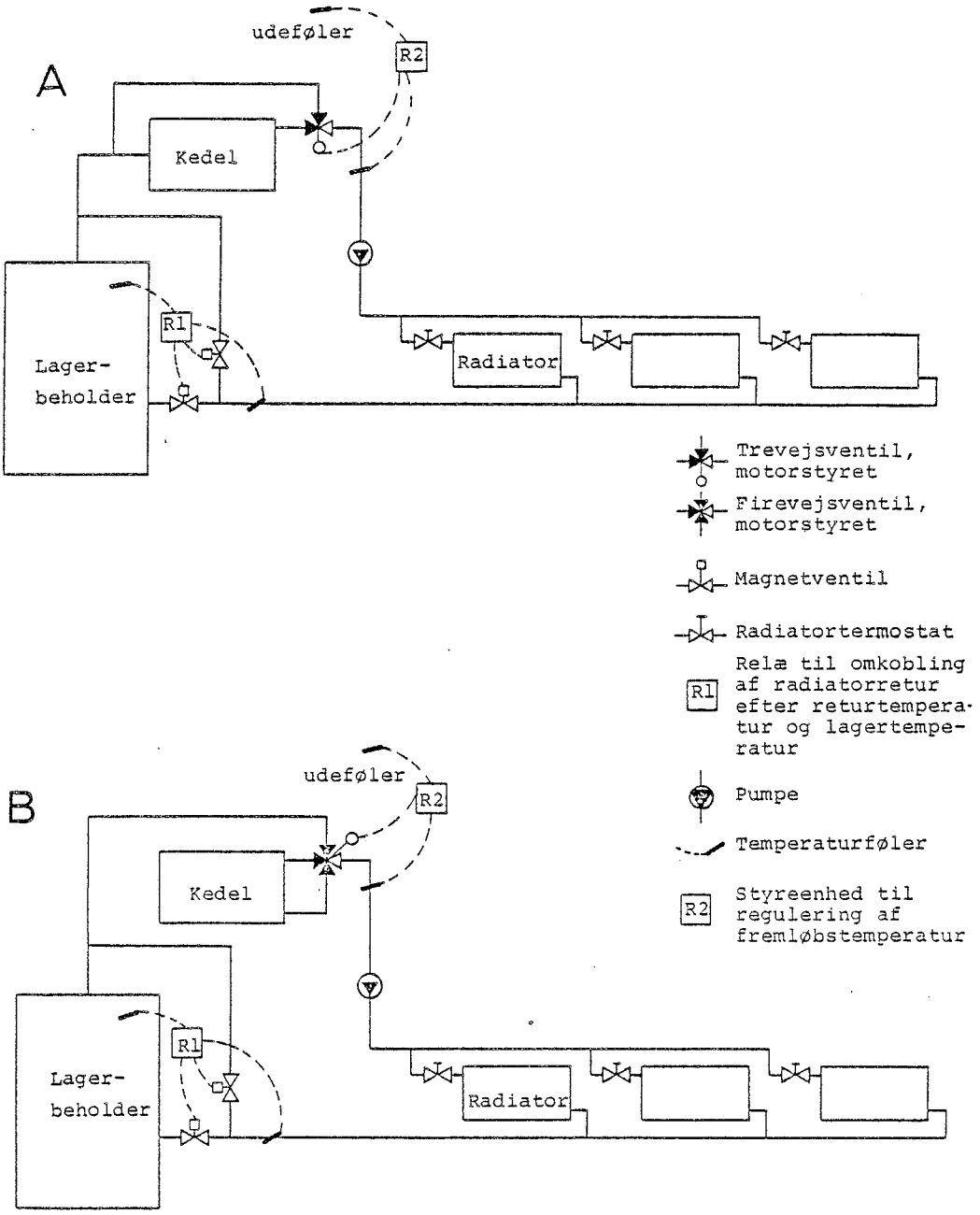


Fig. 9.8 Regulering af fremløbstemperaturen efter en udeføler i kombination med radiatortermostater. Mængde- og temperaturregulering.

A Kedlen kan tåle lave returtemperaturer.

B Kedlen kan ikke tåle lave returtemperaturer.

3. Udekompensering og radiatortermostater. Fremløbstemperaturen reguleres efter udelufttemperaturen, og varmetilførslen reguleres med radiatortermostater. Kombination af mængde- og temperaturregulering.

Med reguleringsform 2 til det være ønskeligt at anvende radiatortermostater til at regulere varmetilførslen til de enkelte rum i overensstemmelse med tilførslen af gratisvarme. Der kan dog ikke være radiatortermostater i det rum, hvor rumføleren er anbragt, idet man ikke samtidig kan regulere på temperaturen og vandgennemstrømningen.

Idet varmebehovet, der anvendes i disse beregninger, er beregnet med BA4-programmet, ref. 10, der er en etrumsmodel, er det ikke muligt at indføre dette i beregningerne. I det beregnede varmebehov er der taget højde for gratisvarme.

Dimensionerende strømningsmængde

Det er klart, at det i forbindelse med solvarme til rumopvarmning har betydning, om der i radiatorerne cirkulerer en lille vandmængde med stor afkøling eller omvendt.

En forøgelse af fremløbstemperaturen vil i forbindelse med radiatortermostater bevirke et fald i returtemperatur, således at det i forbindelse med system 3 bliver muligt at dække en del af varmebehovet med solvarme, hvis returtemperaturen nu bliver lavere end lagertemperaturen. På den anden side vil en forøgelse af afkølingen betyde en dårligere udnyttelse af varmefladen.

I forbindelse med system 1, hvor radiatorreturen altid går gennem lagerbeholderen, vil en stor vandgennemstrømning bevirke, at der i perioder, hvor lagerbeholderens temperatur er lavere end returtemperaturen, tilføres denne store varmemængder, hvorved lagertemperaturen stiger og solfangerens effektivitet forringes. Samtidig vil det også her gælde, at varmefladen udnyttes dårligere ved en lille gennemstrømning og stor afkøling,

hvor der kun tilføres lagerbeholderen små varmemængder.

Det er således ikke umiddelbart indlysende hvad der er bedst, hvorfor dette forhold vil blive undersøgt nærmere.

Regulering af gulvvarmeanlæg

Gulvvarmeanlæg kan ikke reguleres på samme måde som anlæg med radiatorer, idet varmekapaciteten i gulvet bevirker, at gulvtemperaturen kun langsomt ændrer sig. En ændring af gulvtemperaturen på en grad vil vare op til flere timer.

Imidlertid vil gulvets temperatur ofte være så lav, at der sker en slags selvregulering. Ved en reduktion i varmebehovet på grund af solindfald gennem vinduer, vil varmeafgivelsen fra gulvet aftage væsentligt, når rumtemperaturen stiger, og til sidst stoppe. På grund af varmekapaciteten i gulvet er det ikke muligt at anvende natsænkning sammen med gulvvarmeanlæg.

Med et gulvvarmeanlæg vil varmetabet nedad fra gulvet stige på grund af den højere gulvtemperatur, der vil i beregningerne blive taget højde for dette, og tabets betydning vil blive undersøgt.

I forbindelse med gulvvarmeanlæg vil der kun blive behandlet én reguleringsform, nemlig temperaturregulering ved hjælp af en blandeventil styret efter en udeluftføler. Der antages konstant gennemstrømmende væskemængde. Iøvrigt vil solvarmeanlæggets ydelse ikke være særlig afhængig af reguleringsformen sålænge systemløsningen sikrer at solvarmeanlægget udnyttes når det er muligt. Det reguleringstekniske er derudover mest et spørgsmål om komfort, om der kan opstå urimeligt høje eller lave temperaturer som følge af varmekapaciteten.

9.5 Ydelsen for opvarmningssystemer med radiatorer og et solfangerareal på 25 m^2

For at undersøge anvendeligheden af de forskellige styringssystemer og solvarmesystemløsninger og betydningen af den dimensionerende afkøling, bestemmes ydelsen af et 25 m^2 solvarmeanlæg for henholdsvis meget stor og meget lille afkøling, og

for forskellige radiatorstørrelser.

Beregningerne foretages for solvarmesystemerne nr. 1 og 3 (fig. 9.4) og for styringssystemerne, som fremgår af fig. 9.6, 9.7 og 9.8. Iøvrigt gælder de forudsætninger, som fremgår af bilag III.

Fig. 9.9 - 9.11 viser resultatet af beregningerne. Supplerende beregninger viser, at for en mellemstor dimensionerende afkøling ligger ydelsen som regel mellem kurven for henholdsvis meget stor og meget lille afkøling. Fig. 9.12 viser ydelsen for en varmeflade på 580 W/^{o}C for tre forskellige dimensioneringstilstande (32/31, 40/26 og 60/22).

Mængderegulering

Fig. 9.9 viser, at det for en given varmeflade med mængderegulering er bedst at anvende lille dimensionerende afkøling og stor dimensionerende gennemstrømning.

Ved mængderegulering er fremløbstemperaturen konstant lig den dimensionerende fremløbstemperatur. Ved stor dimensionerende afkøling bliver afkølingen i radiatorerne det meste af tiden så stor, at varmefladerne slet ikke udnyttes. Det meste af de enkelte radiatorer er normalt kold.
På fig. 9.9 er indtegnet kurver for konstant dimensionerende fremløbstemperatur. Det ses, at når denne bliver mindre end ca. 60 ^{o}C, er anlæggets ydelse ret uafhængig af varmefladens størrelse, men hovedsagelig afhængig af den dimensionerende fremløbstemperatur. Idet det således drejer sig om at opnå lavest mulig fremløbstemperatur, er det bedst med en given radiatorstørrelse at dimensionere for lille afkøling.

Ydelsen er som det ses ret uafhængig af , om radiatorreturen konstant går gennem lagerbeholderen, eller om der installeres temperaturstyret bypass af lagerbeholderen. Dette skyldes, at afkølingen størstedelen af tiden vil være ret stor, og vandgennemstrømningen ret lille, idet fremløbstemperaturen (der er konstant) er bestemt ud fra dimensioneringstilstanden (-12 ^{o}C udetemperatur). Returtemperaturen og gennemstrømningen vil da i reglen være lav, og der tilføres kun små energimængder

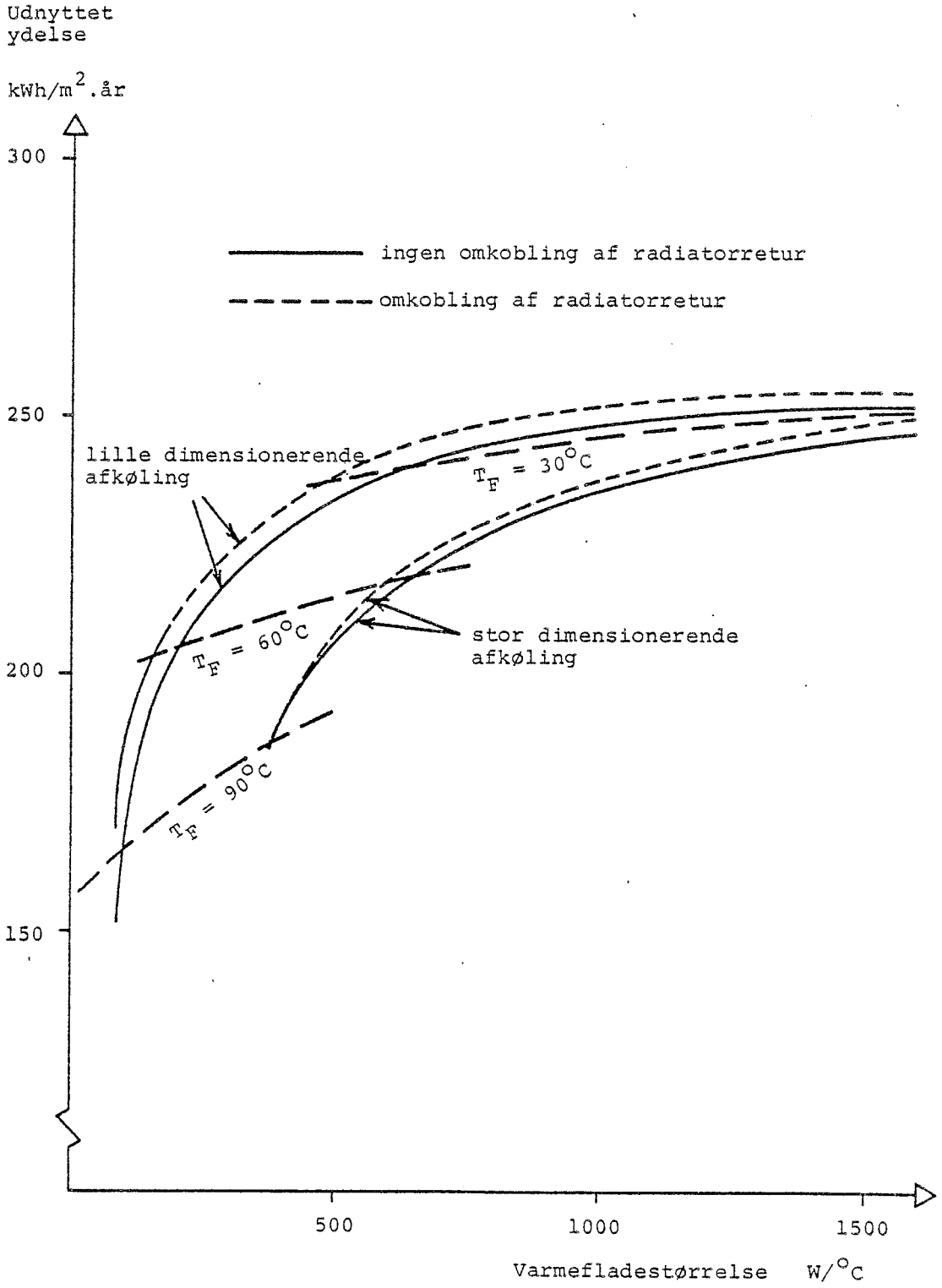


Fig. 9.9 Ydelsen som funktion af varmefladestørrelsen for stor og lille dimensionerende afkøling.

Mængderegulering.

Solfangerareal = 25 m^2.

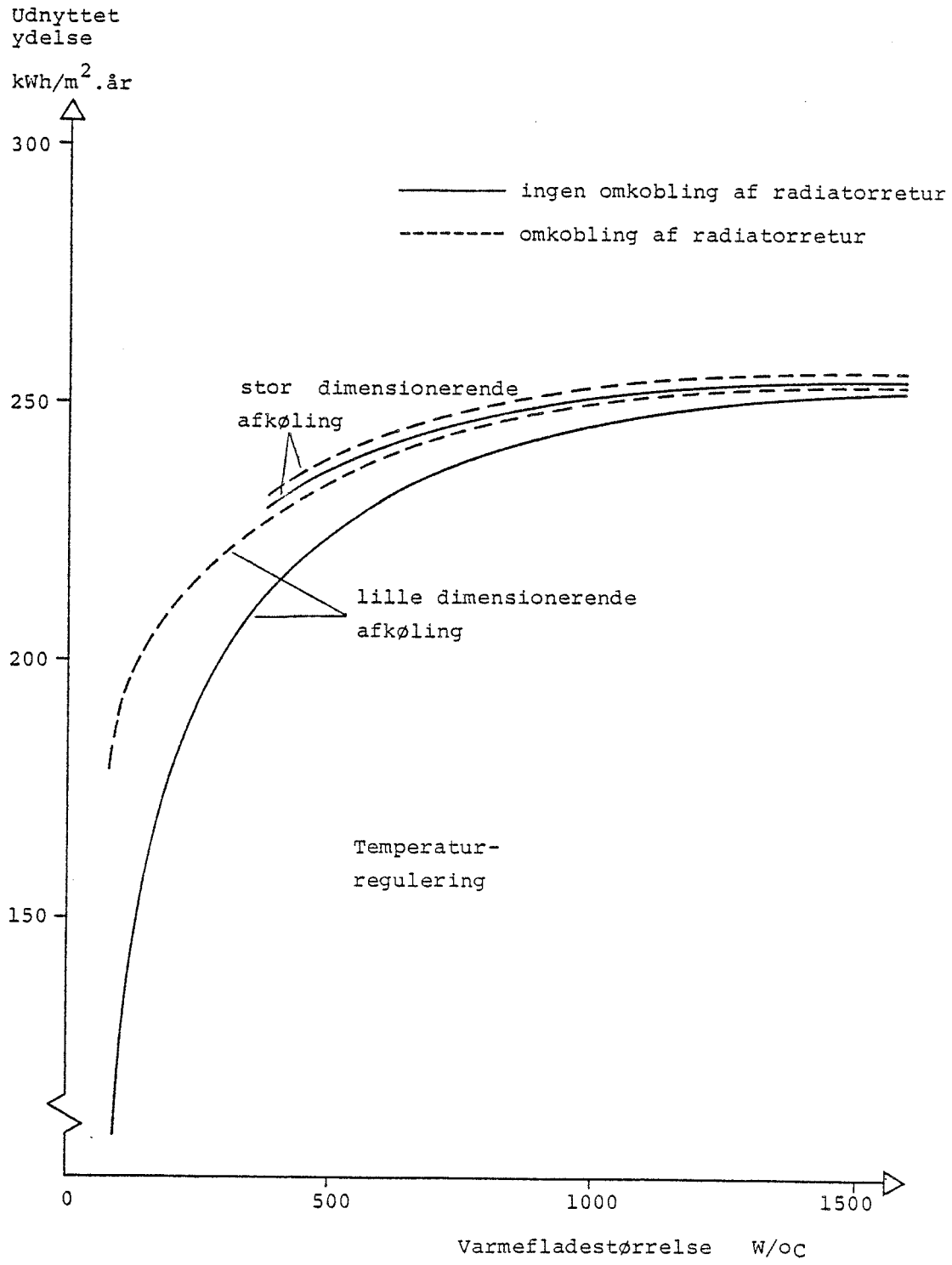


Fig. 9.10 Ydelsen som funktion af varmefladestørrelsen for stor og lille dimensionerende afkøling.
Temperaturregulering.
Solfangerareal = 25 m^2.

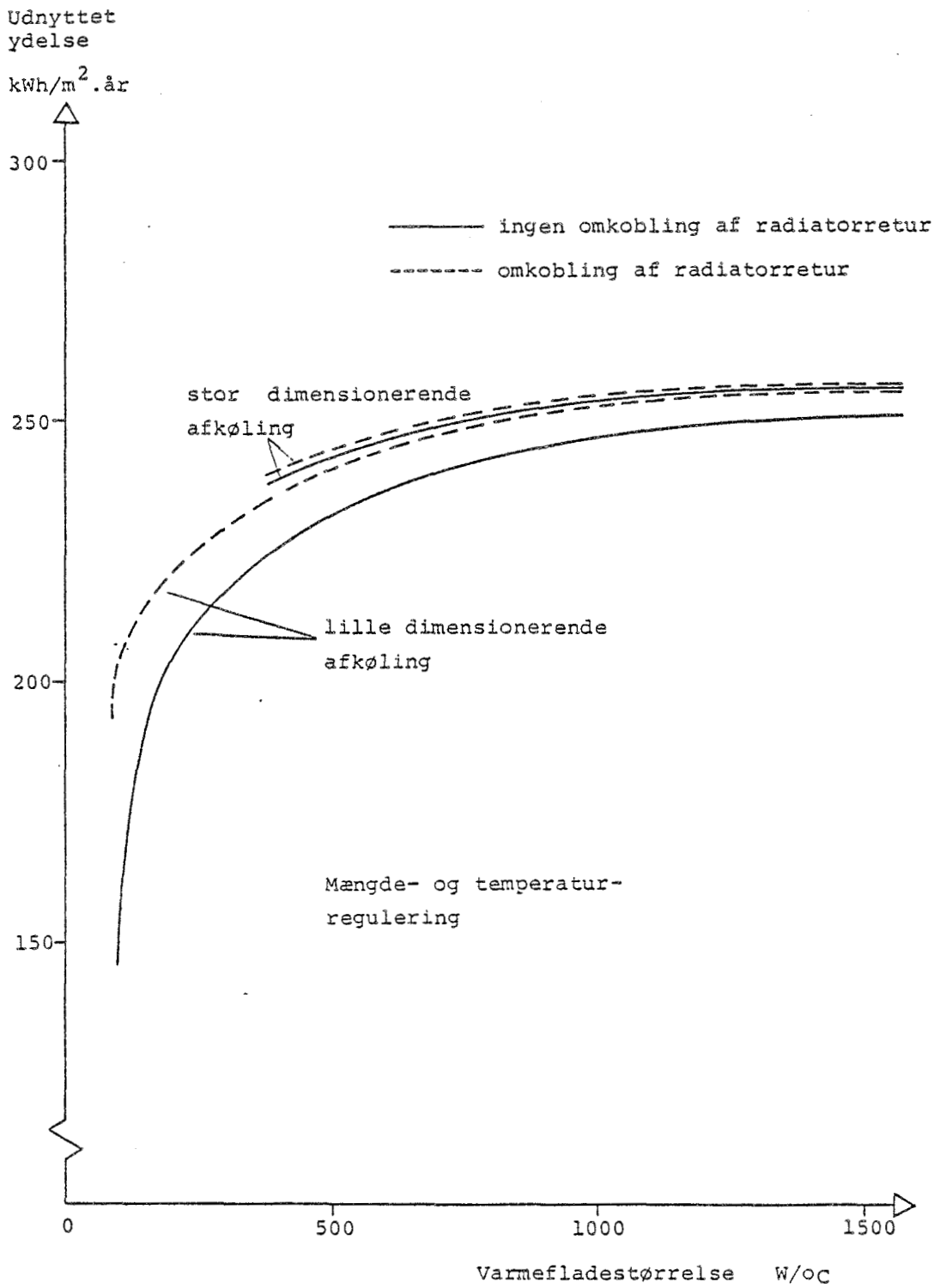


Fig. 9.11 Ydelsen som funktion af varmefladestørrelse for stor og lille dimensionerende afkøling. Kombineret mængde- og temperaturregulering. Solfangerareal = 25 m^2.

System	Huset opvarmet hele tiden. Alle radiatorer åbne.	Natsænkning. Varmeanlægget afbrudt kl.23-05	Halvdelen af radiatorerne afbrudt hele tiden.
M1	242	220	233 94%
M2	239	216	232 94%
M3	219	201	216 97%
MU1	257-19 = 238	330-123 = 207	287-66 = 221 95%
MU2	243- 6 = 237	230- 18 = 212	246-19 = 227 95%
MU3	221- 3 = 218	202- 3 = 199	218- 4 = 214 97%
T1	241	220	216
T2	243	221	218
T3	243	219	221
TU1	316-84 = 232	375-169 = 206	382-190 = 192
TU2	255-16 = 239	235- 18 = 217	256- 53 = 203
TU3	247- 6 = 241	222- 5 = 217	231- 17 = 214
TM1	242	221	238 81%
TM2	242	220	236 81%
TM3	239	214	237 86%
TMU1	279-44 = 235	338-128 = 210	283- 53 = 230 84%
TMU2	256-17 = 239	240- 26 = 214	253- 21 = 232 81%
TMU3	242- 5 = 237	217- 5 = 212	243- 6 = 237 (86%)

Fig. 9.12 Ydelsen for et 25 m^2 solvarmeanlæg for en varmefladestørrelse på 580 $W/^oC$.

M - Mængderegulering

T - Temperaturregulering

TM - Temperatur- og Mængderegulering

U - Uden omkobling af radiatorretur

1 - Dimensioneringstilstand 32/31

2 - " - 40/26

3 - " - 50/23

Eksempel:

257 - 19 = 238

257 Bruttoydelse (tappet fra lagerbeholder) kWh/m^2.år

19 Tilført til lageret fra kedlen -

238 Nettoydelse (udnyttet solvarme) -

Hvor hele rumvarmebehovet ikke kan dækkes er der angivet hvor stor en procentdel der kan dækkes.

til lagerbeholderen. Dette gælder naturligvis specielt når der også er dimensioneret for stor afkøling.

Det skal erindres, at det er en forudsætning for disse beregninger, at alle radiatorer er åbne, således at hele varmefladen udnyttes. Endvidere er det forudsat, at den enkelte radiator er dimensioneret til det varmebehov den skal dække, således at der ikke findes en underdimensioneret radiator, der vil have en konstant høj gennemstrømning og virke som en kortslutning, der giver en høj returtemperatur.

Temperaturregulering

Fig. 9.10 og 9.11 viser tilsvarende beregninger med temperaturregulering henholdsvis med en termostatisk blandeventil koblet til en rumføler og koblet til en udeføler, såkaldt udekompensering. I tilfældet med rumføler er der ikke anvendt radiatortermostater, disse er principielt ikke nødvendige, når huset som her betragtes som ét rum. Den gennemstrømmende væskemængde er således konstant, altså ren temperaturregulering.

Fremløbstemperaturen styres ved hjælp af en rumføler, således at den afgivne varmemængde svarer til behovet. Ved styring efter en udeføler og med radiatortermostater vil vandgennemstrømningen blive mindre, når der tilføres gratisvarme, og afkølingen vil tilsvarende blive større. Derfor vil der ved lille dimensionerende afkøling for systemer med radiatorreturen konstant gennem lageret i perioder tilføres lagerbeholderen store energimængder. Som det ses af fig. 9.12 gælder dette specielt med styring efter en rumføler (TU), hvor afkølingen jo i gennemsnit er mindst. Som følge heraf bliver lagertemperaturen højere og solfangerens effektivitet lavere. Eksempelvis er lagertemperaturen i februar i middel for de pågældende systemer henholdsvis 29 og 27 ^{o}C, mens den for systemerne med omkobling af radiatorreturen er omkring 24 ^{o}C.

Systemet med lille dimensionerende afkøling og radiatorreturen konstant gennem lagerbeholderen i forbindelse med temperaturregulering kan altså ikke anbefales.

Dimensioneres der efter stor afkøling, tilføres der med systemet uden omkobling kun små mængder energi til lagerbeholderen, og systemet uden omkobling giver næsten samme ydelse som systemet med omkobling.

Endvidere ses det af figurerne, at systemet med lille dimensionerende afkøling og omkobling af radiatorreturen giver ydelser i nærheden af systemer med stor afkøling.

Sammenligning af mængde- og temperaturregulering

I den følgende diskussion ses der bort fra kombinationer, der ud fra det foregående ikke kunne anbefales. Dvs. systemer med mængderegulering og stor dimensionerende afkøling, samt systemer med temperaturregulering, lille dimensionerende afkøling og med radiatorreturen konstant gennem lagerbeholderen.

En sammenligning af fig. 9.9 - 9.11 viser, at for små varmeflader giver temperaturstyring efter en udeføler i kombination med radiatortermostater en noget højere ydelse end de øvrige systemer. For større varmeflader, mere end 500 W/^{o}C, er forskellen i ydelse for de forskellige styresystemer ikke ret stor.

Alle kombinationer af styresystemer og solvarmesystemløsninger giver for meget store varmeflader en årlig ydelse på 250-260 kWh/m^{2}. Under de forudsætninger, der iøvrigt gælder for undersøgelsen, er dette altså det, der maximalt kan opnås med et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Ydelsen vil dog, som anført i kap. 5, kunne forøges med 10-20% ved udnyttelse af temperaturlagdeling i lagerbeholderen. Ydelsen er leveret varmemængde til hus uden hensyntagen til sparet tomgangstab m.v.

Med en varmeflade på over 500 W/^{o}C, svarende til dimensioneringstilstanden ca. 35/30, giver alle ikke frasorterede kombinationer en ydelse på over 230 kWh/m^{2}.år. Uden at der er foretaget en økonomisk optimering synes det ikke rimeligt at forøge varmefladen væsentligt ud over dette.

9.6 Betydningen af natsænkning og afbrydelse af en del af radiatorerne

De hidtidige beregninger er foretaget under den forudsætning, at rumtemperaturen holdes konstant på 21 °C, og det anvendte varmebehov er beregnet under denne forudsætning. Endvidere var det forudsat, at alle radiatorer var åbne hele tiden, altså at hele varmefladen blev udnyttet.

Det vil nu blive undersøgt, hvad det betyder for ydelsen af de forskellige kombinationer af systemløsninger og reguleringsformer, hvis disse betingelser ikke er opfyldt.

Natsænkning

Varmebehovet til beregninger med natsænkning er beregnet med BA4-programmet, idet det antages at varmeanlægget afbrydes fra kl. 23 til kl. 5.

Når varmeanlægget tilsluttes igen, antages det, at der afgives en varmemængde svarende til varmeanlæggets dimensioneringstilstand (husets dimensionerende varmetab), forhøjet svarende til den forøgede middeltemperaturdifferens som følge af den lavere rumtemperatur. Denne varmemængde afgives, indtil rumtemperaturen når de ønskede 21 °C, hvorefter varmebehovet er som i de foregående beregninger. Med temperaturregulering efter en udeføler antages det da, at fremløbstemperaturen i denne periode ikke styres af udetemperaturen, men sættes til den dimensionerende fremløbstemperatur. Varmebehovet uden anvendelse af natsænkning var beregnet til 14100 kWh/år. Med natsænkning bliver varmebehovet 12200 kWh/år, svarende til en reduktion på 13%.

Afbrydelse af en del af radiatorerne

Det vil ofte være således, at der i et og samme rum findes flere radiatorer, og størstedelen af året er det kun nødvendigt at åbne den ene radiator for at opnå den ønskede rumtemperatur.

Endvidere vil man ofte, for at spare på varmen, afbryde radiatorerne i periodevis ubenyttede rum. I et velisoleret hus med almindelige lette skillevægge vil varmebehovet som følge heraf ikke reduceres proportionalt med den udnyttede varmeflade, idet der sker en betydelig varmetransport gennem skillevæggene, således at radiatorerne i tilstødende rum belastes mere. I målingerne fra Gentofte falder temperaturen fra uopvarmede rum således kun til 10 - 15 °C ved en udetemperatur på 0 °C.

Desuden kan radiatorsystemet være underdimensioneret, enten ved en fejlprojektering af radiatorerne, eller derved at husets varmetab er højere end forudsat.

For at undersøge betydningen af disse forhold korrekt vil det være nødvendigt at betragte et konkret hus, og udfra forskellige antagelser beregne et nyt varmebehov. Dette varmebehov skal så sammen med den skiftende varmefladestørrelse anvendes til beregninger på solvarmeanlægget, og det vil ikke være muligt at betragte radiatorsystemet som en stor radiator, som det hidtil er gjort.

For alligevel at kunne vurdere betydningen af sådanne forhold er der foretaget beregninger under følgende forudsætninger:

1) Kun halvdelen af varmefladen udnyttes, svarende til at halvdelen af et antal lige store radiatorer er afbrudt.

2) Varmebehovet er uforandret 14100 kWh/år. Så vidt muligt opvarmes hele huset til de 21 °C,f.eks svarende til at alle indvendige døre er åbne.

3) Den gennemstrømmende vandmængde er som var alle radiatorerne åbne.

4) Iøvrigt styres varmeanlægget som det er dimensioneret til, dvs. at fremløbstemperaturen ved mængderegulering ikke ændres, og at udekompenseringsudstyret indstilles, som det er dimensioneret til. Dette betyder, at varmebehovet ikke altid kan dækkes, og rumtemperaturen derfor vil falde.

Betydning for ydelsen

Fig. 9.12 viser ydelsen af et 25 m^2 anlæg for de samme kombinationer af systemer og reguleringsformer som under afsnit 9.5, for en varmefladestørrelse på 580 W/°C. Der er vist ydelsen, når rumtemperaturen holdes konstant og hele varmefladen udnyttes, når der anvendes natsænkning, og når halvdelen af radiatorerne er afbrudt. I de tilfælde, hvor hele varmebehovet ikke kan dækkes, er dette anført. Ydelsen er vist for tre dimensioneringstilstande 32/31, 40/26 og 60/22, som alle giver en logaritmisk middeltemperaturdifferens på 10,5 °C. For systemer uden omkobling af radiatorreturen er der anført bruttoydelsen fra lagerbeholderen, samt den del heraf, der er tilført fra kedlen (primære varmekilde).

Den valgte varmeflade på 580 W/°C er relativ stor (se fig. 9.9 - 9.11). Derfor er reduktionerne i ydelse i nogle tilfælde ret lille. For en mindre varmeflade fås større reduktion.

I det følgende uddrages nogle konklusioner ud fra fig. 9.12. De anvendte betegnelser fremgår af figuren. Der vil blive anvendt følgende betegnelser: M betegner Mængderegulering, U betegner, at systemet er Uden omkobling af radiatorreturen, T betegner Temperaturregulering og TM Temperatur- og Mængderegulering.

1) For systemer uden omkobling af radiatorreturen bliver den energimængde, der tilføres lageret fra kedlen (primære energikilde), større, undtagen når der er dimensioneret for stor afkøling.

2) For systemer med mængderegulering måtte den dimensionerende afkøling i det almindelige tilfælde (uden natsænkning m.v.) ikke blive for stor. Dette gælder ikke altid ved natsænkning og halvering af radiatorstørrelsen. Således giver MU2 en højere ydelse end MU1, både ved natsænkning og halvering. Dette ligger i, at der ved system MU1 tilføres store energimængder til lagerbeholderen på grund af den større belastning af radiatorerne. For system M må den dimensionerende afkøling stadig ikke blive for stor.

3) For M3 og MU3 betyder en halvering af radiatorerne ikke ret meget, idet de i forvejen var dårligt udnyttet, hvilket var årsag til den lave ydelse.

4) For M1 og M2 falder ydelsen ved halvering ikke ret meget. M2 er dimensioneret efter 40/26. Med den halve varmeflade og samme gennemstrømning skulle dimensioneringstilstanden være omkring 50/38, dvs. en dimensionerende fremløbstemperatur på 50 °C. At afbryde halvdelen af radiatorerne svarer da til med dette at anvende en fremløbstemperatur på 40 °C. Dette bevirker altså et fald i ydelse på ca. 8 kWh/m^2· år, men idet fremløbstemperaturen er lavere end 'den dimensionerede', kan hele varmebehovet ikke dækkes. Et anlæg med dimensioneringstilstanden 50/38 ville med en fremløbstemperatur på 50 °C give en ydelse på 227 kWh/m^2· år.

   Dette peger på, at det er en god ide i forbindelse med systemerne M1, M2 og MU2, at anvende en lavere fremløbstemperatur end den dimensionerede, hvilket vil blive behandlet senere.

5) For systemer med ren temperaturregulering, T og TU, betyder en halvering af radiatorerne i alle tilfælde en væsentlig reduktion i ydelserne. Fremløbstemperaturen hæves (til maximalt kedeltemperaturen nås), således at varmebehovet i alle tilfælde dækkes. Da vandgennemstrømningen er konstant, vil fremløbs- og returtemperaturen stige i takt med reduktionen af varmefladen, hvilket er uheldigt for solvarmeanlægget. Det ses da også, at der for systemerne TU1 og TU2 tilføres lagerbeholderen meget store energimængder.

   Da der her er tale om at anvende store varmeflader for at forøge solvarmeanlæggets ydelse, vil man udmærket kunne varme huset op, selv om halvdelen af radiatorerne er lukkede. Med systemerne M og TM vil det dog kræve, at man

griber ind i systemet og forhøjer fremløbstemperaturen, i modsat fald vil huset ved lave udetemperaturer ikke kunne varmes op. Med systemet T sker dette automatisk uden andre følger, end at solvarmeanlæggets ydelse falder.

På denne baggrund kan systemerne T og TU ikke anbefales.

6) For systemerne med udekompensering TM og TMU, kan hele varmebehovet ikke dækkes, når halvdelen af radiatorerne er afbrudt, specielt ikke ved lille dimensionerende afkøling, idet der ligger en øvre grænse på fremløbstemperaturen. Varmebehovet kan kun dækkes, når der er relativ meget gratisvarme, og fremløbstemperaturen egentlig er 'for høj', idet radiatortermostaterne da vil øge gennemstrømningen, så den bliver større, end hvis alle radiatorer var åbne.

Det interessante er, at solvarmeanlæggets ydelse ikke falder væsentligt ved en halvering af radiatorerne (specielt for TM). Dette må ligge i, at størstedelen af gratisvarmen er solindfald gennem vinduer, dvs. at når der er meget gratisvarme, opnås samtidig en høj ydelse af solvarmeanlægget.

Når gratisvarmen er stor, er returtemperaturen meget lav, og den vil ikke stige væsentligt, fordi radiatorerne halveres, idet disse i forvejen er meget store (se fig. 9.13). Derfor vil returtemperaturen i de perioder, hvor der er solvarme til rådighed, stadig være lav, og solvarmeanlæggets ydelse opretholdes.

Systemet med udekompensering og radiatortermostater er altså relativt ufølsomt for brugervaner. Afbrydes en del af radiatorerne, falder solvarmeanlæggets ydelse ikke væsentligt, der sker blot det, at huset ikke kan varmes op, hvilken man jo vil bemærke.

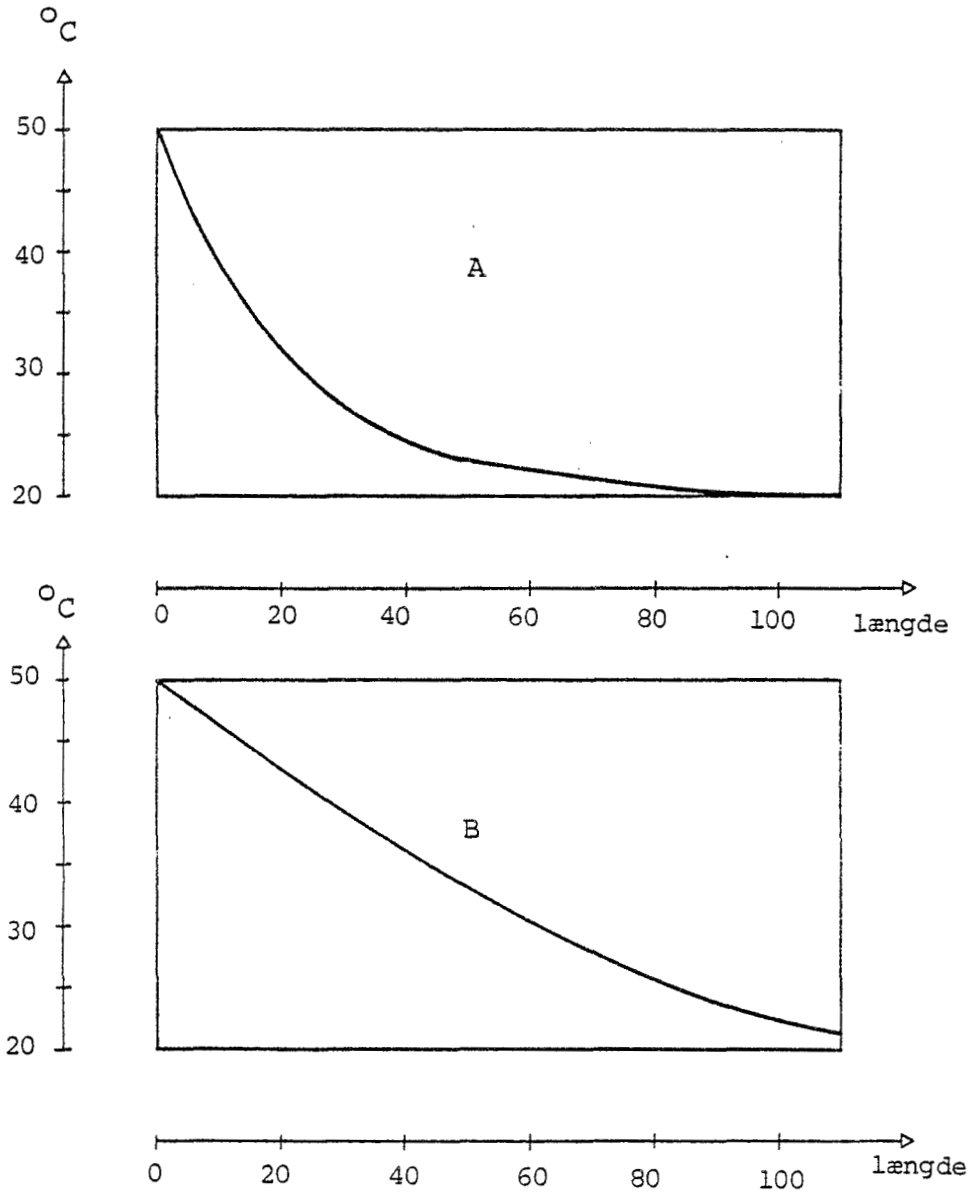


Fig. 9.13 Temperaturforløbet hen gennem radiatoren.

Radiatoren B afgiver dobbelt så meget varme som A, uden at udløbstemperaturen fra radiatoren er væsentlig højere.

En væsentlig komponent i denne effekt er radiatortermostaterne, således at ovennævnte ræsonnement også gælder for system M, når der ses bort fra M3, hvor den høje fremløbstemperatur var den afgørende ulempe.

7) For system TMU gælder der for natsænkning det samme forhold som for MU, at afkølingen hverken må blive for stor eller for lille.

Anbefalinger

Et solvarmeanlæg til rumopvarmning bør kunne opfylde følgende 3 krav:

1) Ukompliceret og billig systemløsning.

2) Høj ydelse.

3) Ydelse mest mulig uafhængig af brugervaner og mindre projekteringsfejl.

Punkt 1 og 2 er trivielle krav. Punkt 3 er væsentligt, idet man ved projektering af et solvarmeanlæg ikke på forhånd kan vide, hvorledes det vil blive brugt.

På denne baggrund kan systemerne T og TU ikke anbefales. Specielt kan det gå galt med systemerne TU1 og TU2, hvor der tilføres store mængder energi til lagerbeholderen som en følge af den lille dimensionerende afkøling.

Anvendelse af radiatortermostater til visse rum vil sandsynligvis have en gunstig indflydelse på ydelsen, men dette er meget vanskeligt at vurdere kvantitativt.

De øvrige systemer vil nu blive nærmere undersøgt.

System M:

Dette giver en høj ydelse både ved natsænkning og halvering, så længe den dimensionerende afkøling ikke bliver større end svarende til dimensioneringstilstanden 40/26.

System MU:

Uden natsænkning eller halvering af radiatorstørrelsen må den dimensionerende afkøling som for system M ikke blive for stor. Fig. 9.14 viser brutto- og nettoydelsen for forskellige dimensioneringstilstande. Det ses heraf, at afkølingen ikke må blive større end svarende til 40/26, som for system M.

Fig. 9.15 viser tilsvarende ydelser ved anvendelse af natsænkning. Det ses heraf, at nettoydelsen har et maximum omkring dimensioneringstilstanden 40/26. I det almindelige tilfælde med mængderegulering er det bedst at anvende lille dimensionerende afkøling. Ved natsænkning, og også ved halvering, tilføres der dog store energimængder til lagerbeholderen, hvorved udbyttet af solfangeren falder. Dette bevirker, at nettoydelsen fremviser et maximum.

Der er et relativt stort spillerum omkring dette maximum, således at der ikke er tale om, at projekteringen skal være meget nøjagtig.

Fig. 9.16 viser ydelsen for anlægget MU2 (dimensioneringstilstand 40/26) i afhængighed af den faktisk anvendte fremløbstemperatur.

Ved at sænke fremløbstemperaturen hele året til 30 °C, opnås ingen forhøjelse af nettoydelsen, og der tilføres store energimængder til lagerbeholderen. Endvidere dækkes kun 80% af varmebehovet.

Anvendes der en højere fremløbstemperatur, f.eks ved en fejlindstilling af blandeventilen, formindskes ydelsen gradvist. Forhøjes fremløbstemperaturen fra 40 til 50 °C, falder nettoydelsen med 4%.

Det blev tidligere nævnt, at man kunne opnå en forøgelse af ydelsen af systemerne M og MU ved at sænke fremløbstemperaturen i perioden forår-sommer-efterår i forhold til den dimensionerende fremløbstemperatur, idet fremløbstemperaturen dog ikke kan blive lavere end lagertemperaturen. Er systemet opbygget med en simpel blandeventil, der holder fremløbstemperaturen konstant, såkaldt halvautomatisk regulering, sker

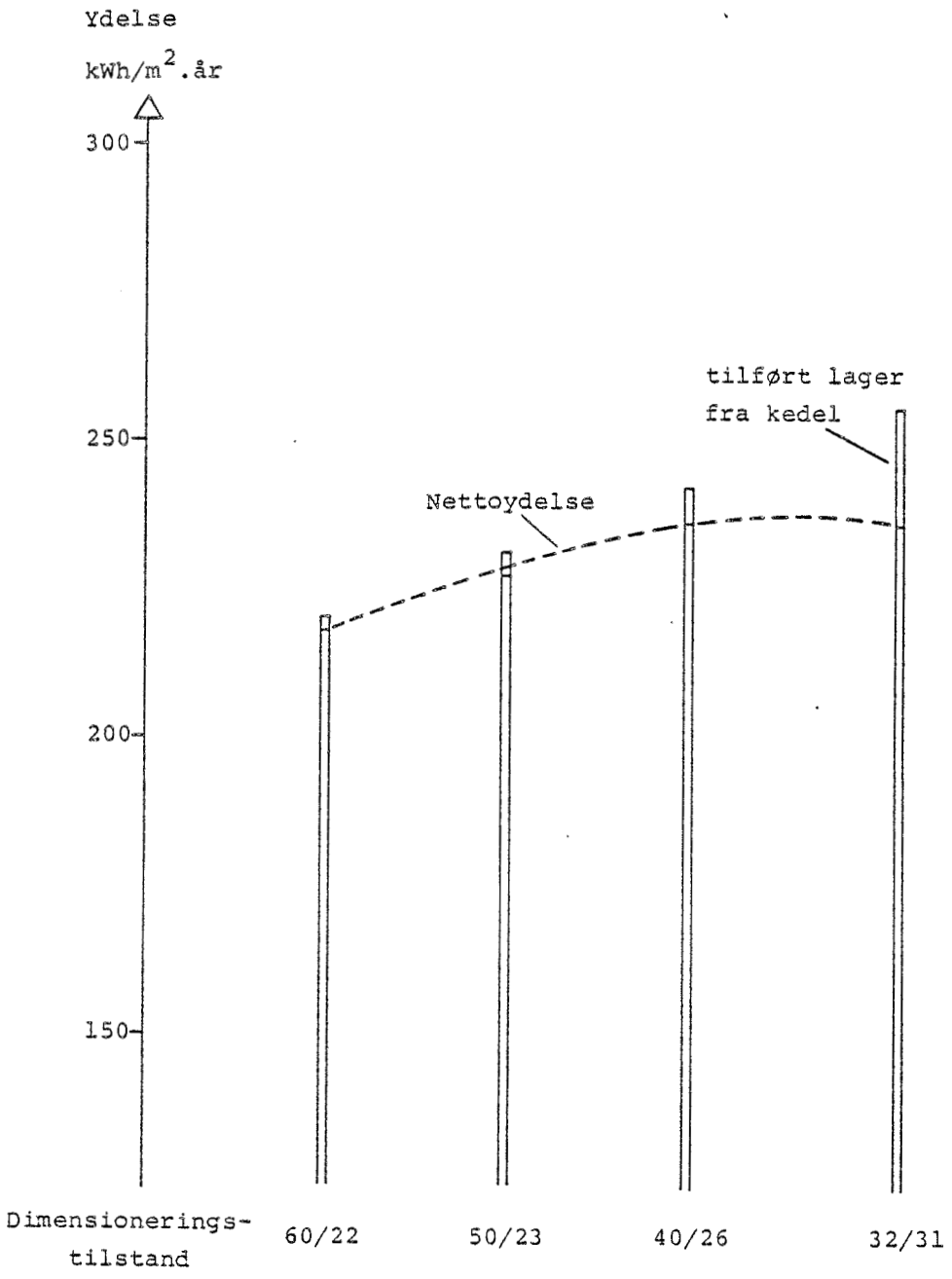


Fig. 9.14 Ydelsen for forskellige dimensioneringstilstande.

Mængderegulering, fremløbstemperatur lig med den dimensionerende (60, 50, 40 og 32°C).

Konstant varmefladestørrelse = 580 W/ °C.

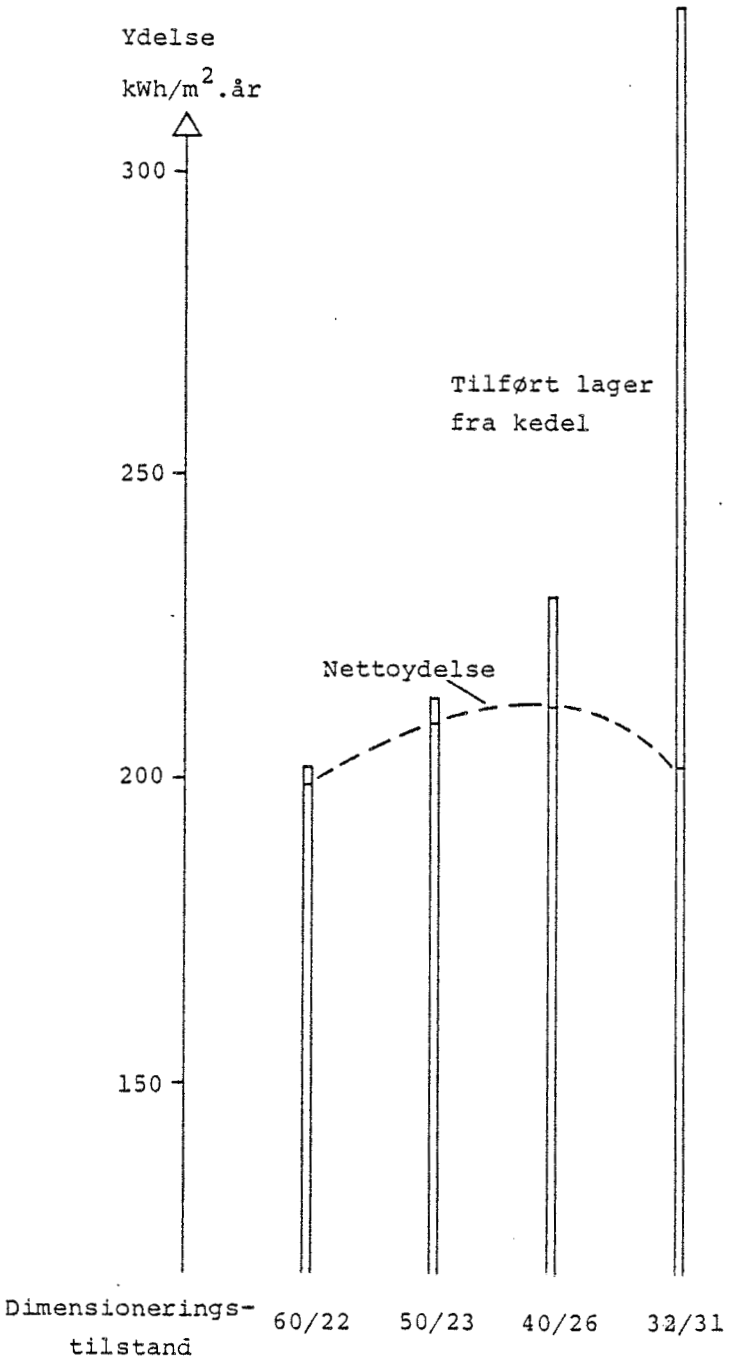


Fig. 9.15 Som fig. 9.14, men med natsænkning, afbrydelse af varmeanlæg fra kl. 23 - 05.

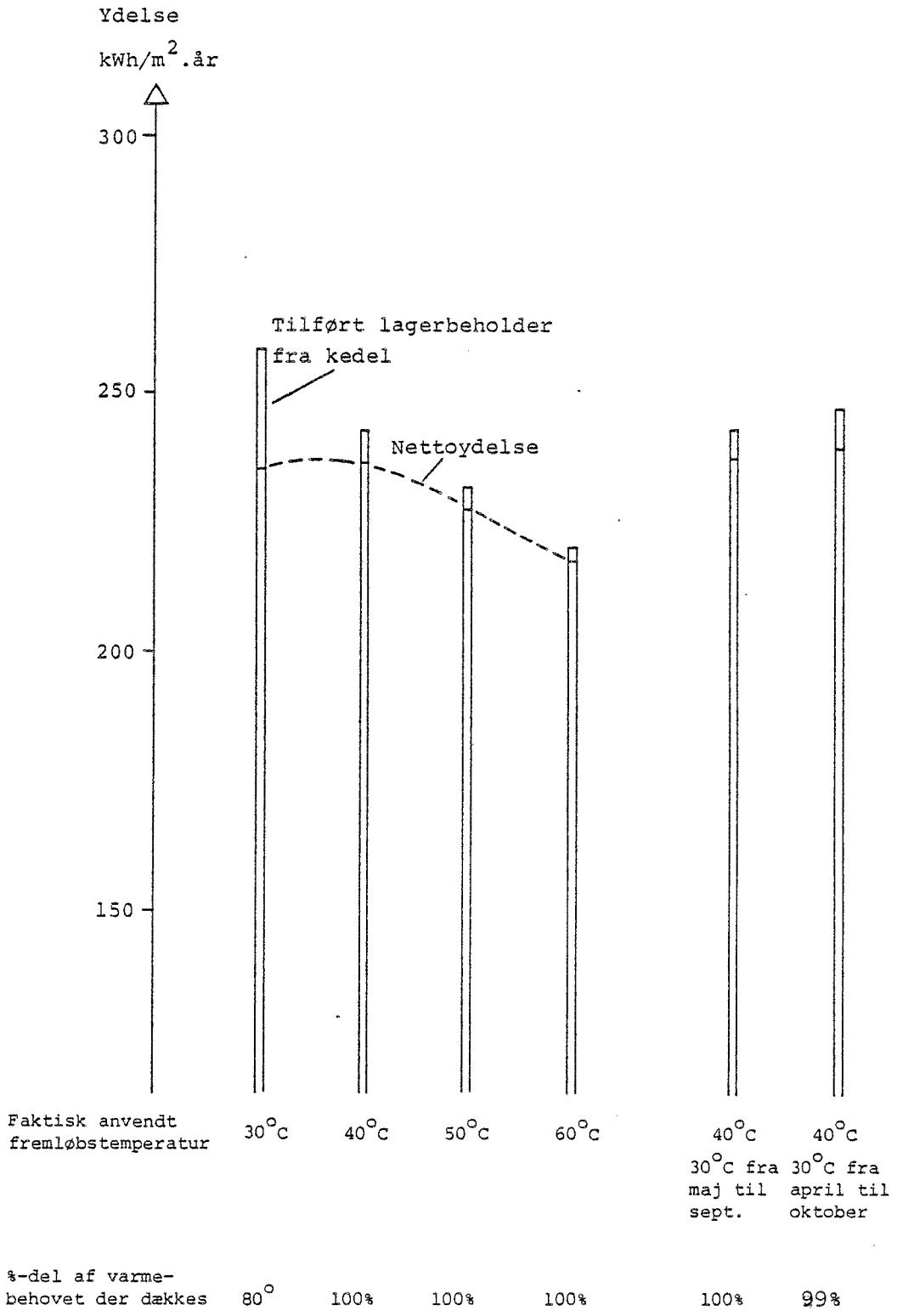


Fig. 9.16 Brutto og nettoydelse for anlægget med mængderegulering, uden omkobling af radiatorreturen, i afhængighed af den faktisk anvendte fremløbstemperatur.

Dimensioneringstilstand 40/26.

dette i praksis ved to gange om året at regulere fremløbstemperaturen.

Sænkes fremløbstemperaturen i perioden maj-september til 30 °C, stiger nettoydelsen fra 237 til 238 kWh/m^2· år. Sænkes den tilsvarende i perioden april-oktober, stiger ydelsen til 240 kWh/m^2· år. Effekten af at sænke fremløbstemperaturen i en periode er således ringe.

System TM:

I det almindelige tilfælde var dimensioneringstilstanden ud fra et ydelsesmæssigt synspunkt ligegyldig, men ved natsænkning falder ydelsen lidt ved stor dimensionerende afkøling på tilsvarende måde som for systemet M.

System TMU:

Fig. 9.17 viser brutto- og nettoydelsen i det almindelige tilfælde. Ydelsen ses at være relativt uafhængig af dimensioneringstilstanden, selv om afkølingen bliver meget lille.

Med hensyn til natsænkning gør der sig de forhold gældende som for system MU, at nettoydelsen fremviser et maximum.

Ved halvering af varmefladen fås den højeste ydelse med stor afkøling (hvor den største del af husets varmebehov kan dækkes). Dimensioneringstilstanden må da blive et kompromis.

9.7 Økonomisk optimal radiatordimensionering

Prisen på et varmeanlæg med radiatorer består af prisen på radiatorerne og prisen på rør, fittings, ventiler, isolering og montage. Fig. 9.18 viser en gengivelse af prisen på et radiatorsystem, alt inclusive, i afhængighed af dimensionerende fremløbstemperatur og dimensionerende afkøling. Fig. 9.18 er hentet fra ref. 12. Priserne gælder for et dimensionerende varmetab på 5000 W, noget mindre end de 6100 W, der er regnet med her, men idet det her drejer sig om relative forhold, er dette af mindre betydning. Af figuren fremgår den økonomisk optimale afkøling for forskellige fremløbs-

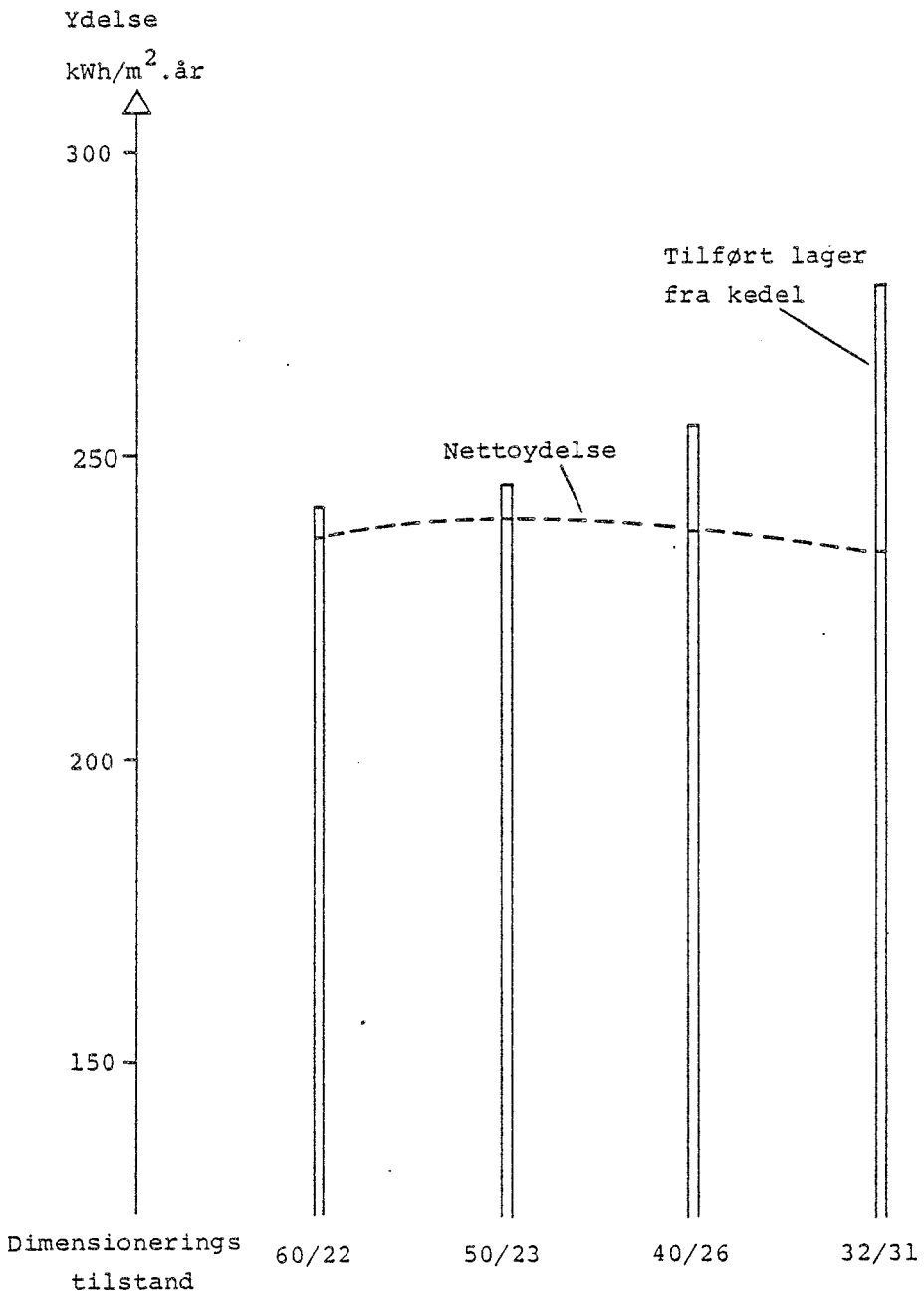


Fig. 9.17 Ydelsen for forskellige dimensioneringstilstande.

Kombineret mængde- og temperaturregulering (udekompensering).

Konstant varmefladestørrelse = 580 W/ ^{o}C.

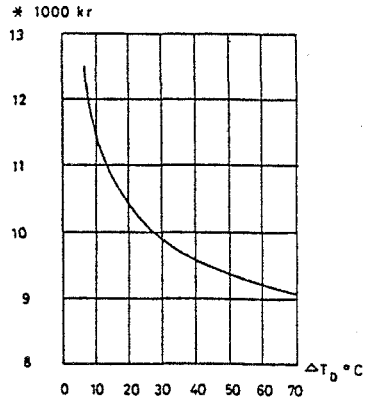


Fig. 5.4.

Montage plus rørpris (incl. fittings, isolering og radiatortermostater), som en funktion af den dimensionerede afkøling.

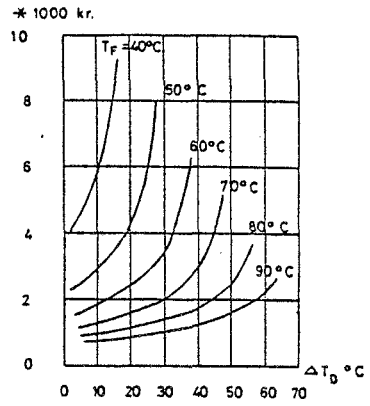


Fig. 5.5.

Radiatorprisen som en funktion af afkølingen.

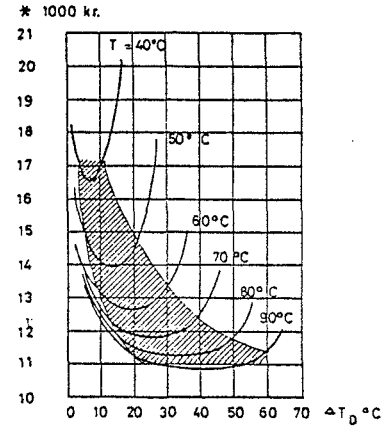


Fig. 5.6.

Totalpris for et radiatoranlæg til et 110 m^2 parcelhus (dim. varmetab: 5000 W) som en funktion af afkølingen.

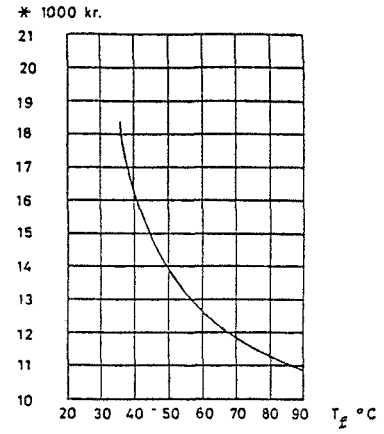


Fig. 5.7.

Totalpris for et radiatoranlæg til et 110 m^2 parcelhus (dim. varmetab: 5000 W) som en funktion af fremløbstemperaturen.

Fig. 9.18 Pris på varmeanlæg med radiatorer. Fra ref. 12.

temperaturer, men denne gælder kun for varmeanlægget og kan ikke umiddelbart overføres til solvarmeanlæg, da ydelsen af et sådant jo afhænger af den dimensionerende afkøling.

Til et solvarmeanlæg til rumopvarmning vil der foruden udgifter til radiator, rør, fittings, radiatortermostater, isolering og montage, være udgifter til sammenkobling af solvarmeanlægget og det øvrige varmeanlæg og til styring af denne. En del af disse er fælles for alle systemerne, f.eks ekstra rørstrækninger. Vedrørende styringen er der dog nogle forskelle.

Til systemer med omkobling af radiatorreturen styret efter returtemperaturen og lagertemperaturen kræves to magnetventiler (eller en motorstyret trevejsventil) samt en differenstermostat med følere. Til økonomiske vurderinger sættes prisen herpå til 3000 kr. incl. montage.

Til systemerne med mængderegulering og konstant fremløbstemperatur kræves i visse tilfælde ikke noget ud over kedeltermostaten, i andre tilfælde må der anvendes en automatisk regulering af fremløbstemperaturen.

Til systemer med udekompensering kræves en motorstyret tre- eller firevejsventil, samt elektronikken til bestemmelse af fremløbstemperaturen med tilhørende følere. Et sådant udstyr fås i mange udførelser med forskellige finesser. Systemet med udekompensering vil kræve en merudgift på flere tusinde kr. i forhold til systemer med mængderegulering.

Valg af anlægsstørrelse og systemløsning

Fig. 9.19 viser ydelsen for de omhandlede systemløsninger for to forskellige radiatorstørrelser, 580 W/^{o}C og 270 W/^{o}C.

For konstant varmeflade vil det billigste anlæg være det med størst dimensionerende afkøling. Med mængderegulering må afkølingen ikke blive for lav, da ydelsen da vil falde. Der er her valgt dimensioneringstilstanden 40/26. Med temperaturregulering og udekompensering kan afkølingen være større, idet dette dog giver en noget lavere

Varmeflade-størrelse / Regulering	580 W/°C				270 W/°C					
	Dimensio-nerings-tilstand	Ydelse kWh/m² år		Pris kr.	Dimensio-nerings-tilstand	Ydelse kWh/m² år		Pris kr.	Dimensio-nerings-tilstand	Ydelse kWh/m² år	Pris kr.
M	40/26	239		17500	50/38	222	227*	14300			
M med natsænkn.		216				199	203*				
MU	40/26	237	240*		50/38	218	223*				
MU med natsænkn.		211				183	187*				
TM	50/23	242		16500	50/38	227		14300	60/32	227	13000
TM med natsænkning		218				203				202	
TMU	50/23	240			50/38	217			60/32	222	
TMU med natsænkn.		216				186				193	

*) Fremløbstemperaturen sænkes 10°C i perioden april-oktober.

Fig. 9.19 Ydelsen af 25 m² solvarmeanlæg for to forskellige varmeflade-størrelser, samt totalpris på radiatorsystem.

M - mængderegulering (konstant fremløbstemperatur)
TM - temperatur- og mængderegulering
U - uden omkobling af radiatorretur

ydelse med natsænkning. Herved bliver det samlede radiatorsystem noget billigere. Bortset fra system MU med fremløbstemperaturen sænket i sommer- og overgangsperioderne, og systemerne TMU og TM, giver anvendelse af natsænkning, som det ses, et fald i ydelsen på godt 10%. Samtidig bemærkes, at systemet M og MU for den lille varmeflade forbedres mere ved at sænke fremløbstemperaturen i en periode, end det var tilfældet for den store varmeflade (fig. 9.19). Imidlertid fås samtidig et væsentligt fald ved anvendelse af natsænkning.

Af fig. 9.19 fremgår endvidere prisen på de forskellige radiatorsystemer udregnet efter fig. 9.18.

Med den store varmeflade fås i forhold til den lille en merydelse på omkring 15 kWh/m^2. år. Den tilsvarende merpris på radiatorsystemet er omkring 3000 kr. Med en værdi af en kWh på 0,50 kr. fås den simple tilbagebetalingstid for en investering på 3000 kr., med en ydelse på 15 kWh/m^2. år til 16 år. Idet dette er mindre end solvarmeanlæggets og radiatorsystemets levetid, vil det ud fra denne simple betragtning kunne betale sig at anvende den store varmeflade.

På tilsvarende måde ses det umiddelbart, at merydelsen ved anvendelse af omkobling af radiatorreturen ikke kan lønne sig. For den store varmeflade fås en merydelse på 2 kWh/m^2. år for en merpris på flere tusinde kr.

Konklusionen bliver altså, at det mest fordelagtige er systemet med mængderegulering, konstant fremløbstemperatur uden mulighed for omkobling af radiatorreturen, og med en relativ stor varmeflade.

At de økonomiske betragtninger skulle pege på dette system er heldigt, for så vidt dette samtidig er et enkelt og driftssikkert system, uden mange muligheder for fejlinstallationer m.v.

Fig. 9.20 viser en nærmere analyse af dette system. For tre forskellige priser på radiatorsystemet er der vist anlæggets ydelse som funktion af den dimensionerende afkøling. Det ses her, at forskellen på den maximale ydelse for en radiatorpris

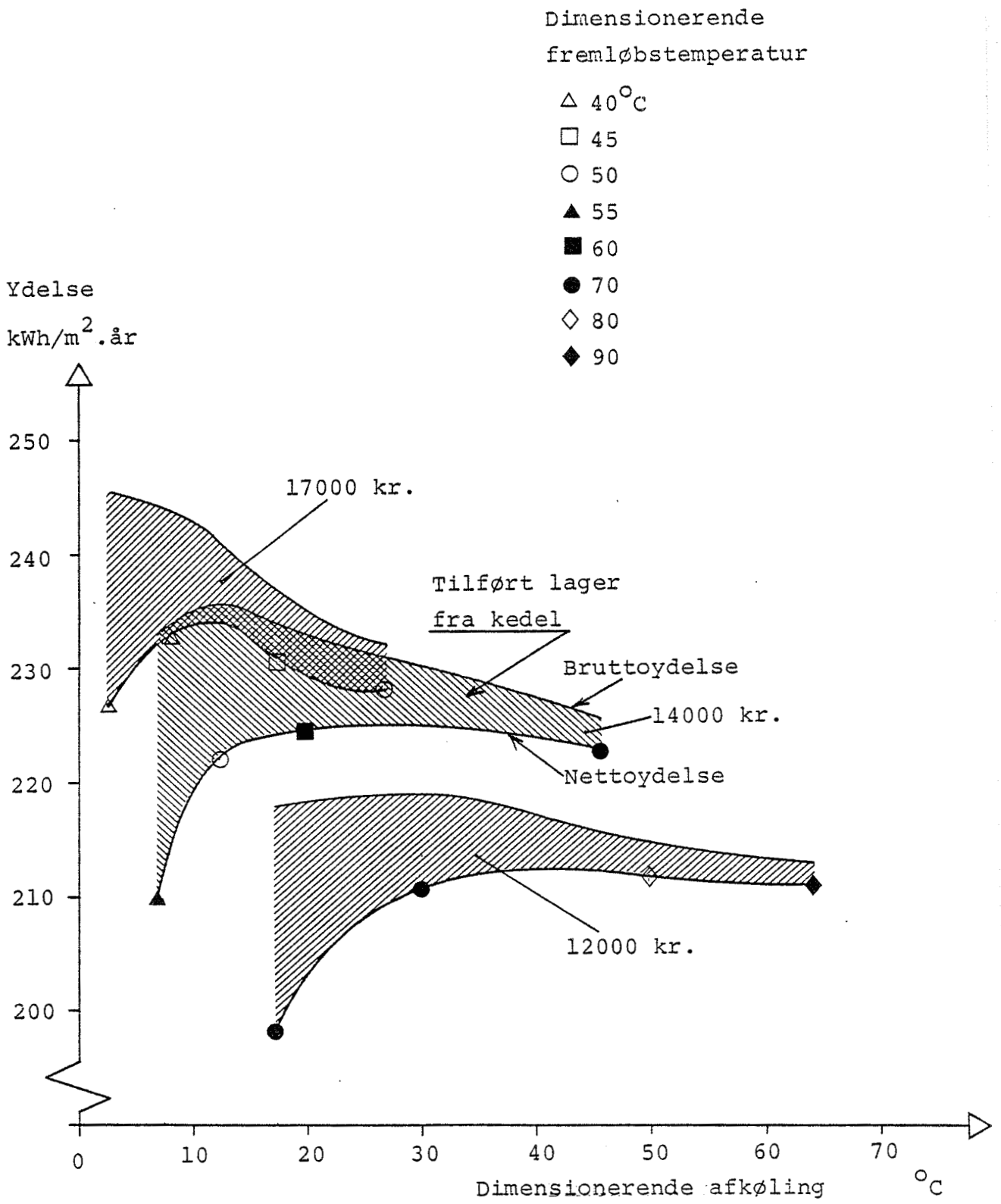


Fig. 9.20 Ydelsen som funktion af den dimensionerende afkøling for konstant totalpris (radiatorer, rør, mv.) på radiatorsystemet.

System med mængderegulering uden omkobling af radiatorreturen.

Solfangerareal = 25 m^2. Dimensionerende varmetab = 6100 W (Varmebehov = 14100 kWh/år).

på henholdsvis 17000 kr. og 14000 kr. er 9 kWh/m^2.år. Tilsvarende fås for radiatorpriserne på 14000 og 12000 kr. en merydelse på 13 kWh/m^2.år. Dette giver tilbagebetalingstider på henholdsvis 27 og 13 år. De 13 år er mindre end det samlede anlægs tilbagebetalingstid.

Det kan da sluttes, at for så vidt anlægget som sådan kan betale sig, da kan det også betale sig at anvende den mellemstore varmefladestørrelse og måske også den store.

Lavenergihus

Fig. 9.21 viser tilsvarende beregninger med et lavenergihus. Det dimensionerende varmetab er 3700 W/°C og det årlige forbrug til rumopvarmning 6200 kWh. Forbruget til varmt brugsvand er uforandret 3400 kWh/år.

Solfangerarealet er sat til 15 m^2, hvilket giver en dækningsgrad på omkring 35%, altså det samme som et 25 m^2 anlæg på et hus isoleret efter BR77. For et højisoleret hus falder en mindre %-del af rumvarmeforbruget i forårs- og efterårsmånederne, hvilket er en ulempe for et solvarmeanlæg til rumopvarmning, derimod udgør forbruget til varmt brugsvand en større del af det samlede forbrug, hvilket vil forøge anlægsudbyttet. Alt i alt bliver ydelsen ved en dækningsgrad på ca. 35% lidt mindre for et lavenergihus end for et hus isoleret efter BR77, nemlig 230 kWh/m^2· år mod 234 kWh/m^2· år.

Det ses af fig. 9.20 og fig. 9.21,at ydelsens afhængighed af radiatordimensioneringen for et lavenergihus ikke afviger fra den, der blev fundet for et hus isoleret efter BR77. Idet det dimensionerende varmetab er mindre, vil prisen på radiatorsystemet være lavere for lavenergihuset, og merudgiften til en sænkning af den dimensionerende fremløbstemperatur vil også være mindre. Det vil da med et lavenergihus kunne betale sig at anvende den store varmeflade svarende til den øverste kurve på fig. 9.21 og den optimale dimensioneringstilstand vil være en dimensionerende fremløbstemperatur på 40 °C og en dimensionerende afkøling på omkring 10 °C, således som det også var tilfældet med et hus isoleret efter BR77.

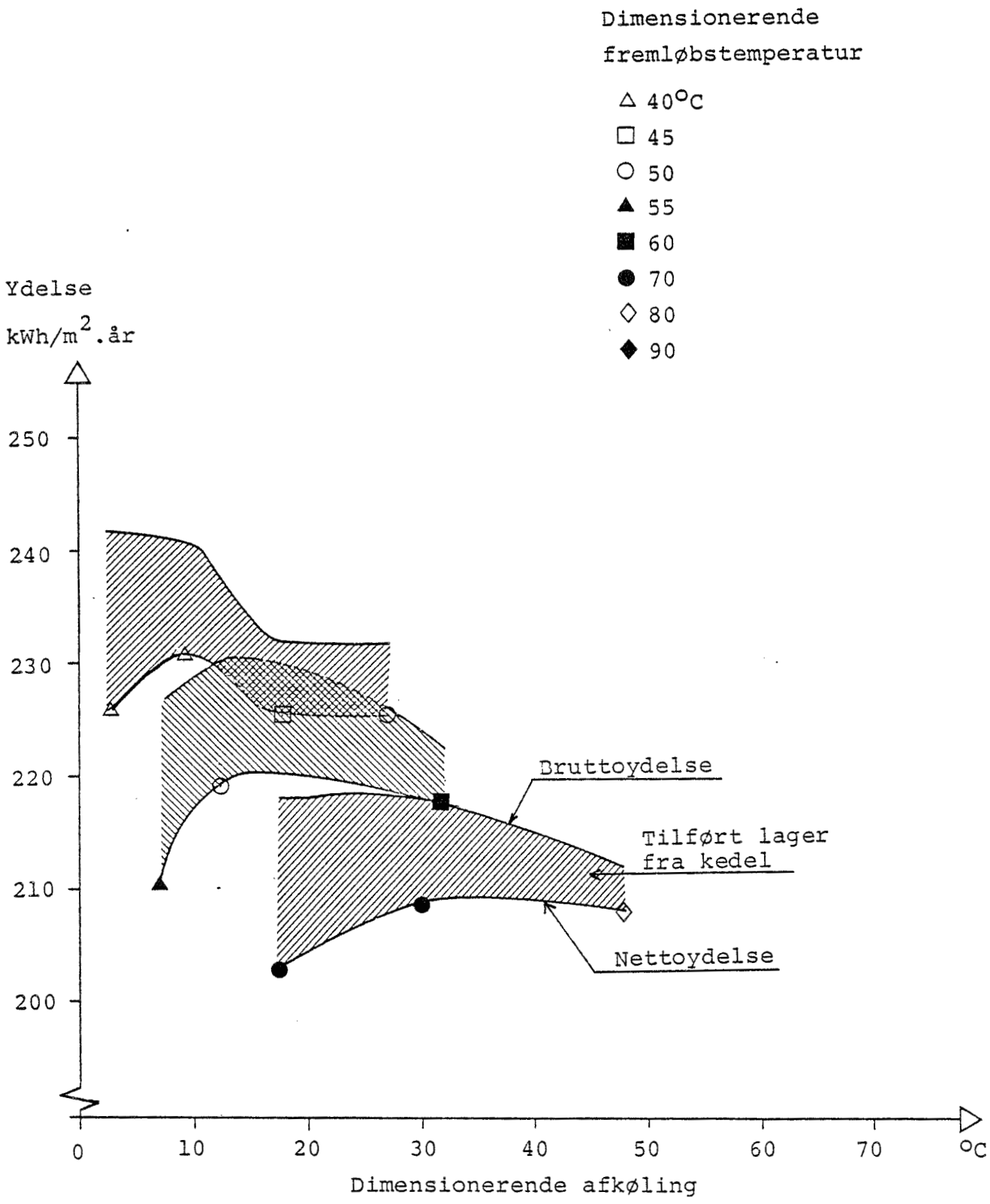


Fig. 9.21 Ydelsen som funktion af den dimensionerende afkøling for konstant totalpris (radiatorer, rør, mv.) på radiatorsystemet.

System med mængderegulering uden omkobling af radiatorreturen.

Solfangerareal = 15 m^2. Dimensionerende varmetab=3700 W (Varmebehov = 6200 kWh/år).

9.8 Ydelsen for opvarmningssystemer med separat radiator til solvarme

I de opvarmningssystemer der er blevet undersøgt hidtil har der været en sammenkobling af den primære varmekilde og solvarmeanlægget, således at disse samtidig har afgivet varme via de samme varmeflader (radiatorer), eller en af varmekilderne har været helt afbrudt. En anden mulighed er at supplere et traditionelt opvarmningssystem med en eller flere radiatorer, der udelukkende er koblet til solvarmeanlægget. Disse separate radiatorer vil da kunne afgive varme, indtil temperaturen i lagerbeholderen til solvarme når ned på rumtemperaturen. Den varme der er nødvendig herudover leveres fra et traditionelt varmeanlæg, og radiatorerne hertil dimensioneres efter kedeltemperaturen. I stedet for radiatorer kunne varmefladen til solvarme erstattes af gulvvarmeslanger i en del af huset, men det vil da være nødvendigt med en regulering der sikrer mod for høje gulvtemperaturer. Endvidere kunne princippet sikkert med fordel anvendes i forbindelse med luftopvarmningssystemer.

I almindelighed er solvarme til rumopvarmning et supplement, der i den egentlige fyringssæson kun sjældent kan dække hele varmeforbruget,det vil derfor være unødvendigt at placere en 'solvarmeradiator' i hvert enkelt rum, da det er uden betydning i hvilke rum der suppleres.

Hvor stor en del af varmebehovet, der kan dækkes i et bestemt hus ved at placere enkelte (eller en enkelt) supplerende radiator(er), afhænger af den konkrete rumopdeling. Endvidere kan det afhænge af udelufttemperaturen, på den måde at det for relativt høje udelufttemperaturer kan være tilstrækkeligt at opvarme et enkelt centralt rum, idet varmetabet fra de øvrige rum kan erstattes ved transmission fra 'det solopvarmede rum'. Ved lave udelufttemperaturer vil der hertil kræves uacceptabelt store temperaturforskelle mellem 'det solopvarmede rum' og de øvrige rum.

Det vil være relativt enkelt at afbryde den primære varmekilde og koble alle radiatorer til solvarmeanlægget. Dette kan gøres ved hjælp af to ventiler eller en trevejsventil. Det vil da

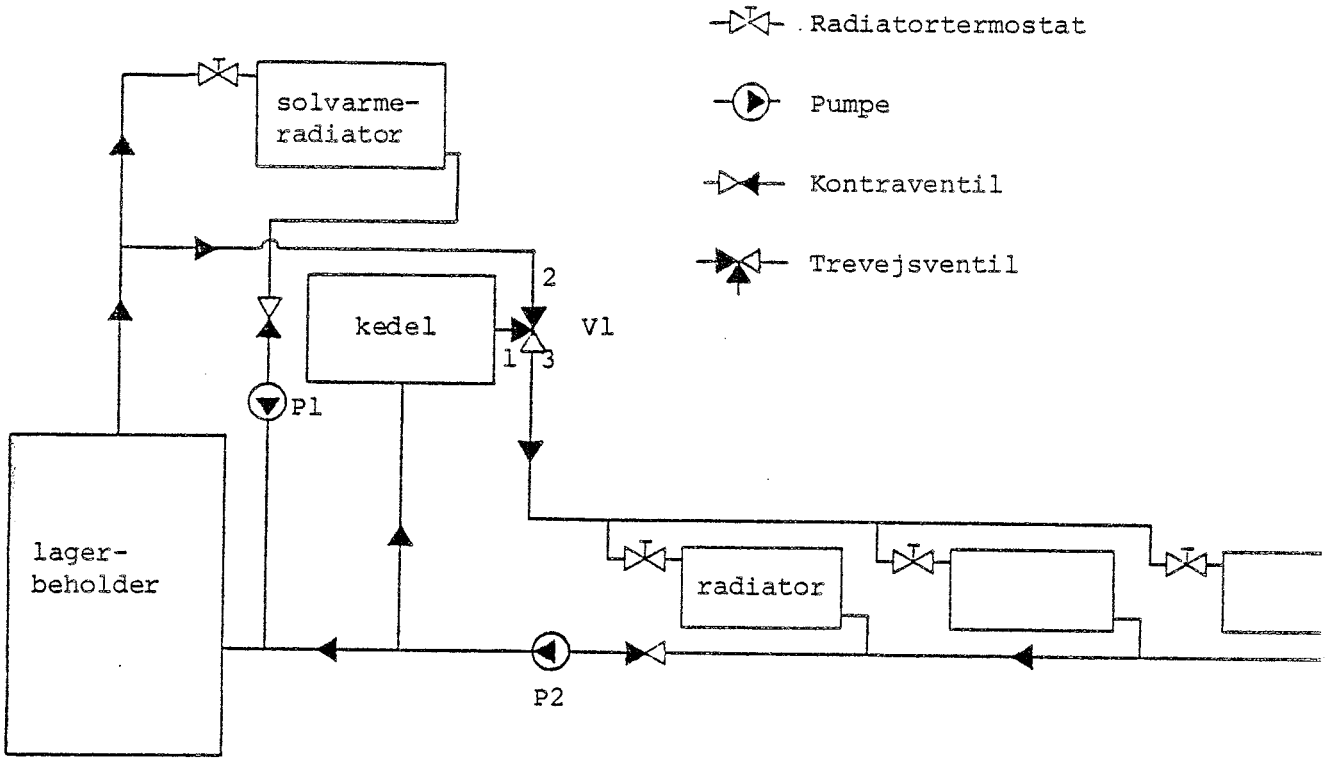
under alle omstændigheder i en periode være muligt at dække hele varmebehovet med solvarme, under forudsætning af at lagertemperaturen er tilstrækkelig høj.

Fig. 9.22 viser et principdiagram af det opvarmningssystem, der er blevet anvendt i beregningerne. Den nævnte omkobling foretages med ventilen V1.

I en vis periode forår-sommer-efterår vil der være solvarme nok til at dække hele varmebehovet, ventilen V1 stilles, så alle radiatorer forsynes med solvarme og den primære varmekilde er afbrudt. Periodens længde afhænger af solfangerarealet og varmebehovet. I beregningerne antages det, at den primære varmekilde er afbrudt i måneder hvor det er muligt at dække over 80% af opvarmningsbehovet. Der regnes således kun med en sammehængende periode hvor den primære varmekilde er afbrudt, og der vil i denne periode opstå enkelte dage hvor hele varmebehovet ikke kan dækkes. I virkeligheden kan den primære varmekilde kobles ind i perioder med for lav lagertemperatur, i overensstemmelse med det aktuelle vejrlig og brugerens krav til komfort.

I forbindelse med lavenergihuse og relativt små solfangerarealer vil den periode, hvor hele behovet for opvarmning kan dækkes, være længere end den periode,hvor hele behovet for varmt brugsvand kan dækkes. Det kan da komme på tale at anbringe et elvarmelegeme i forvarmebeholderen til brugsvandet, hvis den primære varmekilde ønskes afbrudt for at spare tomgangstabet.

Alle radiatorer er forsynet med radiatortermostater. Termostaterne på 'solvarmeradiatorerne' skal være helt åbne (og altså ude af funktion), når solvarmeanlægget fungerer som supplerende varmekilde, den egentlige regulering af varmetilførslen sker på de øvrige radiatorer. Beregningerne viser at dette kan føre til for høje rumtemperaturer. Dette kan ske når varmebehovet på grund af solindfald gennem vinduer er lavt og lagertemperaturen er høj. Radiatortermostaten på radiatoren til den primære varmekilde vil da lukke i, men 'solvarmeradiatoren' vil fortsætte med at afgive varme indtil der skrues ned for termostatventilen.



Vinter: Port 2 på V1 lukket. P1 kan slukkes, hvis lagertemperaturen er lig rumtemperaturen. Solvarmeradiatoren og de øvrige radiatorer kører separat.

Sommer: Port 1 på V1 lukket. Alle radiatorer forsynes fra lagerbeholderen. Begge pumper kører.

Fig. 9.22 Principdiagram for opvarmningssystem med separat radiator til solvarme.

Alternativt kunne pumpen P1 tilsluttes en termostat, således at pumpen stopper ved en rumtemperatur på f.eks. 23°C.

Med de forbrug og øvrige forudsætninger der fremgår af bilag III, er der foretaget beregninger med opvarmningssystemet, som det fremgår af fig. 9.22, under 4 forskellige antagelser:

I Hele varmebehovet kan dækkes med solvarme, når udelufttemperaturen er højere end 15 °C. Ved dimensioneringstilstanden -12 °C kan der dækkes maximalt 25% af varmebehovet med solvarme. Imellem disse to temperaturer varierer %-delen lineært.

II I måneder, hvor den mulige dækningsgrad med solvarme er over 80%, er alle radiatorer koblet til solvarmeanlægget. I de øvrige måneder kan der maximalt dækkes 25% af varmebehovet med solvarme.

III Som II, men maximalt 50%.

IV Hele varmebehovet kan dækkes med solvarme hele året. (Svarende til et hus der består af et rum).

Den maximale procentdel, som kan dækkes med solvarme, svarer til hvor stor en del af husets radiatorer, der kan fungere som "solvarmeradiator". Hvor meget der reelt dækkes, afhænger så af lagertemperaturen. (Fig. 9.23)

Ydelsens afhængighed af den gennemstrømmende vandmængde

Fig. 9.24 viser betydningen af den gennemstrømmende vandmængde. For et varmebehov på 14100 kWh/år falder ydelsen væsentligt, når vandmængden kommer under 200 ℓ/h. En forøgelse af den gennemstrømmende vandmængde på udover 300 ℓ/h giver ingen væsentlig forøgelse af udbyttet.

Med et lavenergihus, varmebehov 6200 kWh/år, falder ydelsen noget mindre med den gennemstrømmende vandmængde.

I de følgende beregninger anvendes en værdi på 350 ℓ/h, og det må anbefales at dimensionere rørsystem og radiatorer efter en tilsvarende værdi. Dette vil eksempelvis sige, at der med en samlet rørlængde mellem lagerbeholder og "solvarmeradiator" på ialt 15 m, kan anvendes M15 eller M20 rør. Tryktabet vil da blive under 1 mvs, hvilket kan ydes af de mindste cirkulationspumper med en tilført effekt på omkring 25 W.

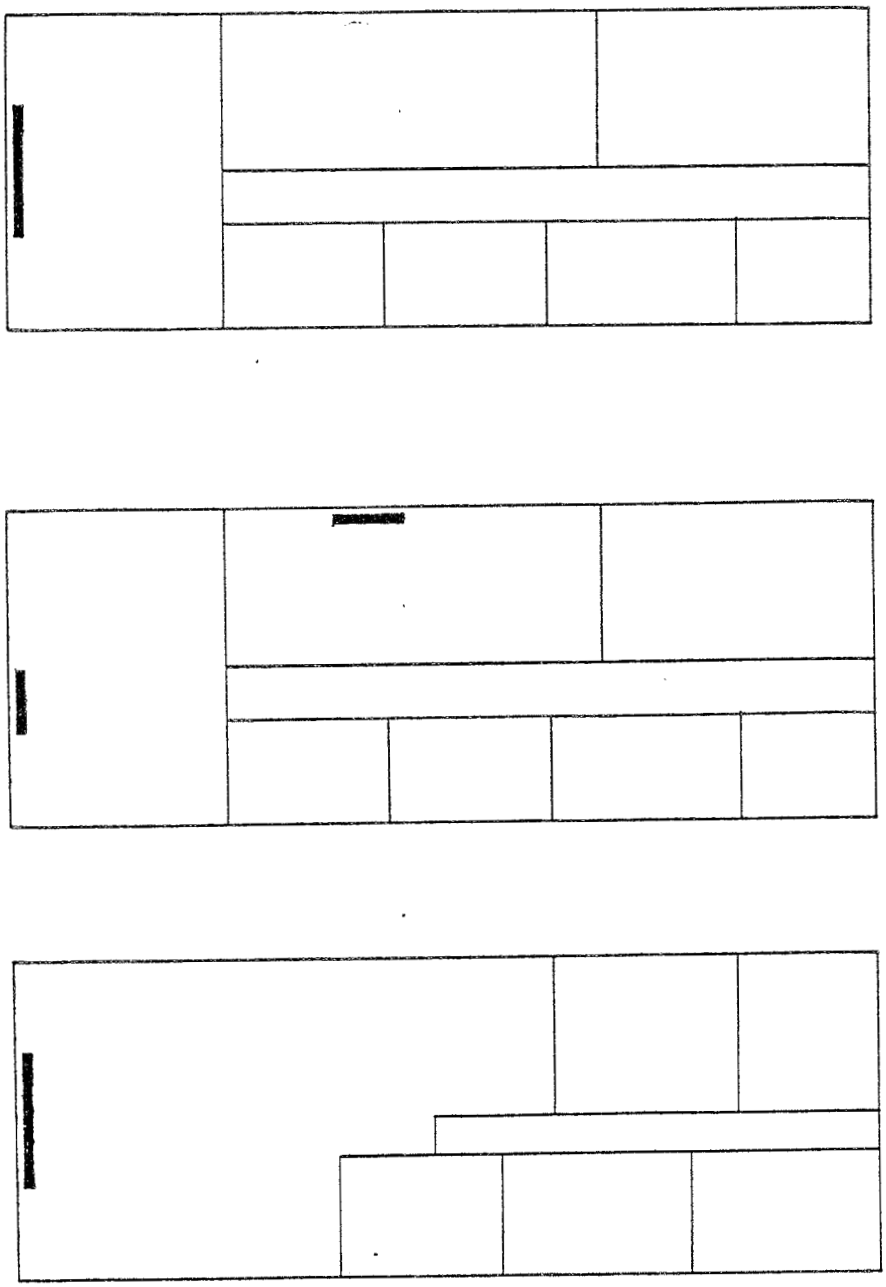


Fig. 9.23 Den procentdel af husets varmebehov der maximalt kan dækkes med solvarme i vinterperioden. For at den maximale dækning rent faktisk nås, kræves det at lagertemperaturen er høj nok.

A: 25% - En radiator på 100-150 W/^{o}C, anbragt i et rum der svarer til ca. 1/4 af det samlede areal.

B: 50% - To radiatorer a 50-75 W/^{o}C, anbragt i rum der svarer til ca. halvdelen af det samlede areal

C: 50% - En radiator på 100-150 W/^{o}C, anbragt i et rum der svarer til ca. halvdelen af det samlede areal

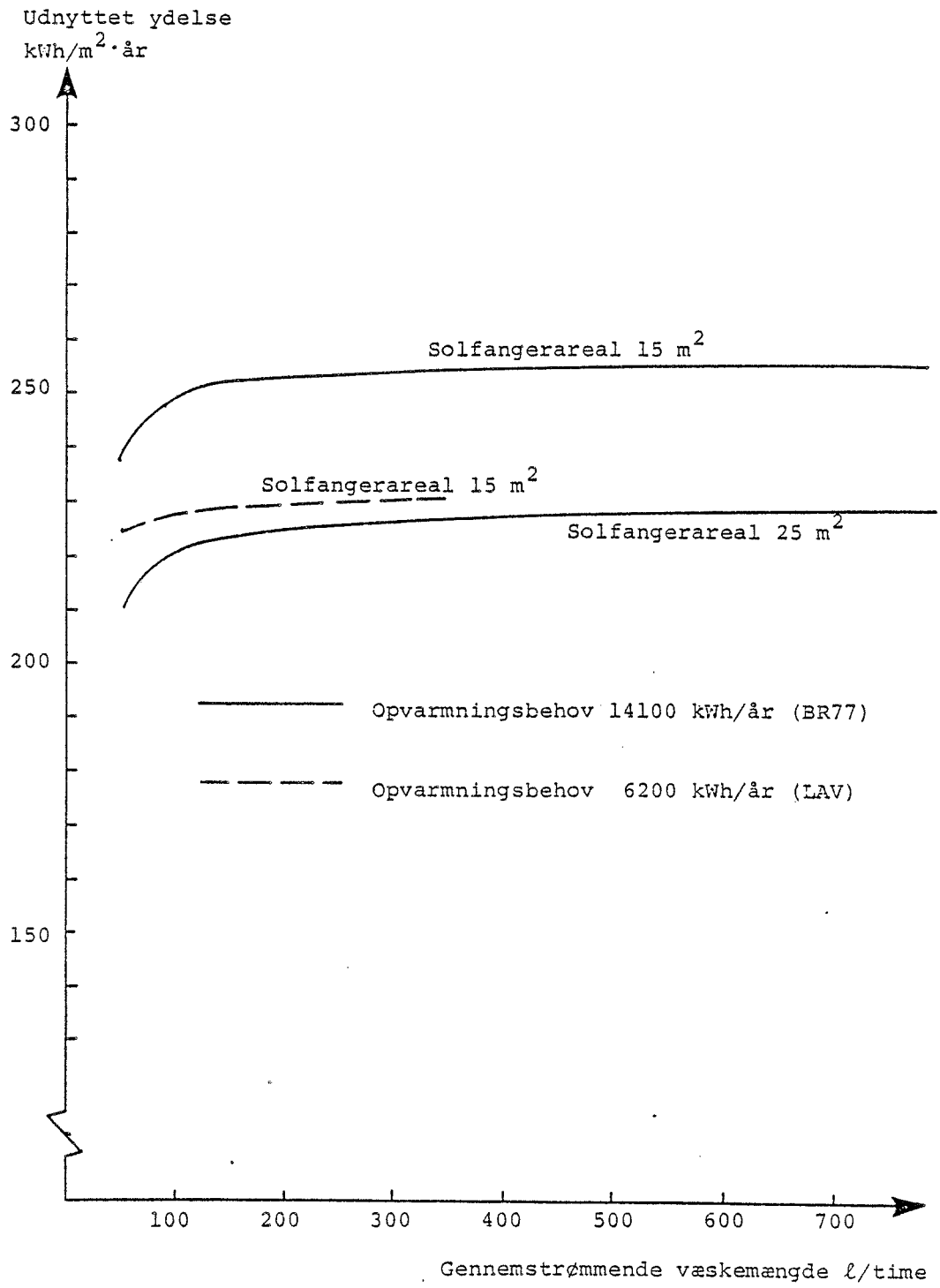


Fig. 9.24 System med seperat radiator til solvarme. Ydelsens afhængighed af den gennemstrømmende vandmængde for konstant varmefladestørrelse (200 W/°C).
Beregningen er foretaget under antagelse III, hvor max. 50% af varmebehovet kan dækkes i vintermånederne.
Varmtvandsforbrug 3400 kWh/år.

Ydelsens afhængighed af varmefladestørrelsen

Fig. 9.25 viser betydningen af varmefladestørrelsen med et opvarmningsbehov på 14100 kWh/år svarende til et 125 m^2 parcelhus isoleret efter BR77. Fig. 9.26 viser tilsvarende beregninger for et lavenergihus med et opvarmningsbehov på 6200 kWh/år. Varmtvandsforbruget er fortsat sat til 3400 kWh/år (200 liter pr. dag, 10 til 50°C).

For begge varmebehov og de viste solfangerarealer gælder det, at ydelserne falder væsentligt, når 'solvarmeradiatorernes' samlede størrelse bliver mindre end 100 W/°C. En radiatorydelse på 100 W/°C opnås f.eks. med en tredelt konvektor, 1 m høj og 1,5 m lang. En sådan koster leveret excl. moms omkring 1000 kr. Anvendes der to sådanne konvektorer, fås der en merydelse på 3-6% i forbindelse med et BR77-hus, mens merydelsen i forbindelse med et lavenergihus udgør under 3%. Varmefladestørrelsen har størst betydning i forbindelse med høj mulig dækning (antagelse IV).

På fig. 9.25 og 9.26 er der vist ydelsen under antagelse af henholdsvis 25, 50 og 100% mulig dækning med solvarme. Fig. 9.27 viser ydelserne for en varmeflade på 200 W/°C med anførelse af de tilhørende dækningsgrader og dækningen af rumvarmebehovet i de enkelte måneder.

For anlæg med store dækningsgrader og lave ydelser, dvs. 15 m^2 anlæg på et lavenergihus, 25 m^2 anlæg på et BR77-hus, har den maximale %-del af opvarmningsbehovet, der kan være solvarme, størst betydning. Ydelsen ved en mulig dækning på 25% er 9 til 11% lavere end ved 100% mulig dækning. For anlæggene med små dækningsgrader og høje ydelser er tilsvarende ydelser ved 25% mulig dækning 6 til 8% lavere end ved 100% mulig dækning. For alle disse anlæg gælder det, at dækningen med hensyn til rumvarme er over 80% i perioden maj-september, og i denne periode er alle radiatorer koblet til lagerbeholderen.

Fig. 9.25 viser også ydelsen for et anlæg på 15 m^2 til et BR77-hus under antagelse af 50% mulig dækning, men hvor det kun er

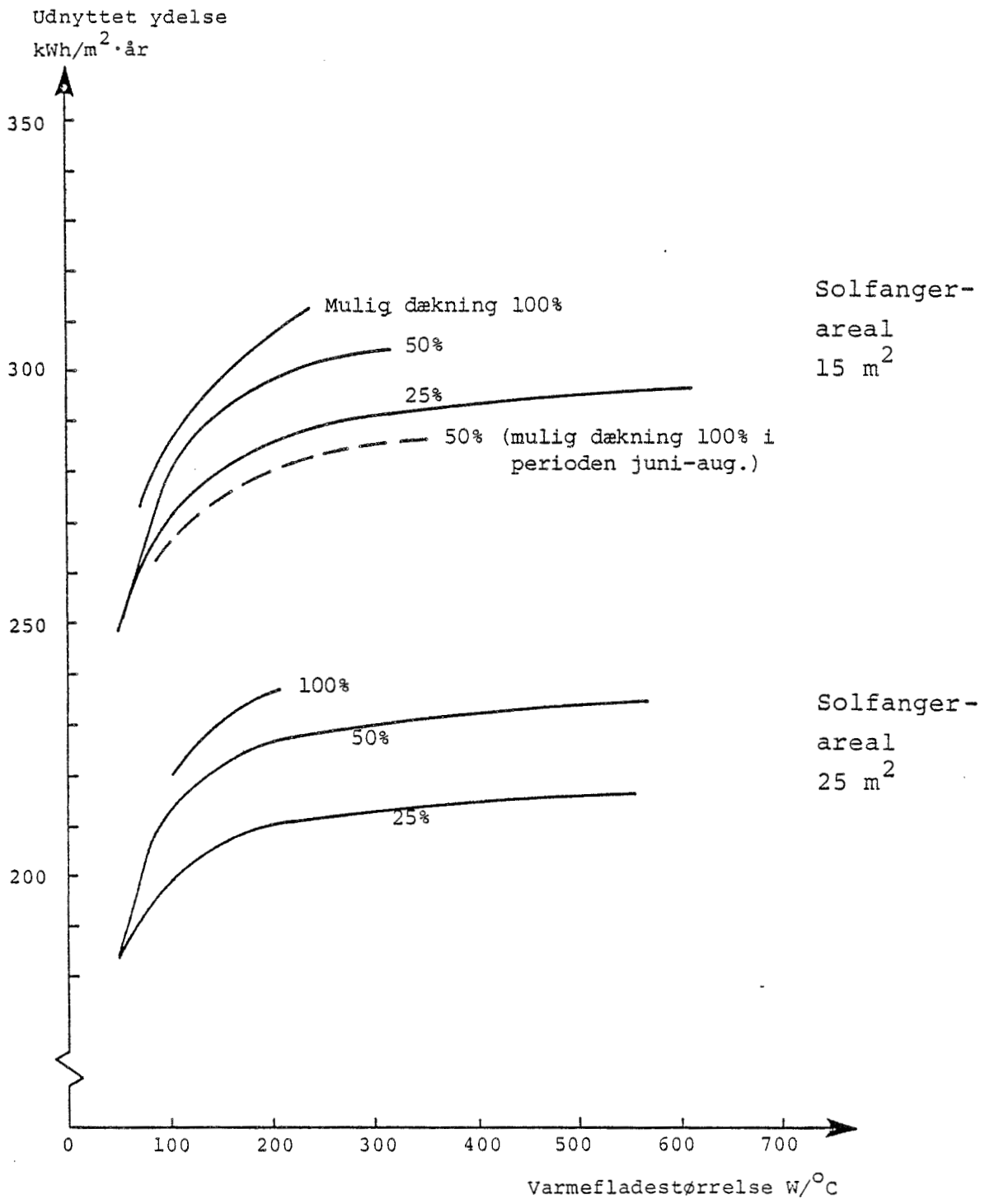


Fig. 9.25
Ydelsens afhængighed af 'solvarmeradiatorens' størrelse.
System med seperat radiator til solvarme.
Konstant gennemstrømmende vandmængde, 350 liter pr. time.
Forbrug til rumopvarmning 14100 kWh/år.
Forbrug til varmt brugsvand 3400 kWh/år.
I månederne maj til september er alle radiatorer koblet til lagerbeholderen således at hele behovet for rumopvarmning kan dækkes med solvarme.

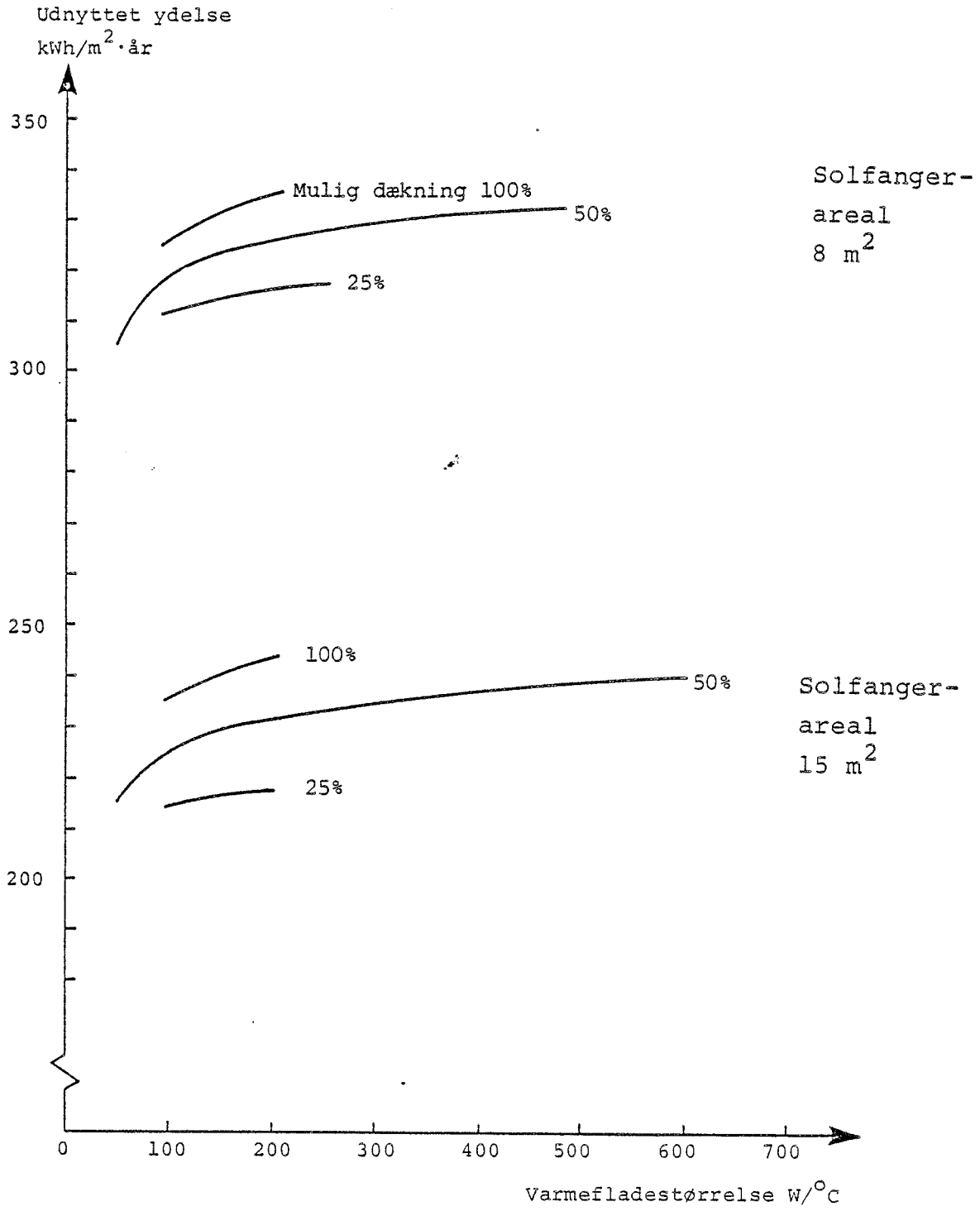


Fig. 9.26
Ydelsens afhængighed af 'solvarmeradiatorens' størrelse.
System med separat radiator til solvarme.
Konstant gennemstrømmende vandmængde, 350 liter pr. time.
Forbrug til rumopvarmning 6200 kWh/år.
Forbrug til varmt brugsvand 3400 kWh/år.
I månederne maj til september er alle radiatorer koblet til lagerbeholderen således at hele behovet for rumopvarmning kan dækkes med solvarme.

Solfangerareal			8 m²		15 m²		15 m²		25 m²		8 m²		15 m²	
Varmebehov			BR77		BR77		BR77		BR77		Lavenergi		Lavenergi	
Måneder hvor der kun bruges solvarme til rumopvarmning			juni-aug		juni-aug		maj-sep		maj-sep		maj-sep		maj-sep	
Ydelse og dækningsgrad kWh/m². år og %	Antagelse vedrørende mulig dækning med solvarme.													
	I								235	33				
	II	25%	359	16	253	22	288	25	211	30	316	26	216	34
	III	50%	383	17	281	24	301	26	227	32	326	27	231	36
	IV	100%	396	18	309	26	309	26	239	34	335	28	242	38
Dækningsgrad mht rumvarme i perioden forår-sommer-efterår under antagelse af at solvarme kan dække hele behovet. (Antagelse IV)	april								57				64	
	maj		47		78		78		97		83		100	
	juni		79		100		100		100		100		100	
	juli		100		100		100		100		100		100	
	aug		86		100		100		100		100		100	
	sep		51		83		83		99		90		100	
	okt								43				49	

Fig. 9.27 Den nyttiggjorte ydelse for systemer med seperat radiator til solvarme. Varmefladestørrelse 200 W/°C. Dækning med solvarme I - IV, se teksten.

Opvarmningsbehov kWh/år	14100	14100	6200	6200
Solfangerareal	25 m²	15 m²	8 m²	15 m²
Med separat radiator:				
Mulig dækning 25%	207	281	311	214
- - 50%	224	293	320	226
- - 100%	233	300	325	235
Varmeflade W/°C (solvarmeradiator)	150	150	100	100
System med konstant fremløbstemperatur og radiatortermostater, uden omkobling af radiatorretur (fig, 9.6 u/omkobling)	237	301	316	230
Varmeflade 580 W/°C (total)				

Fig. 9.28 Ydelsen for systemet med separat radiator, sammenlignet med system med forvarmning i lagerbeholderen og eftervarmning i kedlen.

i perioden juni til august at alle radiatorer er koblet til lagerbeholderen. Dette giver en ydelse der er 7% lavere, end hvis der er koblet om i perioden maj til september. Af fig. 9.27 fremgår, at ydelsen af dette anlæg er meget afhængig af hvor stor den mulige dækning med solvarme er.

Det gælder således, at der for anlæg med store dækningsgrader (mere end ca. 35%) skal være anbragt 'solvarmeradiatorer' i et antal rum, der repræsenterer mindst halvdelen af husets varmetab. I forbindelse med huse, hvor der er indrettet et stort 'alrum', kan det være tilstrækkeligt at anbringe en radiator i dette rum.

I forbindelse med anlæg med små dækningsgrader (mindre end ca. 25%), er det tilstrækkeligt at der er anbragt radiatorer i et antal rum repræsenterende 25% af husets samlede varmetab. Det vil i almindelighed være ét rum, der så naturligvis skal være et, der altid er varmet op - stuen.

Er der kun anbragt 'solvarmeradiatorer' repræsenterende en mindre del af husets samlede varmetab, er det væsentligt, at radiatorerne til den primære varmekilde kobles til lagerbeholderen i den periode, forår og efterår, hvor hele husets varmebehov kan dækkes med solvarme.

I forbindelse med lavenergihuse er en varmefladestørrelse på 100 W/^{o}C (solvarmeradiator) tilstrækkelig, mens det i forbindelse med et BR77-hus er ønskeligt med en varmeflade på mindst 150 W/^{o}C

Ydelsen i forhold til systemer uden separat radiator

Fig. 9.28 viser en sammenligning med ydelsen af anlægget med forvarmning i lagerbeholderen og eftervarmning i kedlen.

Det er her forudsat, at den samlede varmefladestørrelse for 'solvarmeradiatorerne' er 100 W/^{o}C for et lavenergihus og 150 W/^{o}C for et BR77-hus, mens varmefladestørrelsen totalt for systemet med for- og eftervarmning er 580 W/^{o}C. Til systemet med 'solvarmeradiatorer' skal der hertil bruges radiatorer til den primære varmekilde, dimensioneret efter kedeltemperaturen og det dimensionerende varmetab for hele huset. Dimensioneres disse efter 90/70, skal der til et BR77-hus anvendes en varmeflade på omkring 100 W/^{o}C. Tilsvarende skal der ved dimensioneringstilstanden 60/40 anvendes en varmeflade på godt 220 W/^{o}C.

Det fremgår af fig. 9.28, at systemet med 'solvarmeradiatorer' giver næsten samme ydelse som systemet med for- og eftervarmning med en væsentlig mindre varmeflade. Dimensioneres varmefladen til den primære varmekilde efter 90/70, bliver varmefladerne henholdsvis 200-250 W/°C og 580 W/°C. Udfra dette må det konkluderes, at det her behandlede anlæg synes meget lovende.

Anvendelsesområde

Systemet er specielt egnet i forbindelse med huse, hvor der findes store rum med et stort varmetab (mange ydervægge) og helst i nærheden af lagerbeholderen. Er huset opdelt i mange små rum, vil det være nødvendigt med mange radiatorer der ganske vist skal være små, men rørsystemet kan blive omfattende, og som det fremgår af fig. 9.18 er dette en betragtelig del af omkostningerne ved et radiatorsystem.

Endvidere vil systemet være egnet i forbindelse med opførelse af solvarmeanlæg i eksisterende byggeri. Drejer det sig om mindre anlæg, er det som nævnt nok at placere 'solvarmeradiatorer' til 25% af husets varmetab, hvilket oftest vil være muligt. Det eksisterende radiatorsystem kan da anvendes uden videre, og det er uden betydning for solvarmeanlægget hvor store radiatorerne er.

Som det fremfår af fig. 9.1 giver mellemstore solvarmeanlæg (15 m^2) en ringe ydelse hvis det kun leverer brugsvand, mens det giver en høj ydelse hvis det også kan levere rumopvarmning. Med det her behandlede system vil merudgiften hertil være væsentlig mindre, end hvis systemerne med for- og eftervarmning anvendes. Det fremføres ofte, at fremtiden for solvarme er små brugsvandsanlæg på omkring 5 m^2, der vil give en ydelse på næsten 400 kWh/m^2·år. Spørgsmålet er, om det ikke er bedre med et 15 m^2 kombineret anlæg med en ydelse på omkring 300 kWh/m^2·år. Det kombinerede anlæg vil kunne opføres for en lavere pris pr. m^2, og dækningsgraden i forhold til husets samlede varmebehov vil være 2½ gange så stor, nemlig 26% mod 11% for brugsvandsanlægget, gældende for et totalt varmebehov på 17500 kWh/år for et BR77-hus.

Systemet med 'solvarmeradiatorer' vil specielt være egnet for mellemstore kombinerede anlæg i eksisterende byggeri. Systemet er i princippet enkelt og let forståeligt. For systemerne behandlet i kapitel 9.5 kræves der en vis viden for at kunne forstå, hvilke faktorer der har betydning for anlæggets ydelse. For eksempel at en del af radiatorerne afbrydes og radiatortermostaterne i resten kortsluttes, således at returtemperaturen stiger, osv. For systemet med separate 'solvarmeradiatorer' fremgår det helt klart for brugeren, hvornår der bruges solvarme, og hvornår der bruges olievarme.

Endvidere er systemet enkelt at projektere. 'Solvarmeradiatorerne' skal have en vis mindste størrelse, der kan findes af kataloger. Den gennemstrømmende vandmængde skal have en vis mindste værdi, der kan opnås udfra tommelfingerregler. Det er ikke afgørende om radiatorerne i de enkelte rum er dimensioneret præcis til rummets varmetab, og om der er et bestemt drivtryk over de enkelte radiatorer.

Et anlæg med 'solvarmeradiatorer' er således velegnet til selvbyggere og klarer fint krav nr. 3, afsnit 9.6, om at ydelsen skal være uafhængig af brugervaner og mindre projekteringsfejl.

Anlægget kunne sikkert med fordel anvendes i forbindelse med natsænkning, hvor kun den primære varmekilde er afbrudt om natten. Dette er dog ikke nærmere undersøgt.

Ydelsen af anlægget i Gentofte med separat radiator til solvarme

I kapitel 8 blev det anført at huset i Gentofte er velegnet til systemet med separat radiator til solvarme, og det blev konkluderet at det aktuelle anlæg er for stort til det aktuelle forbrugsmønster.

Fig. 9.29 viser nogle beregninger på anlægget i Gentofte med det målte forbrug og solindfald og data for det aktuelle anlæg, solfanger og rør. Det er forudsat at lagerbeholderen er isoleret svarende til 10 cm effektiv mineraluld.

Det fremgår at anlægget med en radiator svarende til 250 $W/^{o}C$ ville give en ydelse på 113 til 122 $kWh/m^2 \cdot år$ afhængig af hvor

	Anlæg	Forbrug	Solvarme-radiator-størrelse W/°C	Max. % sol til rumvarme	Ydelse	
					med SEP	aktuelt anlæg
1.	Som Gentofte, lagerisolering 10 cm	Målt [1]	250	50	122	97
2.	Som Gentofte, lagerisolering 10 cm	-	250	25	113	97
3.	Som 1., solfangerareal 14 m^2	-	250	50	180	169 [2]
4.	Som 1., solfangerareal 14 m^2	-	250	25	174	169 [2]
5.	Med selektiv solfanger, 10 m^2	-	250	25	250	

1) 15700 kWh til rumopvarmning og 3000 kWh til varmt brugsvand.

2) Med automatisk omkobling.

Fig. 9.29 Beregninger på anlægget i Gentofte med systemet med separat radiator til solvarme.
Beregningerne er foretaget med det målte forbrug og det målte solindfald.

stor en del der maximalt kan dækkes i vintermånederne. Dette skal sammenlignes med ydelsen af det aktuelle anlæg med en isoleringstykkelse på 10 cm, som ville være 97 kWh/m^2·år (fig. 8.4). Anlægget ville dække over 90% af forbruget i perioden maj-september.

Et anlæg med det halve solfangerareal (14 m^2) og et halvt så stort lager (1 m^3) ville tilsvarende yde 174 til 180 kWh/m^2·år og dække over 90% af forbruget i samme periode. Dette ville give samme dækningsgrad som det aktuelle anlæg.

Med en tidssvarende selektiv solfanger fås samme dækningsgrad med 10 m^2 solfanger som med 14 m^2 af solfangeren fra Gentofte. Ydelsen bliver 250 kWh/m^2·år.

Anlægget i Gentofte kunne altså i dag opføres efter et langt enklere princip med et solfangerareal på 10 m^2, og give samme dækningsgrad med en ydelse på 250 kWh/m^2·år.

9.9 Ydelsen for opvarmningssystemer med gulvvarmeslanger

Det anføres ofte at gulvvarmesystemer er velegnet i forbindelse med solvarme, idet der til gulvvarmeanlæg skal anvendes en lav fremløbstemperatur, både fordi der er en stor varmeflade til rådighed og fordi for høje fremløbstemperaturer vil give et ubehageligt varmt gulv. Ifølge ref.15 må den maximale vandtemperatur ikke overstige 55°C. Ved en middeltemperatur på varmemediet på 50°C vil temperaturen af gulvoverfladen ligge på 30 til 34°C afhængig af afstanden mellem varmeslangerne, ref.15. Det er en almindelig antagelse at den maximale gulvtemperatur må ligge mellem 25 og 32°C afhængig af lokalets anvendelse, idet temperaturen skal være lavest i arbejdslokaler og højst i baderum. Ved en middelvæsketemperatur på 40°C vil gulvtemperaturen for de fleste konstruktioner ligge på under 30°C.

I forbindelse med opvarmning med gulvslanger er der forskellige problemer der ikke optræder ved opvarmning med radiatorer. For det første kan der være reguleringsmæssige problemer som følge af den store varmekapacitet i gulvet, med deraf følgende træghed over for temperaturændringer. Dette medfører endvidere at der ikke kan anvendes natsænkning i forbindelse med gulvvarme. For det andet vil gulvets højere temperatur bevirke et større varmetab til omgivelserne. Dette varmetab vil langt overstige den ekstra ydelse, der fås af solvarmeanlægget ved anvendelse af gulvvarme. Det vil derfor være nødvendigt at forøge isoleringstykkelsen under gulvslangerne.

Regulering af gulvvarmeanlæg

Der findes en række forskellige reguleringsprincipper til gulvvarmeanlæg. I lokaler uden stærkt svingende varmebehov (få vinduer og ydervægge) kan det være tilstrækkeligt at anvende en konstant fremløbstemperatur, idet selvreguleringen klarer resten. Selvreguleringen er, som forklaret i afsnit 9.4, en følge af at gulvets varmeafgivelse aftager væsentligt når rumtemperaturen stiger en smule, idet der er tale

om små temperaturdifferencer mellem rumluft og gulvoverflade.

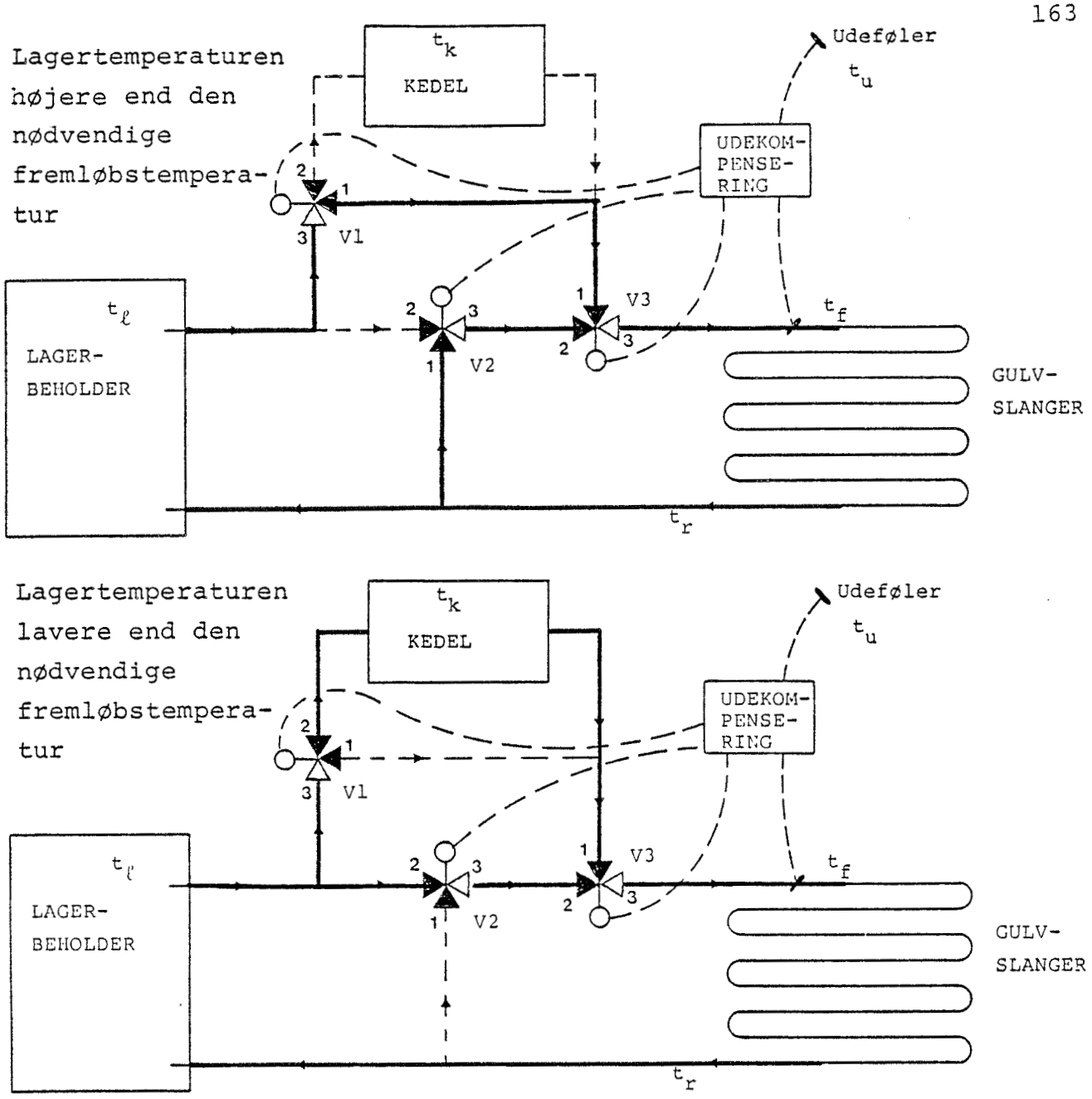
Det anbefales ofte at anvende udekompensering, således at fremløbstemperaturen styres efter udelufttemperaturen. Reguleringen derudover antages at ske ved selvregulering. Ifølge ref.15kan det ikke anbefales at anvende styring efter en rumføler til regulering af gulvvarmeanlæg, som følge af den store varmekapacitet. Endvidere anføres det i ref.15 at i rum med stor tilførsel af gratisvarme (store vinduer), er gulvvarme uegnet som eneste varmekilde. Det kan da komme på tale at opstille nogle radiatorer med radiatortermostater, der reagerer hurtigere på svingende varmebehov.

Solvarmeradiatoren i det i kapitel 9.8 omtalte system kan måske med fordel erstattes med et vist areal gulvvarmeslanger, idet solvarmen her virker som grundlast i vinterperioden. I forårs- og efterårsperioden vil da såvel gulvslangerne som radiatorerne forsynes med solvarme. Systemløsningen, fig. 9.22,kan da ikke umiddelbart anvendes, idet der må indføres en styring der begrænser fremløbstemperaturen til gulvslangerne. Det blev i afsnit 9.8 beregnet at solvarmeradiatoren skulle kunne afgive mindst 100 W/^{o}C temperaturdifferens mellem rumluft og varmemedie. For mange gulvvarmesystemer svarer dette til omkring 20 m^{2} gulvflade med gulvslanger, men med trægulve med strøer ovenover gulvslangerne kan det svare til op til 50 m^{2}, mens det med klinkegulv kan være tilstrækkeligt med ca. 10 m^{2}. Man skal også i dette tilfælde være opmærksom på det ekstra varmetab nedad fra gulvet.

Systemløsning

Fig. 9.30 viser den systemløsning der ligger til grund for beregningerne foretaget med EDB-modellen. Det skal bemærkes at det viste system ikke umiddelbart kan anvendes i forbindelse med kedler der ikke kan tåle lave returtemperaturer.

Princippet er at den kolde port på blandeventilen V3 til udekompenseringsanlægget forsynes fra lagerbeholderen således at der blandes op med solvarmevand i stedet for det koldere returvand fra gulvslangerne (nederste tegning fig. 9.30).



Kun solvarme: V1 i stilling 3-1
V2 i stilling 1-3
V3 opblander port 1 og 2 til den nødvendige t_f

Solvarme og
Kedel V1 i stilling 3-2
V2 i stilling 2-3
V3 opblander port 1 og 2 til den nødvendige t_f

Udekompenseringsanlægget skal koble om på ventilerne V1 og V2 når ventilen V3 på øverste tegning har lukket helt for port 2, og når V3 på nederste tegning har lukket helt for port 1.

Alternativt kan ventilerne V1 og V2 styres af en differenstermostat over temperaturerne t_ℓ og t_f. Derved opnås at der kun anvendes standardkomponenter.

Ventilerne V1 og V2 er ikke modulerende og derfor langt billigere end ventilen V3 der er modulerende. (dvs. kan "blande" port 1 og 2 op i et vilkårligt forhold).

Fig.9.30 Eksempel på systemløsning til solvarmeanlæg med gulvslanger.

Når ventilen V3 har lukket helt op for port 2 er dette et tegn på at lagertemperaturen er tilstrækkelig som fremløbstemperatur og der kobles om på ventilerne så vandstrømmene går som vist på den øverste tegning, hvor det nu er returvandet fra gulvslangerne der bruges til opblanding på ventilen V3. Denne styring kan enten foregå ved det viste lidt specielle udekompenseringsanlæg, eller det kan ske ved en differenstermostat der kobler om på ventilerne V1 og V2 når lagertemperaturen kun er f. eks. 2°C lavere end den registrerede fremløbstemperatur. På tilsvarende vis kobles ventilerne om når lagertemperaturen fra at være højere end fremløbstemperaturen når ned i nærheden af denne.

Opvarmningsbehov og varmetab fra gulvet

Idet varmekapaciteten i gulvet ikke indgår i husets varmeakkumulerende masse når gulvet hele tiden er varmt, er der med BA4-programmet beregnet et nyt varmebehov til beregninger med gulvvarmeanlæg. Forbruget til rumopvarmning bliver stort set det samme, men fordelingen over døgnets timer bliver lidt anderledes idet solindfald gennem vinduerne vil bevirke, at varmebehovet bliver mindre.

Beregningerne viser dog at solvarmeanlæggets ydelse stort set er uafhængig af hvilket varmebehov der anvendes. Det ideelle for solvarmeanlægget er at varmebehovet fordeles jævnt over døgnets timer, idet man da vil få den laveste middelreturtemperatur. En beregning med et sådant konstrueret varmebehov (svarende til et hus med meget stor varmekapacitet) giver dog kun en ydelse der er 2% højere end ydelsen beregnet med det svingende varmebehov til gulvopvarmning. Det er kun i forbindelse med meget svingende behov, i forbindelse med natsænkning som behandlet i forbindelse med Gentofte-anlægget og i kapitel 9.5, at fordelingen af varmeforbruget over døgnet får afgørende betydning.

I et etplans parcelhus med gulvvarme uden kælder vil der være et ekstra varmetab nedad fra gulvet som følge af den højere gulvtemperatur. Beregningerne af varmetabet fra gulv foretages i BA4-programmet udfra antagelse af en konstant

jordtemperatur. Derved kan det ekstra varmetab som følge af det varme gulv let beregnes som et tillæg i SVS-programmet udfra varmetabskoefficienten, middelvæsketemperaturen og rumtemperaturen. Der er i beregningerne benyttet en varmetabskoefficient på 30 W/°C, svarende til huset i Greve (kapitel 2) der opfylder kravene i BR77.

Beregningsresultater

Fig. 9.31 viser beregninger på solvarmesystemer med gulvvarmeanlæg som eneste varmekilde. Forbruget til rumopvarmning er 14100 kWh/år og til brugsvand 3400 kWh/år, iøvrigt gælder forudsætningerne der fremgår af bilag nr. III. Det er i beregningerne forudsat at der er ideal selvregulering således at gulvet afgiver det varmebehov der er beregnet med BA4-programmet. Dette vil i virkeligheden ikke være tilfældet, men idet beregningerne af solvarmeanlæggets ydelse ikke er så afhængig af fordelingen sålænge der ikke anvendes natsænkning, skønnes det ikke nødvendigt at tage højde for forskydninger som følge af varmekapaciteten.

I afsnit 9.5 blev der foretaget beregninger på opvarmningssystemer med radiatorer og udekompensering, radiatorerne var her forsynet med radiatortermostater. Følgende tabel viser disse sammenlignet med tilsvarende beregninger med gulvvarme.

Dimensioneringstilstand °C/°C	System med radiatorer og udekompensering kWh/m².år	System med gulvvarme og udekompensering kWh/m².år
32/31	279-44 = 235	297-61 = 236
40/26	256-17 = 239	276-34 = 242
50/23	242- 5 = 237	271-29 = 242

Eksempel: 279-44 = 235 279 - Bruttoydelse
44 - Tilført lager fra kedel
235 - Nettoydelse, udnyttet solenergi

	Solfanger-areal m^2	Dimensio-neringstilstand °C/°C	Radiator-retur uden om lager	Varmetab fra gulv W/°C	Ydelse, kWh/m^2.år			Ekstra varm tab fra gul	
					Brutto	Tilført lager	Netto	kWh	kWh m^2 s
1	25	40/26	-	0	268	40	232	0	0
2	25	32/31	-	30	297	61	236	990	40
3	25	40/26	-	30	276	34	242	1170	47
4	25	50/23	-	30	271	29	242	1420	57
5	15	32/31	-	30	697	395	302	990	66
6	15	40/26	-	30	367	60	307	1170	78
7	15	50/23	-	30	361	54	307	1215	95
8	25	35/30	-	30	278	41	237	1110	44
9	25	35/30	-	30	259	26	233	1110	44
10	15	35/30	-	30	370	68	302	1110	74
11	15	35/30	dec-jan.	30	348	45	303	1110	74
12	15	35/30	nov-feb.	30	320	24	296	1110	74
13	8	35/30	-	30	502	129	373	1110	139
14	8	35/30	dec-jan.	30	468	89	379	1110	139
15	8	35/30	nov-feb.	30	430	52	378	1110	139

Fig. 9.31 Beregninger på solvarmesystemer med gulvslanger.
Forbrug til rumopvarmning 14100 kWh/år. (BR77)
Forbrug til varmt brugsvand 3400 kWh/år, 200 ℓ/dag (10-50°C
Lagerbeholder 75 liter pr. m^2 solfanger.
Beregningerne gælder for systemet fig. 9.30
Med gulvvarmeanlæg fås et ekstra varmetab på grund af gulvets højere temperatur. Det anførte varmetab fra gulv er dette tab, beregnet som gulvtemperaturen minus rum-temperaturen gange varmetabskoeffecienten (30 W/°C).

Det ses, at der med gulvvarme tilføres større energimængder til lagerbeholderen, hvilket ligger i, at der her ikke anvendes radiatortermostater.

Ved meget lille dimensionerende afkøling falder ydelsen, idet der tilføres store energimængder til lagerbeholderen. Den almindeligt anvendte dimensioneringstilstand 35/30 til gulvvarmeanlæg synes derfor rimelig i forbindelse med solvarmeanlæg.

Fig. 9.31 viser nogle beregninger med denne dimensioneringstilstand med et solfangerareal på 25, 15 og 8 m^2. Ydelserne der opnås svarer stort set til de, der opnås med tilsvarende radiatordimensioneringer, og som det fremgår er det unødvendigt at koble radiatorreturen uden om lagerbeholderen i vintermånederne. En automatisk omkobling vil tilsvarende, som det gælder for radiatorer, ikke kunne svare sig. Af fig. 9.31 fremgår endvidere det ekstra varmetab nedad. Omregnes dette til tab pr. m^2 solfanger, ses det at udgøre en betragtelig del af solvarmeanlæggets ydelse, og kun en mindre del af det ekstra varmetab dækkes af solvarmeanlægget.

I disse beregninger er der anvendt samme gulvkonstruktion som ved beregninger med radiatorer, varmetabskoefficient 30 W/°C. Ved at forøge isoleringen i gulvkonstruktionen vil det ekstra varmetab aftage, og ved en varmetabskoefficient på ca. 20 W/°C bliver det helt elimineret. Dette svarer til, at isoleringstykkelsen i gulvet skal forøges med ca. 50%.

Der opnås altså høje ydelser af solvarmeanlægget ved anvendelse af gulvvarme, men for at ydelsen ikke skal sættes over styr ved et forøget varmetab, vil det være nødvendigt at forøge isoleringen af gulvet. Der kan dog opnås tilsvarende ydelser ved anvendelse af radiatorer, og dette vil vel i almindelighed være det billigste.

9.10 Parameteranalyse

I dette afsnit vil forskellige parametres indflydelse på ydelsen blive undersøgt. Der vil blive inddraget to forskellige anlæg.

1) Anlægget med forvarmning i lagerbeholderen, eftervarmning i kedlen uden omkobling af radiatorreturen og med konstant fremløbstemperatur (fig. 9.6). Dimensioneringstilstanden er sat til 40/26. Dette anlæg kaldes i afsnit 9.6 MU (Mængderegulering Uden omkobling af radiatorretur).

2) Anlægget med separat radiator til solvarme (fig. 9.22). Varmefladestørrelsen er sat til 200 W/°C, den gennemstrømmende vandmængde i "solvarmeradiatorerne" er 350 l/h og den procentdel af rumvarmeforbruget,der maximalt kan dækkes med solvarme,er 50%, dog 100% i måneder, hvor den mulige dækning er over 80%. Dette anlæg kaldes SEP.

Referenceværdier (det der varieres ud fra) for begge anlæg:

Solfangerareal	25 m^2
Lagervolumen	75 l/m^2
Forvarmebeholder	200 l
Startdifferens	6 °C
Stopdifferens	0 °C
Lagerisolering (effektiv)	10 cm
Lagerplacering	inde
Udnyttelse af tab fra lager	ja
Varmekapacitet af rør	7,0 kJ/°C pr.m^2 sol
Varmetab fra rør	0,4 W/°C " "
Varmekapacitet af solfanger	15 kJ/°C " "
Solfanger, effektivitetskurve	1 på fig. 7.4
Solindfald	Nyt ref. år
Forbrug til rumvarme	14100 kWh/år (BR77)
Forbrug til varmt brugsvand	200 l/dag, 10-50°C
Fordeling af varmtvandsforbruget	ens hver dag
Radiatoreksponent	1,3
Varmeveksler i lager	50 W/°C pr. m^2 sol
Gennemstrømmende væskemængde i solfangerkreds	1,0 l/min pr.m^2 sol

Ydelse og dækningsgrad for referenceanlæggene er:

MU	237 kWh/m^2år	34%
SEP	231 -	33%

Solfangerareal og forbrug til rumopvarmning

Fig. 9.32 viser ydelsen og fig. 9.33 dækningsgraden i afhængighed af solfangerarealet for 3 forskellige varmebehov.

ST70: 125 m^2 parcelhus fra begyndelsen af 70'erne. Dimensionerende varmetab 9500 W. Årligt forbrug 23700 kWh.

BR77: Tilsvarende opført efter bygningsreglementet af 1977. Dimensionerende varmetab 6100 W. Årligt forbrug 14100 kWh.

LAV: Lavenergihus. Dimensionerende varmetab 3700 W. Årligt forbrug 6200 kWh.

Resultaterne for ST70 gælder naturligvis også for et større hus isoleret bedre, men med samme varmeforbrug som ST70.

Fig.9.34 viser fordelingen af forbruget til opvarmning over året for de 3 forskellige huse. Af fig. 9.32 fremgår endvidere ydelsen af et anlæg, der kun leverer brugsvand.

Det fremgår af figurerne, at der ikke er den store forskel på ydelsen af MU og SEP, idet dog SEP tenderer til at give højere ydelser for små anlæg. Det medfører,at valget mellem de to systemer må ligge i mere praktiske forhold, herunder husets rum-inddeling og om der er tale om eksisterende huse eller nybygninger, altså hvilket anlæg der vil være billigst at installere.

Jo større forbruget til rumopvarmning er,jo større fordel giver det kombinerede anlæg frem for et rent brugsvandsanlæg. For et lavenergihus er ydelsen af det kombinerede anlæg ikke meget større end ydelsen af et rent brugsvandsanlæg og merudgiften til det kombinerede anlæg vil derfor forrentes dårligst her. For BR77 og ST70 giver det kombinerede anlæg langt højere ydelser end brugsvandsanlægget for solfangerarealer større end 10 m^2.

Sættes der som betingelse for at anlægget kan forrente sig, at ydelsen skal være 300 kWh/m^2 år, fås følgende solfangerarealer og tilhørende dækningsgrader:

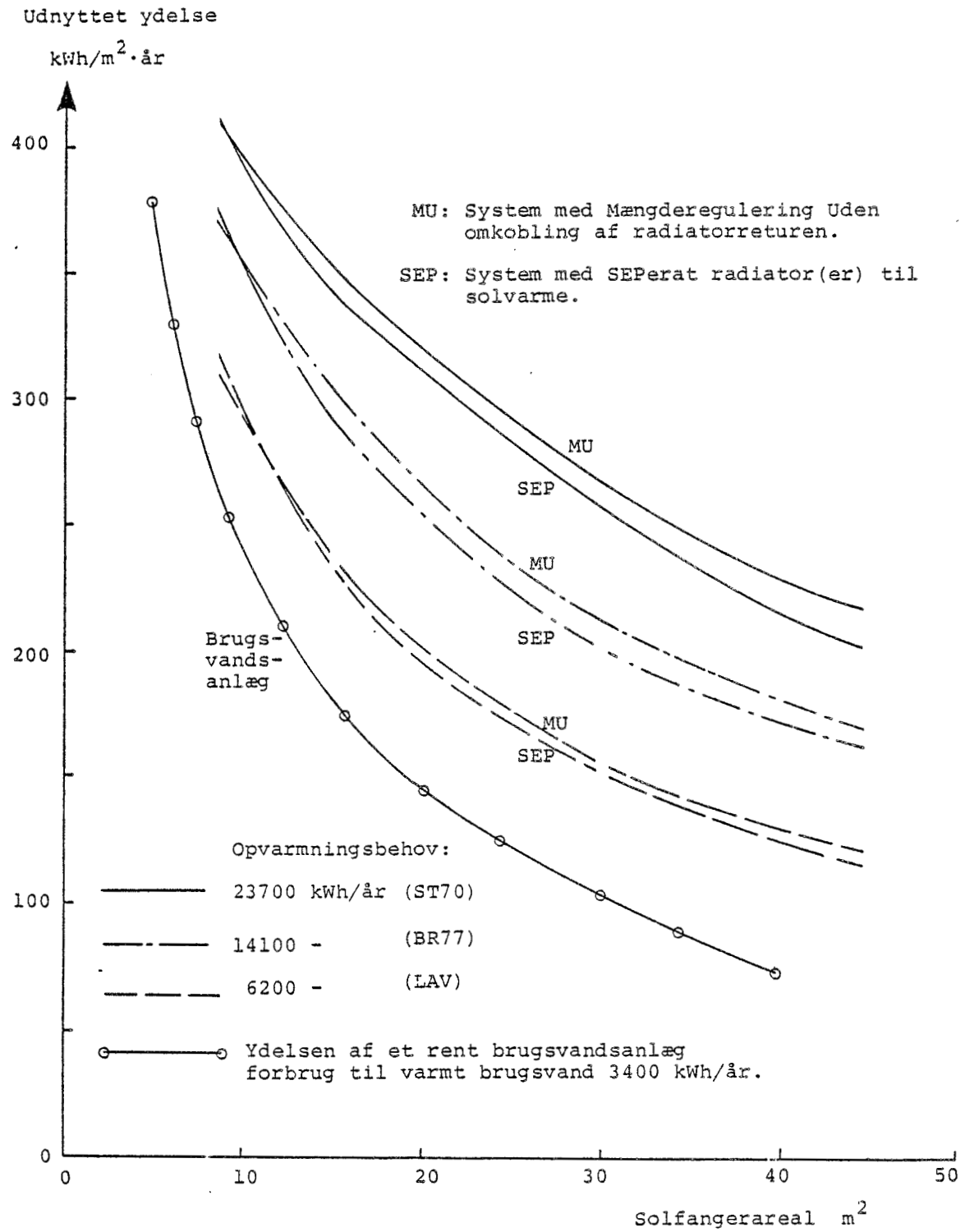


Fig. 9.32 Nyttiggjort ydelse for systemløsningerne MU og SEP for tre forskellige opvarmningsbehov, samt ydelsen af et rent brugsvandsanlæg.
Forbrug til varmt brugsvand 200 ℓ/dag (10-50°C).

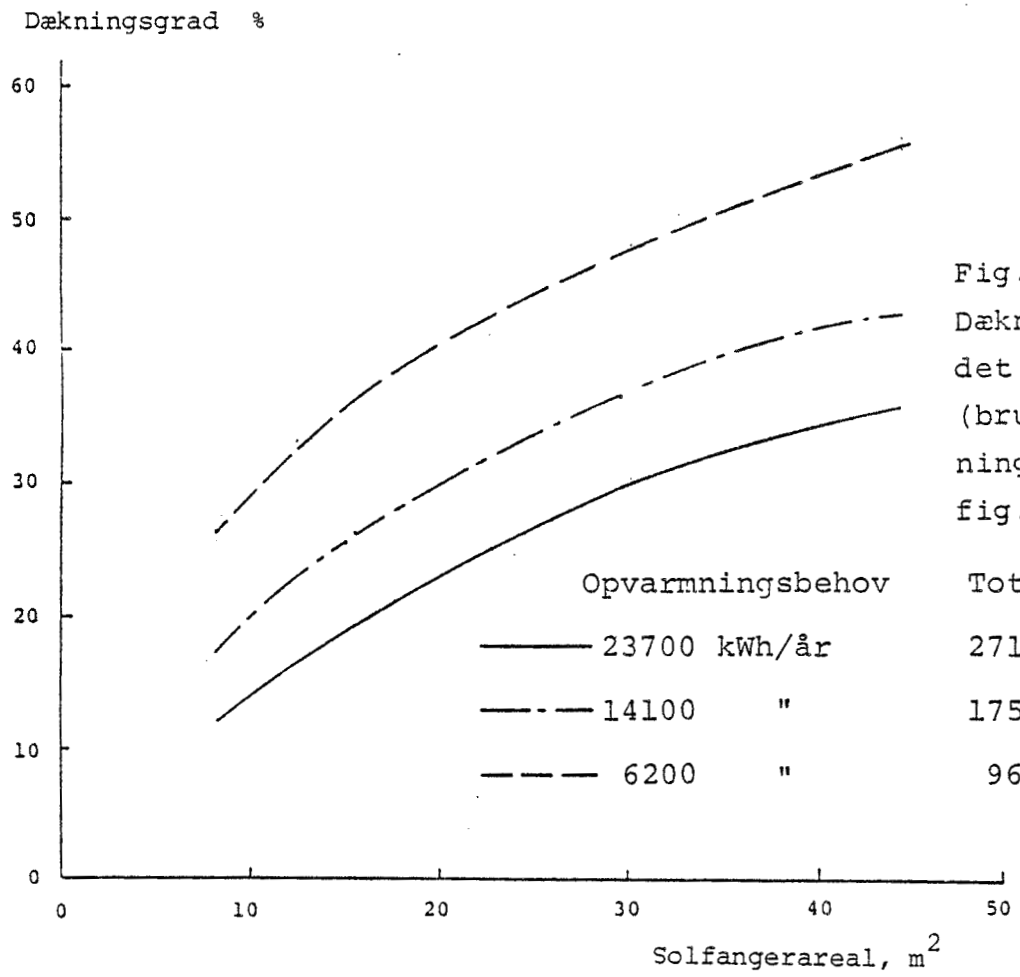


Fig. 9.33
Dækningsgraden mht. det totale varmebehov (brugsvand og opvarmning) hørende til fig. 9.30

	Opvarmningsbehov	Totalt varmebehov	
———	23700 kWh/år	27100 kWh/år	(ST70)
—·—	14100 "	17500 "	(BR77)
– – –	6200 "	9600 "	(LAV)

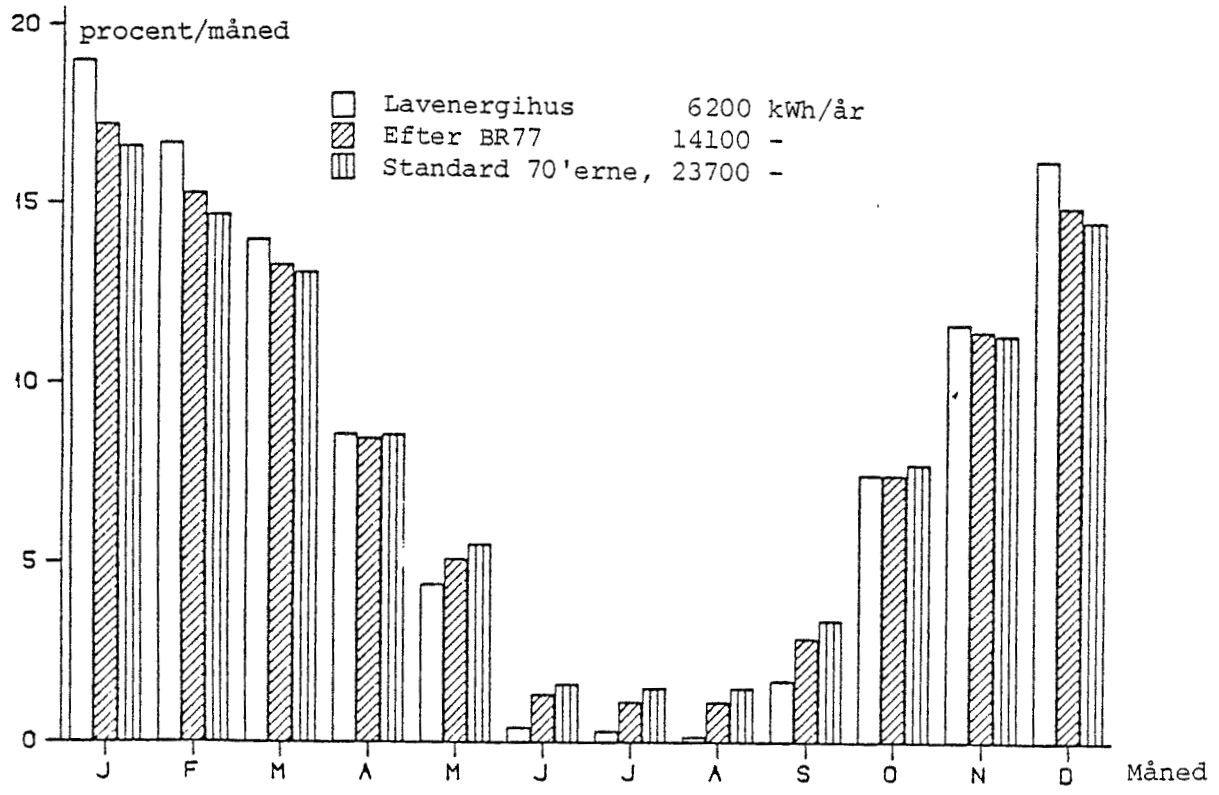


Fig. 9.34 Fordelingen af de tre opvarmningsbehov (LAV, BR77 og ST70) i procent af det samlede årlige forbrug. Ved et lavt opvarmningsbehov er behovet relativt mindre i den varme periode.

ST70	23 m^2	25%
BR77	15 m^2	26%
LAV	10 m^2	29%

Det bemærkes at dækningsgraderne bliver næsten ens.

I beregningerne af rumvarmeforbruget (BA4-simuleringsprogrammet) er det forudsat, at rumtemperaturen skal være 21°C hele året. Dette giver, som det fremgår af fig. 9.34 et forbrug til opvarmning i sommermånederne. Imidlertid er der mange, der ikke åbner for radiatorerne i sommermånederne, fordi temperaturen falder et par grader, og i forbindelse med varmecentraler er det ofte ikke muligt. Det kan derfor diskuteres om dette behov (der let dækkes fuldt ud af solvarmeanlægget) kan betragtes som "sparet". Som det fremgår af kapitel 3, har der været et vist forbrug til rumopvarmning i sommermånederne i huset i Greve, mens det har været meget beskedent i huset i Gentofte.

For anlægget MU fås følgende ydelser, hvis rumvarmeforbruget sættes til nul i en periode om sommeren:

10. maj - 20. sep.	196 kWh/m^2 år
1. juni - 1. sep.	224 -

Dette skal sammenlignes med de 237 kWh/m^2 år.

Er lagerbeholderen placeret inden for husets isolering, vil en del af varmetabet udnyttes til opvarmning, nemlig når tabet falder sammen med et varmebehov. På denne måde dækkes 1/3 af varmebehovet i perioden juni-august, 150 ud af 500 kWh, svarende til 6 kWh/m^2 år.

Varmetabet udgør 600 kWh, således at 450 kWh uønsket varme tilføres huset i de 3 sommermåneder. Dette er relativt lidt i forhold til den øvrige overskudsvarme fra solindfald m.v. der er i sommermånederne.

Forbruget til varmt brugsvand

Fig. 9.35 viser betydningen af forbrugets størrelse for de to referenceanlæg med et solfangerareal på 15 og 25 m^2. Ydelsen stiger betragteligt med stigende forbrug til varmt brugsvand.

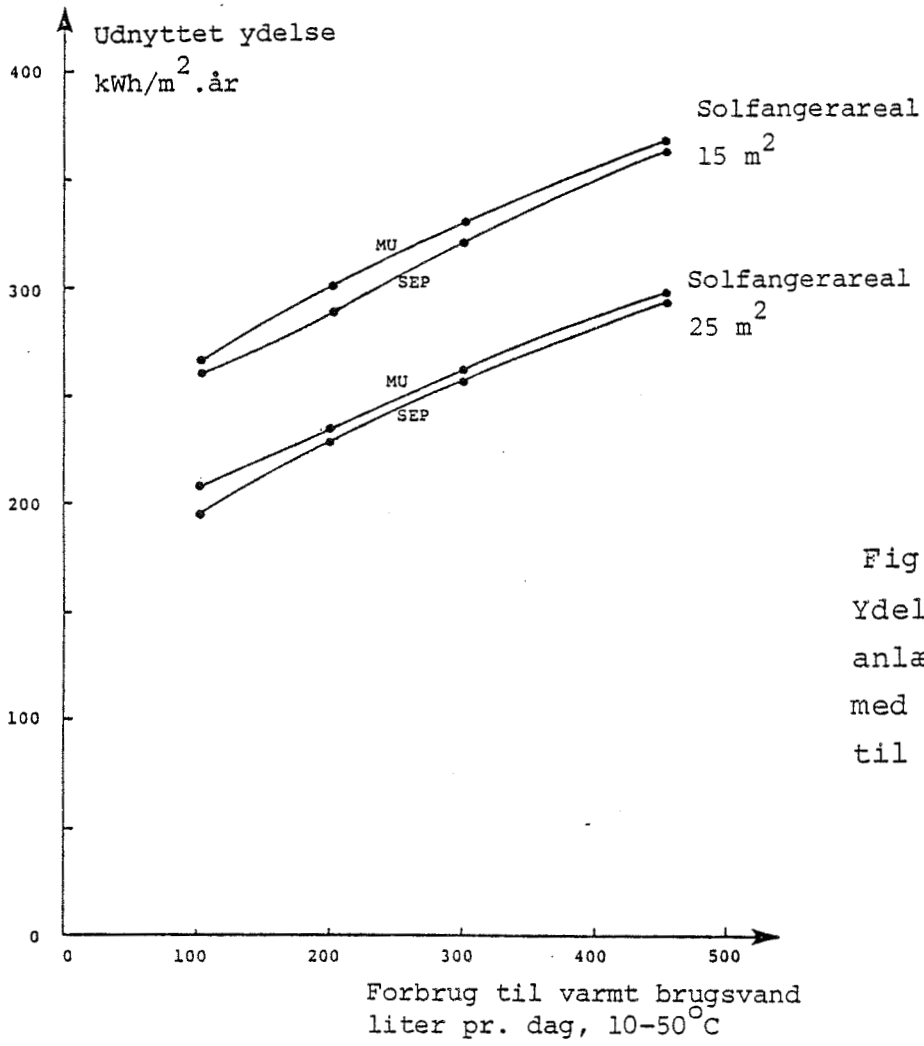


Fig. 9.35
Ydelsen for reference-anlæggene MU og SEP med ændret forbrug til varmt brugsvand.

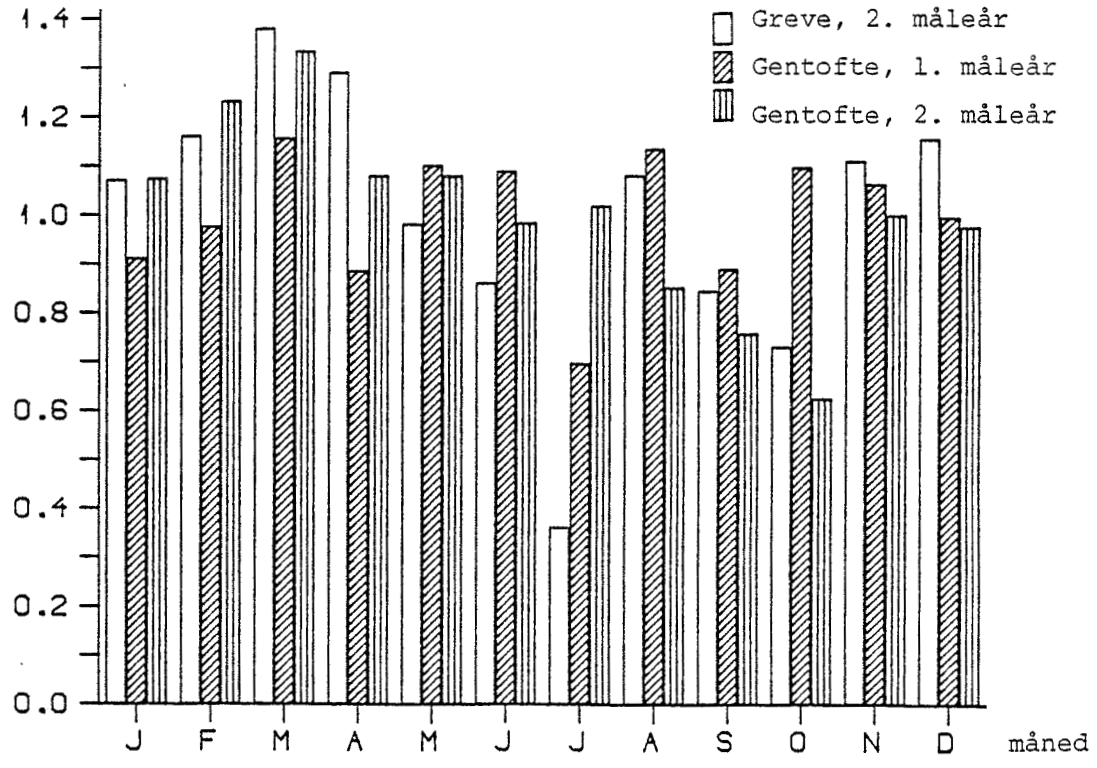


Fig. 9.36 Forbruget til varmt brugsvand (enhed: 1/12 årssum) for 2. måleår i Greve og for 1. og 2. måleår i Gentofte.

Det var forudsat, at forbruget til brugsvand var 200 liter hver dag året igennem. I virkeligheden vil forbruget være mere ujævnt, fig. 9.36 viser forbruget pr.måned for husene i Greve og Gentofte. Forbruget i Greve 1. måleår er ikke taget med, da huset ikke var beboet de første måneder.

Med disse forbrug beregnes med anlægget MU følgende ydelser:

		MU 25 m^2	MU 15 m^2
Greve	2. år	229	289
Gentofte	1. år	235	299
Gentofte	2. år	234	298
Reference		237	301

Der sker således ikke nogen større reduktion i ydelserne på trods af, at der i de anvendte forbrug forekommer sommermåneder med meget lave forbrug. Faldet i ydelse er i gennemsnit 2%.

Lagervolumen

Fig. 9.37 viser betydningen af forholdet mellem lagervolumen og solfangerareal. Referenceværdien på 75 l/m^2 ses at være rimelig, idet der dog kan opnås en beskeden stigning i ydelsen med et større lager for anlægget MU. Ved et lagervolumen på 200 l/m bliver ydelsen 243 $kWh/m^2 \cdot år$ (reference 237), ved større lagervolumen falder ydelsen, da varmetabet bliver for stort. Endvidere fremgår det af figuren, at lagerstørrelsen ikke må blive mindre end de 75 l/m^2. I modsætning hertil kan lagerstørrelsen for mindre brugsvandsanlæg være så lav som 25 l/m^2 uden nogen væsentlig reduktion i ydelsen (ref.13).

Udnyttelse af varmetab fra lagerbeholder og rørsystemer

Hvis lagerbeholderen er placeret inden for husets isolering vil varmetabet fra lagerbeholderen bidrage til husets opvarmning, og for så vidt der er et varmebehov kan denne varme regnes udnyttet. Varmeanlægget skal således afgive en tilsvarende mindre varmemængde.

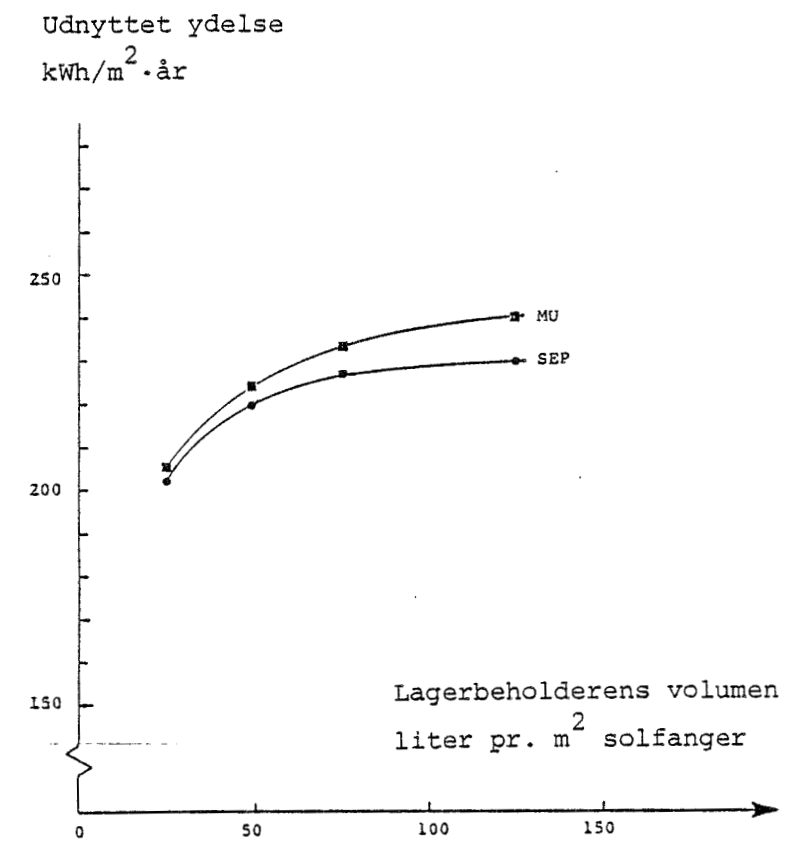


Fig. 9.37
Ydelsen af de to referenceanlæg MU og SEP i afhængighed af lagerbeholderens størrelse. Referenceværdi 75 ℓ/m^2.
Lagerisolering: 10 cm.

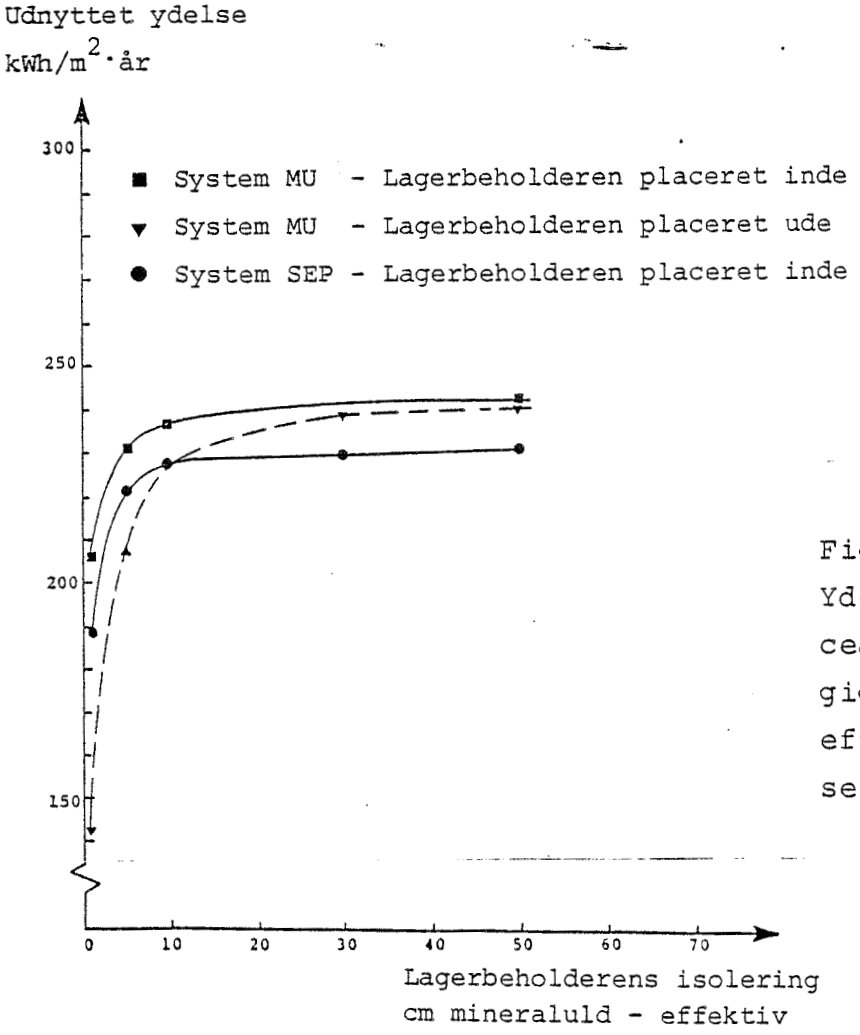


Fig. 9.38
Ydelsen af de to referenceanlæg MU og SEP i afhængighed af lagerbeholderens effektive isoleringstykkelse og beholderens placering.

Sammenlignes det tilfælde,hvor lagerbeholderen er placeret ved en omgivelsestemperatur på 21°C, og hvor varmetabet slet ikke udnyttes (hvilket er lidt hypotetisk) med det tilsvarende hvor varmetabet udnyttes, gælder det, at der beregnes næsten sam me udnyttede ydelse af solvarmeanlægget. Det beregnes, at der kan udnyttes 20 kWh/m^2 år (m^2 solfanger) varmetab fra lagerbeholderen, men til gengæld afgiver solvarmeanlægget 19 kWh/m^2år mindre via varmeanlægget. Forklaringen ligger i, at det drejer sig om lavtemperaturopvarmningsystemer. Deltager varmetabet ikke i husets opvarmning,skal der afgives en større varmemængde via varmeanlægget. Dette kan i reglen lade sig gøre, da der kan tappes varme fra lageret indtil dette når ned i nærheden af rumtemperaturen. Der sker da det,at "varmen trækkes ud af lageret, inden den bliver til tab", og den udnyttede ydelse bliver næsten den samme.

Drejer det sig ikke om lavtemperaturopvarmningssystemer,vil udnyttelsen af varmetabet forøge den udnyttede ydelse, da man kan have et varmebehov og en høj temperatur i lagerbeholderen uden at det er muligt via opvarmningssystemet at trække varme ud af lagerbeholderen.

Udnyttelse af varmetabet fra rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder har på tilsvarende måde ingen betydning for den udnyttede ydelse.

Er lagerbeholderen placeret uden for husets isolering kan varmetabet ikke udnyttes.

Lagerbeholderens isolering

Fig. 9.38 viser ydelsen i afhængighed af lagerbeholderens isolering. Der er vist afhængighed for lagerbeholderen placeret inde i huset (gælder altså uanset om varmetabet udnyttes eller ej) for MU og SEP. Ydelsen falder hurtigt, når den effektive isolering kommer under 5 cm for indendørs placering og 10 cm for udendørs placering.

Da der er et vist tab gennem kuldebroer (rørgennemføringer og understøtninger) skal den faktiske isoleringstykkelse være en del større. Forudsat at kuldebroer er elimineret mest muligt, vil det være tilstrækkeligt med 10 cm isolering ved indendørs placering og 20 cm ved udendørs placering. For små beholdere (mindre end 1000 l) skal man nok isolere noget mere.

Det fremgår, at lagerbeholderen udmærket kan placeres med udelufttemperaturen som omgivelse, forudsat at den er godt isoleret. Dette kan have betydning, hvis der ikke er plads i huset.

Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder samt solfangerens varmekapacitet.

Betydningen heraf for ydelsen fremgår af fig. 9.39 og 9.40. Til anskueliggørelse af de indgående størrelser anføres:

Solfangerens varmekapacitet:

15 kJ/°C m^2	almindelig solfanger
30 -	tung solfanger
60 -	usædvanlig tung solfanger

Rørsystemets varmekapacitet:

7 kJ/°C m^2 = 175 kJ/°C for 25 m^2 anlæg
svarer til 40 m rør ø25 (1")

Rørsystemets varmetab:

0,4 W/°C m^2 = 10 W/°C for 25 m^2
svarer til 40 m rør ø25 med 30 mm isolering.

0,8 W/°C m^2 = 20 W/°C for 25 m^2
svarer til 40 m rør ø25 med 10 mm isolering.

1,6 W/°C m^2 = 40 W/°C for 25 m^2
svarer til 20 m rør ø25 uden isolering.

Til rørsystemets varmetab hører også varmetab fra uisoleret armatur, pumpe mv. Som en tommelfingerregel sættes varmetabet fra en uisoleret ventil til 0,3 W/°C.

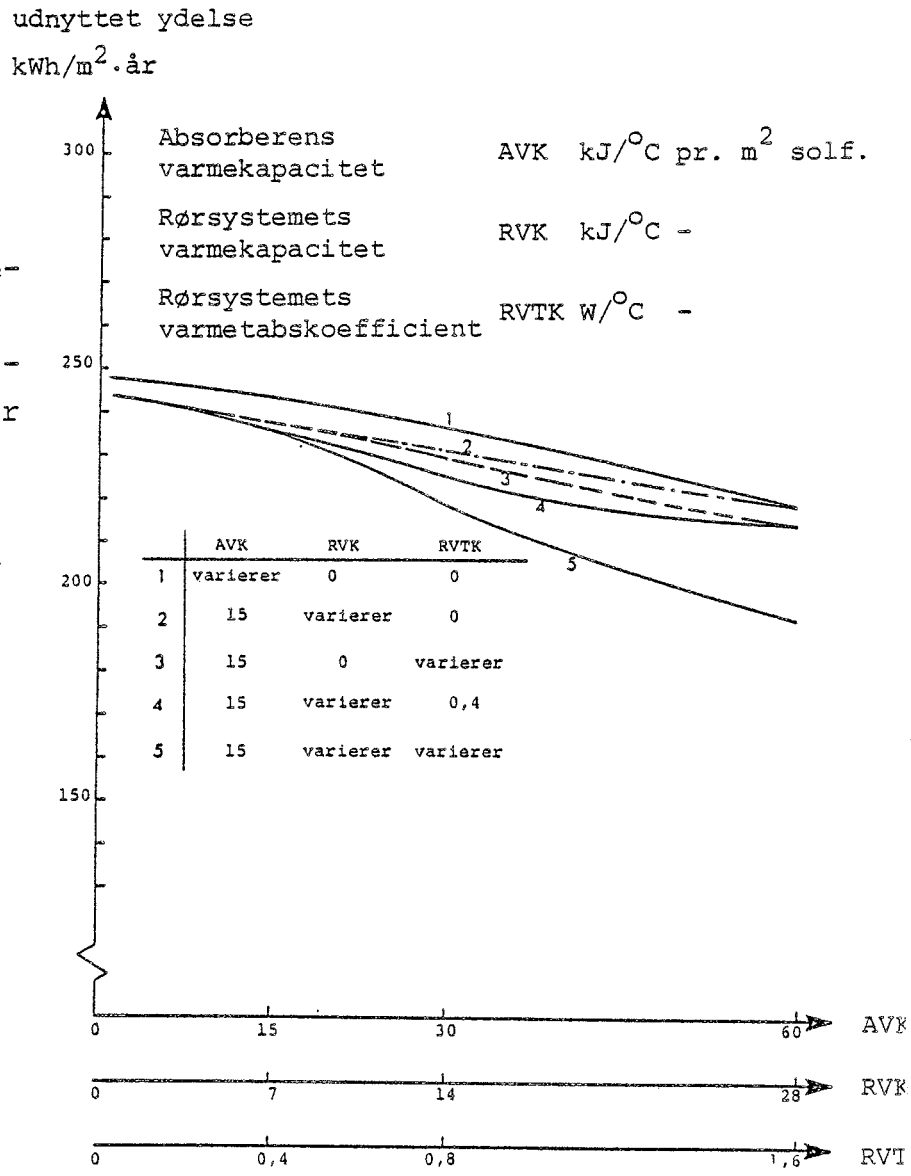


Fig. 9.39
Betydningen af absorberens varmekapacitet og rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder for referenceanlægget MU.
Alle rør placeret uden for husets klimaskærm.

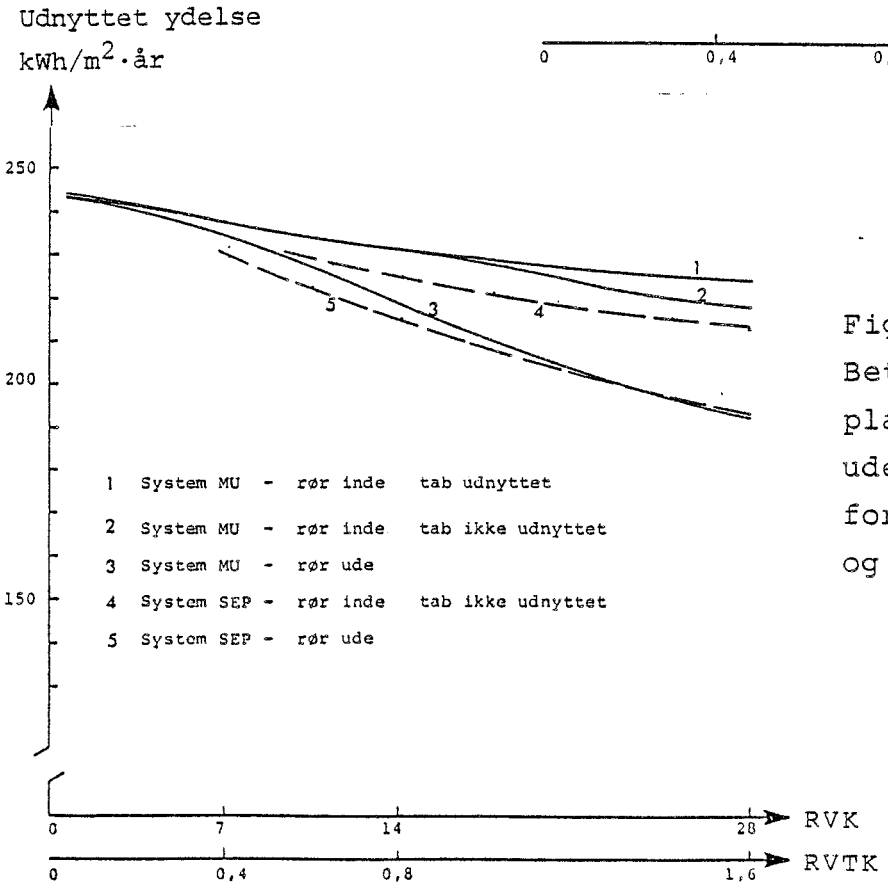


Fig. 9.40
Betydningen af rørsystemets placering (indenfor eller udenfor husets klimaskærm) for referenceanlæggene MU og SEP.

Det ses af fig. 9.39, at solfangerens varmekapacitet har en vis indflydelse på ydelsen. Ved en kapacitet på 30 kJ/°C m^2 (svarende til solfangeren i Greve) falder ydelsen med 3% i forhold til 15 kJ/°C m^2 og meget mindre kan den ikke blive. Ved 60 kJ/°C m^2, der kan opnås ved at anvende en regulær radiator til absorber, falder ydelsen med 10%.

Fig. 9.39 viser betydningen af rørsystemet, når alle rør forudsættes placeret uden for husets isolering. Det ses,at kapaciteten og varmetabet inden for de valgte grænser hver for sig har samme betydning for ydelsen. Fordobles kapaciteten og varmetabet i forhold til referenceværdierne, f.eks. 80 m ø25 rør isoleret med 30 mm mineraluld i stedet for 40 m rør, falder ydelsen fra 237 til 219 kWh/m^2år, eller 8%. Ved en kapacitet og et varmetab på henholdsvis 28 kJ/°C m^2 og 1,6 W/°C m^2 falder ydelsen med 19% i forhold til referenceværdierne. Dette kan f.eks. ske med 40 m uisolerede ø32 rør.

Fig. 9.40 viser dette sammenlignet med situationen, hvis rørene helt er placeret inde i huset. For referenceanlægget stiger ydelsen fra 237 til 240 kWh/m^2år. Ved en fordobling af rørsystemet falder ydelsen 2,5% mod før 8%, og ved en firedobling med 5% mod før 19%. Endvidere ses det, at det for meget store rørsystemer har betydning, at varmetabet fra rørene i en vis udstrækning udnyttes til opvarmning.

Det fremgår også af fig. 9.40 at betydningen af rørsystemet for anlægget SEP er lidt mindre end for MU, i overensstemmelse med forklaringen i afsnit 5.5. Det gælder, at lagerets varmeindhold kan udnyttes ned til en lavere lagertemperatur med systemet SEP end med MU, dog ikke så langt ned som med et brugsvandsanlæg, hvor rørsystemet som anført har mindre betydning for ydelsen.

I almindelighed vil en del af rørsystemet befinde sig inden for huset og en del uden for. Beregningerne viser, at det er af betydning at reducere rørsystemet så meget som muligt (også af økonomiske grunde), og at det er vigtigt at så stor en del som muligt af rørsystemet placeres inden for husets isolering.

Solfangerens effektivitet

Fig. 9.41 viser ydelsen for anlægget MU beregnet med forskellige solfangere. Beregningerne er baseret på effektivitetsmålinger foretaget på Laboratoriet for Varmeisolering. (Ref.14).

Solfanger ID116 er referencesolfangeren uden selektiv folie. Den selektive folie bevirker altså at udbyttet stiger fra 198 til 237 kWh/m^2år, eller 20%. Det er beregnet, at der for at opnå samme dækningsgrad med solfangeren uden selektiv folie, skal anvendes et solfangerareal på ca. 39 m^2.

Det fremgår, at der er ret stor spredning på ydelsen med de forskellige solfangere. Det er således afgørende, hvilken solfanger man anvender, idet dog også prisen må tages i betragtning.

Sanyo's evakuerede solfanger er en avanceret og dyr solfanger. Den giver da også en pæn ydelse, som dog ikke står i noget rimeligt forhold til prisen. Det er fornylig på Lab.f. Varmeisolering påvist, at referencesolfangeren ved anvendelse af jernfattigt glas kan bringes op på en effektivitet, der svarer til Sanyo's evakuerede solfanger, hvorfor det synes meningsløst at anvende en så dyr og kompliceret solfanger.

Af fig. 9.41 fremgår endvidere ydelsen med referencesolfangeren med ideelt dæklag (100% transmission og 0% absorption), med ideel isoleret solfanger (intet varmetab) og med begge dele, altså den helt ideelle solfanger, der absorberer al stråling og intet taber. Den sidste giver en ydelse, der er 56% højere end referencesolfangeren, og højere kan man under de øvrige forudsætninger ikke nå.

Solindfaldet

Fig. 9.42 viser ydelsen af referenceanlægget MU beregnet med vejrdata målt i Tåstrup i årene 1959 til 1973. Der er med de målte vejrdata for hvert år beregnet et nyt varmebehov med BA4-programmet. Endvidere er der vist ydelsen beregnet med det "gamle" referenceår og det "nye" referenceår, som er blevet brugt i denne rapport. De to referenceår er nærmere beskrevet i bilag IV,

Solfanger	Type	Effektivitet				Ydelse
		η_o	K_o	K_1	K_m	
1. Reference-solfanger	et lag selektiv folie	0,85	4,5	0,015	5,1	237
2. ID116	som 1. uden folie	0,83	6,9	0,025	8,0	193
3. ID126	et lag selektiv folie	0,79	4,7	0,007	5,0	225
4. ID138	et lag selektiv kobberoxyd	0,64	4,8	0,017	5,6	180
5. ID129	et lag sortmalet	0,63	7,1	0,070	7,4	148
6. ID131	et lag selektiv nikkel	0,73	5,5	0,013	6,2	195
7. ID113	et lag selektiv nikkel	0,74	5,1	0,017	5,9	202
8. Sanyo	evakuerede rør	0,88			4,0	259
9. Som 1.	ideelt dæklag	1,00	4,5	0,015	5,1	269
10. Som 1.	intet varmetab	0,85	0	0	0	341
11. Som 1.	9. + 10.	1,0	0	0	0	371

Fig. 9.41 Ydelsen af referenceanlægget MU med forskellige solfangere.
η_o, K_o og K_1 er fra ref. 14,
K_m er værdien for en lineær kurve.

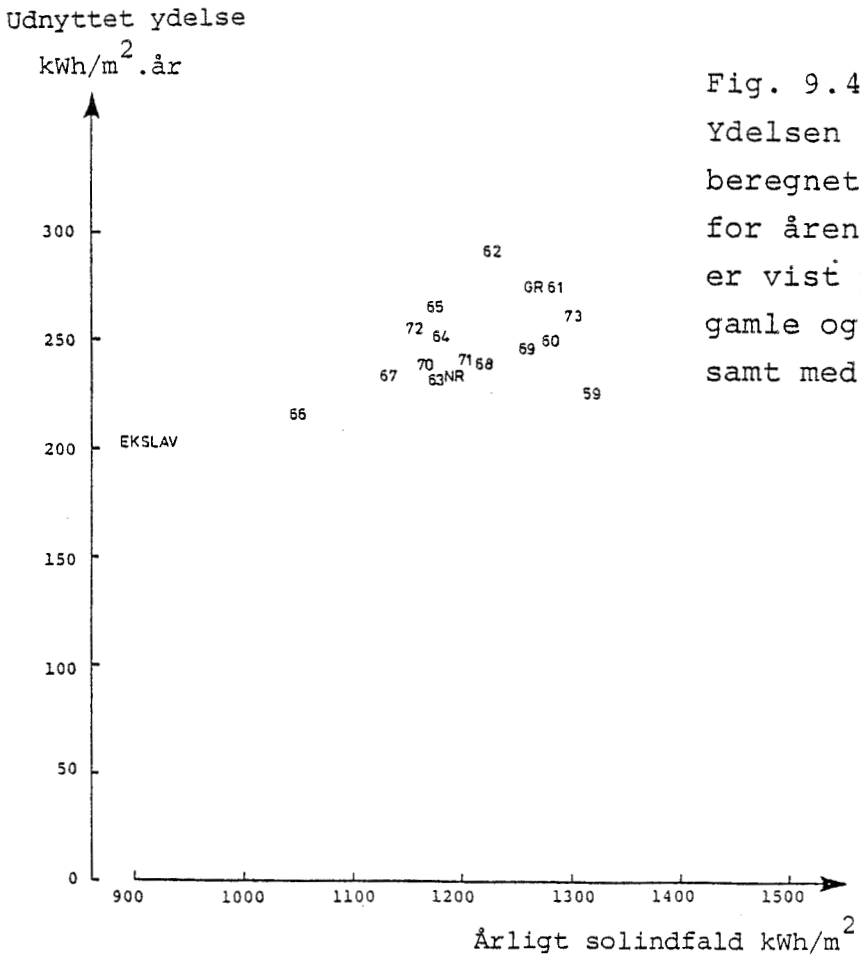


Fig. 9.42
Ydelsen af referenceanlægget MU beregnet med vejrdata (timeværdier) for årene 1959 til 1973. Endvidere er vist ydelsen beregnet med det gamle og nye referenceår (GR og NR) samt med det konstruerede år EKSLAV.

men det skal her fremhæves, at det "gamle" referenceår har et større solindfald i vintermånederne end middelværdien af de 15 år, mens det "nye" har et lavere solindfald i forårsmånederne end middelværdien. Endvidere er der vist ydelsen beregnet med et ekstremt dårligt år (EKSLAV på fig. 9.42), konstrueret på den måde, at årets 12 måneder er udvalgt ud fra de 15 års målinger, således at hver månedsværdi for solindfaldet er minimum for de 15 år, se bilag IV.

Ydelsen beregnet med de 15 års vejrdata svinger fra 216 kWh/m^2 år i 1966 til 293 kWh/m^2 år i 1962, med en middelværdi på 259. Ydelsen beregnet med det "nye" referenceår er altså 8% lavere end middelværdien, mens ydelsen beregnet med det "gamle" referenceår (277 kWh/m^2·år) er 7% højere end middelværdien.

Det fremgår af fig. 9.42 at der er en vis sammenhæng mellem det samlede årlige solindfald og anlægsydelsen, men der er i høj grad undtagelser, specielt 1959 og 1962 og det "nye" referenceår. Dette hænger sammen med at fordelingen af solindfaldet, specielt for et anlæg til rumopvarmning, har stor betydning. Således faldt det store solindfald i 1962 i sommermånederne, hvor der ikke er noget behov for opvarmning og anlægget under alle omstændigheder dækker varmtvandsforbruget. I det "nye" referenceår er solindfaldet lavt i det tidlige forår, hvor et anlæg til rumopvarmning har den største dækning af rumvarmebehovet.

For mindre brugsvandsanlæg er der en nøjere sammenhæng mellem det årlige solindfald og anlægsydelsen, og der er ikke så store variationer i ydelsen (ref. 13). Således er den laveste ydelse beregnet med de 15 års vejrdata 13% lavere end den højeste, mens det tilsvarende for anlægget til rumopvarmning er 26%.

Radiatoreksponenten

Radiatoreksponenten har som omtalt under afsnit 5.4 betydning for afkølingen over radiatorerne. Det kunne derfor tænkes, at den har indflydelse på anlægsydelsen. Imidlertid viser beregninger, at betydningen er ringe. Ved en radiatoreksponent på 2,0 stiger den varmemængde, der tilføres lageret fra kedlen (system MU) fra 6 ti 8 kWh/m^2 år, og anlægsydelsen falder med 1 kWh/m^2 år.

Gennemstrømmende væskemængde og varmevekslerstørrelse

Den gennemstrømmende væskemængde har været sat til 1,0 l/min.m^2 og varmeveksleren til 50 W/^oC pr. m^2 solfanger, uafhængig af temperaturforholdene.

Det ville være ønskeligt om væskestrømmen kunne sættes ned. Dels ville dette betyde mindre krav til styringsautomatikkens nøjagtighed, hvilket vil blive behandlet i næste afsnit, dels ville rørdimensionerne og/eller pumpestørrelsen kunne mindskes.

En mindre væskestrøm vil i princippet nedsætte absorberens F'-værdi, idet varmeovergangen mellem rør og væske vil blive lavere. Imidlertid er det kun af afgørende betydning for absorbere med store væskekanaler og stor afstand mellem kanalerne.

For absorberen på referencesolfangeren (ID ref. 14) varierer F' mellem 0,970 og 0,975 for væskestrømmen mellem nul og uendelig.

Solfangerens ydelse kan beregnes af ligningen (ref.11):

$$q_u = F' \cdot F'' \cdot F''' \cdot (S - U_L (t_s - t_a))$$

hvor =	q_u	= ydelsen	W/m^2
	F'	= absorbereffektiviteten	ubenævnt
	F''	= strømningsfaktoren	"
	F'''	= korrektionsfaktor, varmeveksler	"
	S	= absorberet energimængde	W/m^2
	U_L	= solfangerens varmetabskoefficient	W/$m^2 \cdot ^oC$
	t_s	= lagerbeholderens temperatur	^oC
	t_a	= omgivelsernes temperatur	^oC

Foruden F', der altså i almindelighed er uafhængig af strømningsmængden, indgår F'' og F'''. F'' er direkte afhængig af strømningsmængden, mens F''' mest afhænger af varmevekslerens størrelse. Det kan således lade sig gøre at kompensere for en mindre strømningsmængde ved at gøre varmeveksleren større. Fig. 9.43 viser varmevekslerens størrelse i afhængighed af strømningsmængden for konstante værdier af produktet F'·F'' ·F'''. Sættes strøm-

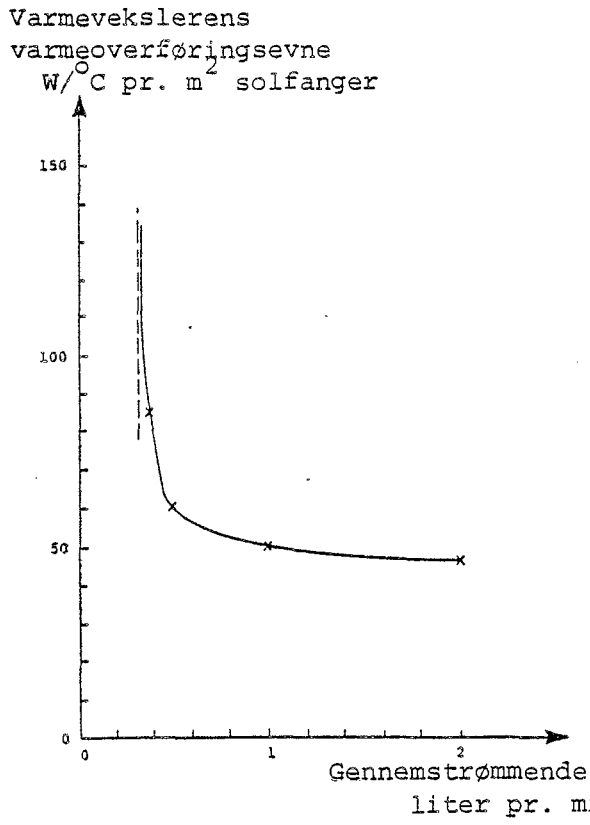


Fig. 9.43
Varmevekslerens varmeoverførings-evne som funktion af den gennem-strømmende væskemængde for kon-stant solfangereffektivitet (F'·F''·F'''). Gældende for referencesolfangeren.

Gennemstrømmende væskemængde l/min pr. m² solf.	Varmeveksler-størrelse W/°C pr. m² solf.	Ydelse kWh/m² år	Max. temp.stig-ning over solf. °C	Max. indløbstemp. til lager		Max. la temp. u kogn.si °C
				Med kogn.sikr. (88°C) °C	Uden kogn.sikr. °C	
1,00	50	237	10	101	112	107
0,50	50	235	19	105	114	106
0,50	61	237	19	104	114	107
0,40	85	237	24	105	115	107
0,25	50	230	36		119	105
0,25	61	230	37		119	105
0,25	85	231	37		119	105
0,25	150	231	37		119	105

Fig. 9.44 Ydelsen af referenceanlægget MU i afhængighed af varmevekslerstørrelse og gennemstrømmende væskemængde. Samt den maximalt forekommende temperaturstigning over solfangeren og den maximalt forekommende temperat i solfangerkredsen.

ningsmængden ned til 0,5 l/min·m^2 skal varmeveksleren forøges fra 50 til 62 W/^oC·m^2, ved 0,4 l/min·m^2 skal varmeveksleren være 85 W/^oC m^2 og ved 0,35 l/min m^2, kan der ikke mere kompenseres helt med varmeveksleren, den skal være uendelig stor.

Fig. 9.44 viser ydelsen for forskellige kombinationer af strømningsmængde og varmevekslerstørrelse. Endvidere er der anført den maximale temperaturstigning over solfangeren, samt den maximale temperatur, der opnås i solfangerkredsen, dels med en øvre grænse på lagerbeholderens temperatur (kogningssikring), dels uden.

Sættes strømningsmængden ned til 0,5 falder ydelsen fra 237 til 235, ved 0,25 bliver ydelsen 130 kWh/m^2 år. Som det fremgår, kan ydelsen ikke igen forøges, når strømningsmængden kun er 0,25 l/min pr. m^2,uanset hvor stor varmeveksleren er.

Temperaturstigningen over solfangeren stiger med tilnærmelse proportionalt med strømningsmængden. Ved 0,5 l/min ·m^2 er den maximale temperaturstigning 19^oC, men denne forekommer ved lave lagertemperaturer, ved høje lagertemperaturer er temperaturstigningen langt mindre og den maximale temperatur i solfangerkredsen bliver ikke meget højere ved en sænkning af strømningsmængden. Det vil således ikke give nogen væsentlig højere temperaturbelastning af solfangerkredsen at sænke strømningsmængden.

Udfra et effektivitetssynspunkt er der således ikke noget til hinder for at sætte den gennemstrømmende væskemængde til 0,5 l/min m^2, idet man da må drage omsorg for, at den ikke falder væsentligt derunder, f.eks. ved tilstopning af filtre m.v.

Start- og stopdifferencen

Indstillingen af start- og stopdifferencen har en væsentlig indflydelse på anlægsydelsen og strømningsmængden i solfangerkredsen og solfangerens varmekapacitet har stor betydning i denne forbindelse.

I beregningerne er det den "faktiske" start- og stopdifferens, der indgår.Denne behøver ikke at være identisk med den,der indstilles på styringsrelæet. Dels er der en usikkerhed på elektronikken,fx. følerens nøjagtighed,og dels kan føleren være anbragt,

så den ikke præcist måler de ønskede temperaturer. Det vil derfor være af betydning,at der er et vist spillerum til disse uundgåelige unøjagtigheder.

For at kunne forstå betydningen af start- og stopdifferencen kvalitativt, må man gøre sig klart at:

1) Ved en positiv startdifferens vil solfangerpumpens start forsinkes en vis tid afhængig af solfangerens varmekapacitet,- det varer en vis tid inden absorberen er varmet op. Når pumpen starter har absorberen så at sige en opsparet energimængde, som i begyndelsen af driftsperioden vil blive overført til lagerbeholderen. Udbyttet vil blive mindre som følge af et større varmetab, endvidere vil det forekomme, at pumpen slet ikke går igang, idet absorberen aldrig når den nødvendige temperatur. Driftstiden og antallet af pumpestart vil blive lavere.

2) Ved en negativ startdifferens vil pumpen starte for tidligt, absorberen vil blive varmet op og lageret køles. For så vidt stopdifferencen er lavere end startdifferencen, vil pumpen kun sjældent nå at stoppe ud på natten, når afkølingen over solfangeren bliver stor. Pumpen vil næsten køre hele tiden, og ydelsen vi være meget strømningsafhængig, idet pumpen vil stoppe tidligere ved lavere strømningsmængde.

3) Ved en positiv stopdifferens vil pumpen stoppe for tidligt. Derefter vil absorberens temperatur stige indtil den når op over startdifferencen osv. indtil solindfaldet bliver så lavt, at absorberen ikke mere når over startdifferencen. Driftstiden bliver mindre og antallet af start bliver større, men ydelsen falder ikke væsentligt. Dette viser sig især ved stor strømningsmængde, hvor absorbertemperaturen hurtigere når ned under stopdifferencen

4) Ved en negativ stopdifferens vil pumpen køre videre indtil afkølingen over solfangeren bliver så stor, at temperaturfaldet over absorberen når ned under stopdifferencen. Ved tilstrækkelig lav stopdifferens vil dette aldrig ske, og pumpen vil køre hele tiden. Ved lav strømningsmængde vil afkølingen blive større, og pumpen vil stoppe tidligere.

Fig. 9.45 viser ydelsen for anlægget MU med konstant startdifferens på 6°C for varierende stopdifferens med en strømningsmængde på 1,0 og 0,5 l/min m^2. Figuren viser, at ydelsen ikke falder væsentligt ved en positiv stopdifferens, især ikke for den lave strømningsmængde. Derimod falder ydelsen væsentligt ved en stopdifferens på -2°C for den store strømningsmængde, og ved -3°C for den lille strømningsmængde bliver ydelsen meget lav.

Fig. 9.46 viser ydelsen i afhængighed af startdifferencen for konstant stopdifferens. Ved en stopdifferens på 0°C falder ydelsen ikke væsentligt, selv om startdifferencen bliver meget høj og her har strømningsmængden ingen særlig betydning. Ved en stopdifferens på 4°C og -4°C er ydelsen næsten uafhængig af startdifferencen, og det genfindes at ydelsen bliver lavest ved negativ stopdifferens og stor gennemstrømningsmængde.

Ovenstående beregninger gælder for en varmekapacitet for solfangeren på 15 kJ/°C m^2. Ved en højere varmekapacitet vil det tage længere tid at varme solfangeren op, og startdifferencen vil få lidt større betydning. Fig. 9.47 viser ydelsen i afhængighed af solfangerens varmekapacitet for en startdifferens på 12°C og 6°C. Det ses, at betydningen af varmekapaciteten kun afhænger lidt af startdifferencen.

Ud fra ovenstående må det anbefales at anvende en startdifferens på 5-10°C for almindelige lette solfangere. Ved en lavere startdifferens opnås kun en længere driftstid og flere start og stop af pumpen.

Stopdifferencen er meget mere kritisk og må ikke blive negativ. Det må derfor anbefales,for at tage højde for usikkerheden at sætte den på 1 - 2°C, da det ydermere ikke betyder så meget for ydelsen,at stopdifferencen er positiv.

For en strømningsmængde på 1,0 l/min m^2 kan stopdifferencen ligge mellem -1 og 2°C, uden at ydelsen falder væsentligt. For 0,5 l/min m^2 kan den tilsvarende ligge mellem -1 og 4°C. Man får således et væsentligt større spillerum ved at sætte strømningsmængden ned, hvorfor dette må anbefales.

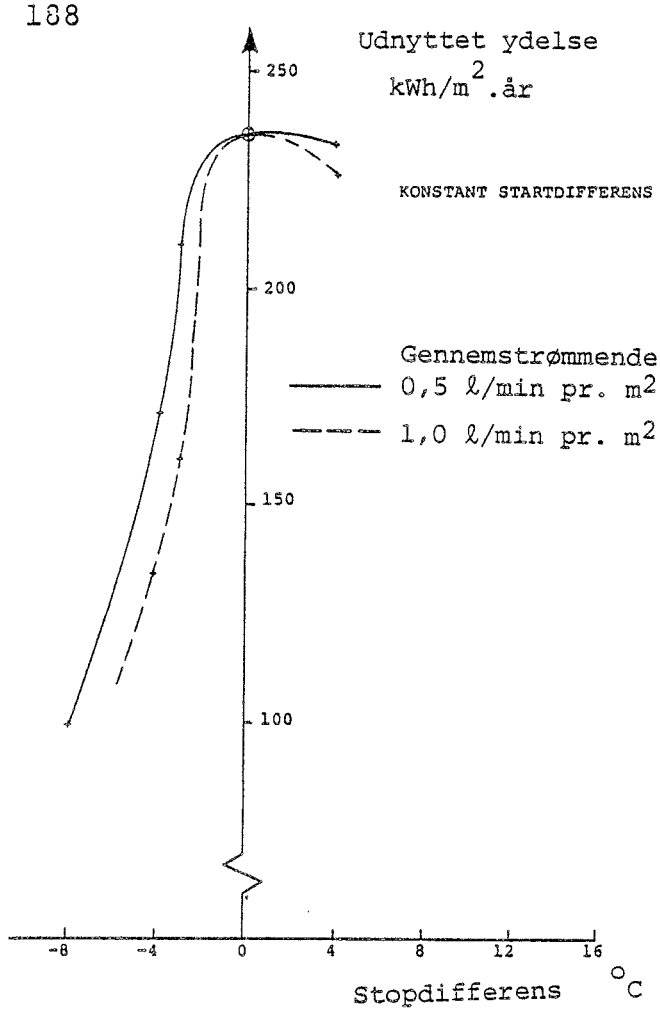


Fig. 9.45
Ydelsens afhængighed af stopdifferencen og den gennemstrømmende væskemængde for referenceanlægget MU.
Konstant startdifferens 6°C.

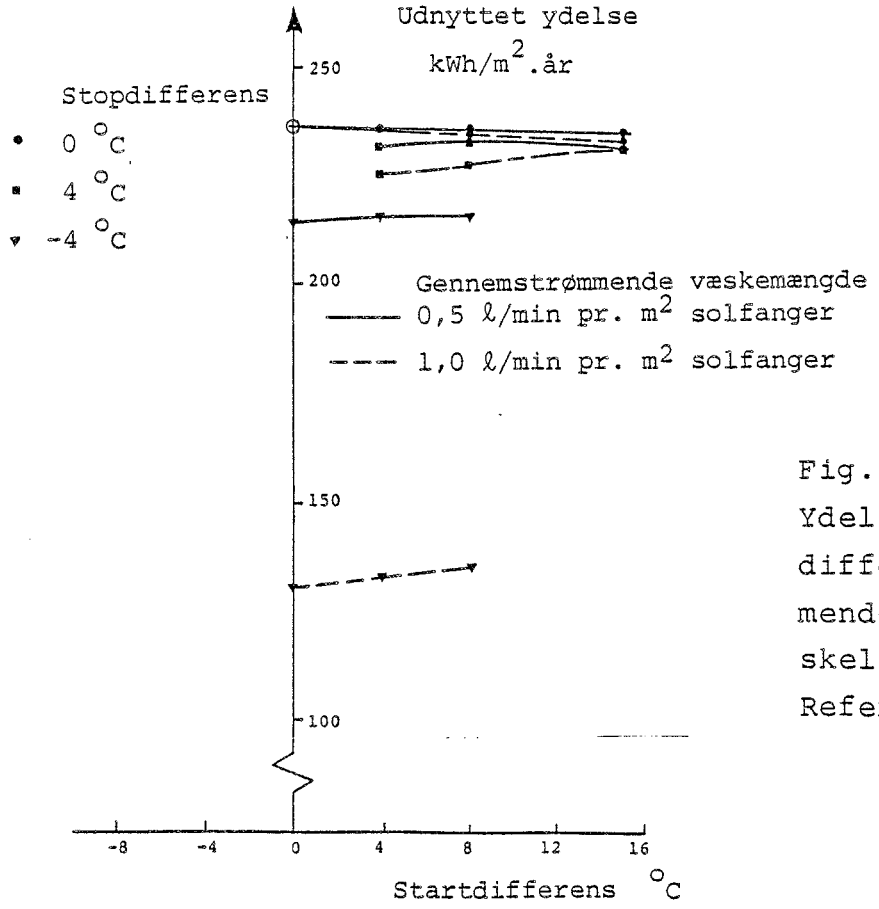


Fig. 9.46
Ydelsens afhængighed af startdifferencen og den gennemstrømmende væskemængde for forskellige stopdifferencer.
Referenceanlægget MU.

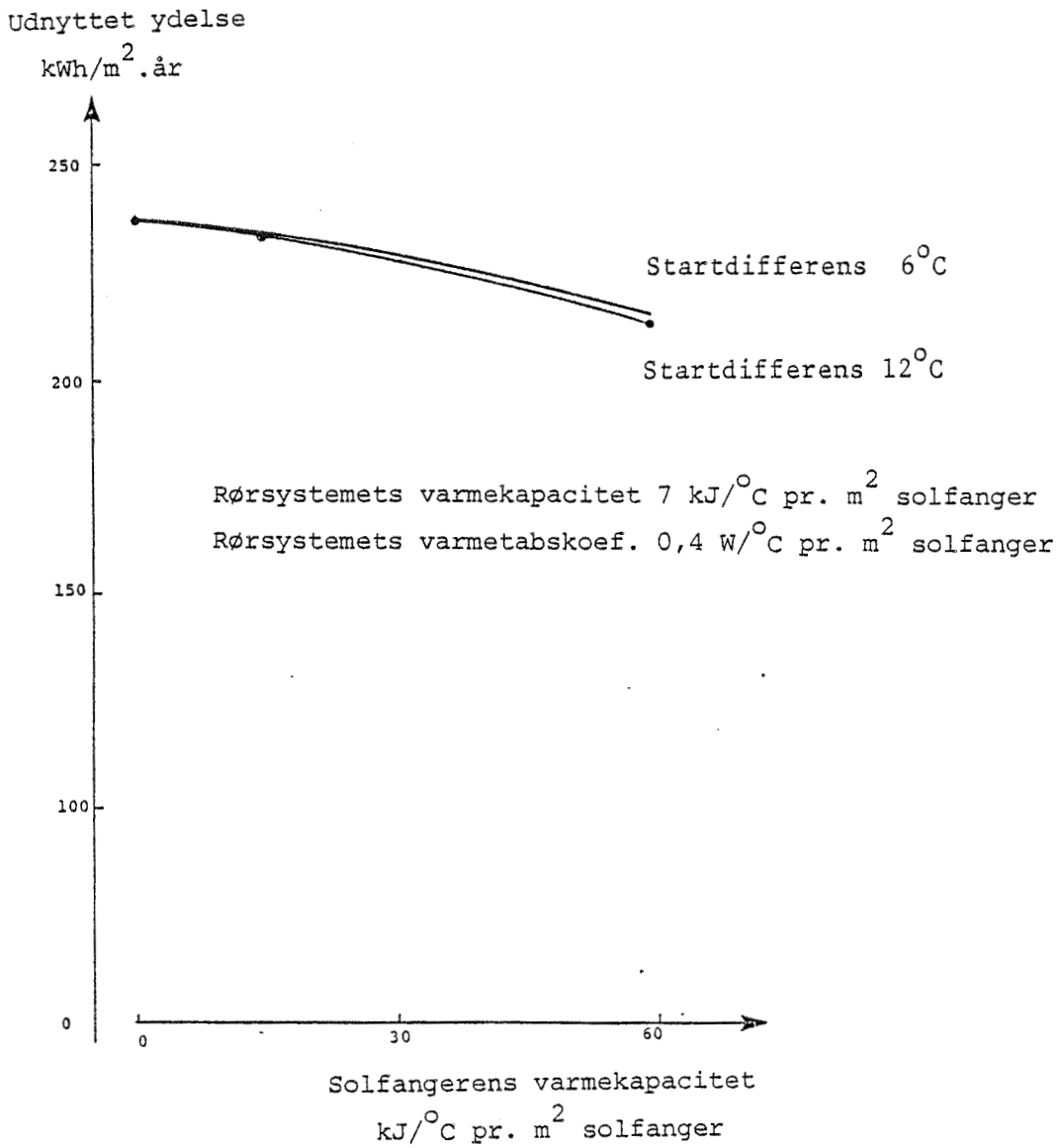


Fig. 9.47 Ydelsen for referenceanlægget MU i afhængighed af solfangerens varmekapacitet for startdifferencen 6°C og 12°C.

9.11 Teoretisk optimal regulering af varmeanlægget

I kapitel 9.5 blev det beregnet hvor meget ydelsen af et 25 m^2 solvarmeanlæg kunne blive for forskellige systemløsninger og for forskellige reguleringsformer af varmeanlægget. Det, der gav den højeste ydelse med en given varmeflade, var systemet med automatisk omkobling af radiatorreturen og regulering af fremløbstemperaturen efter udetemperaturen (udekompensering) i kombination med radiatortermostater.

Efter dette system fastlægges fremløbstemperaturen entydigt efter udelufttemperaturen således, at der vælges en ikke for høj fremløbstemperatur. Denne behøver ikke at være den optimale for solvarmeanlægget, forstået på den måde at solvarmeanlæggets bidrag til rumopvarmningen måske kunne være større ved en anden fremløbstemperatur.

Er fremløbstemperaturen f.eks. 35°C, returtemperaturen 30°C og temperaturen i lagerbeholderen 25°C, vil solvarmeanlægget ikke bidrage til opvarmningen. Hvis fremløbstemperaturen hæves,vil returtemperaturen falde,og solvarmeanlægget vil give et bidrag. Hæves fremløbstemperaturen for meget,vil den gennemstrømmende væskemængde falde så meget,at solvarmeanlæggets bidrag igen aftager.

I tilfælde af stort bidrag af gratisvarme kan reguleringen med udekompensering og radiatortermostater give en meget lav returtemperatur. Er f.eks. fremløbstemperaturen 40°C, returtemperaturen 22°C og lagertemperaturen 35°C, vil solvarmeanlægget dække 72% af varmeforbruget. Sænkes fremløbstemperaturen til 35°C,kan det pågældende varmebehov stadig dækkes, returtemperaturen bliver 23°C,og solvarmeanlægget dækker 100% af varmebehovet.

Det gælder, at der til hvert sæt af varmebehov og lagertemperatur findes en optimal fremløbstemperatur, som altså er den fremløbstemperatur, hvor solvarmeanlæggets ydelse mht. rumopvarmning er maximal, og samtidig hele varmebehovet kan dækkes. Reguleres varmeanlægget efter dette, fås for en given varmeflade den maximale ydelse af solvarmeanlægget mht. rumopvarmning.

Fig. 9.48 viser ydelsen af anlægget på fig. 9.8, dels med regulering efter udelufttemperaturen (kurve 2) og dels med den optimale regulering (kurve 3 og 4). Det er ikke i denne forbindelse blevet undersøgt, hvorledes en sådan regulering i praksis kunne lade sig gøre, og om det overhovedet er muligt. Endvidere er der vist ydelsen af anlægget med separate radiatorer til solvarme (kurve 1). Det er her forudsat, at det er muligt at dække 100% af varmebehovet med solvarme, hvis lagerbeholderens temperatur er høj nok, svarende til at der er anbragt en solvarmeradiator i hvert rum.

Det fremgår af figuren, at den optimale regulering giver en merydelse på 2 til 4% i forhold til regulering efter udetemperaturen. Det må da konkluderes, at regulering efter udelufttemperaturen ligger tæt på det optimale, og kun i forbindelse med store anlæg og hvis den optimale styring kan tilvejebringes for en ringe ekstra investering, vil det kunne svare sig at anvende en sådan regulering.

I beregningen af ydelsen med de separate radiatorer (kurve 1) er der regnet med en høj gennemstrømmende vandmængde, således at ydelsen angiver den maximale ydelse, der kan fås for en given varmeflade, når denne alene bruges til solvarme og er fordelt i huset, så den kan varme hele huset op. Når kurve 1 ligger højere end kurve 2, 3 og 4 skyldes det, at en del af varmefladen i forbindelse med kurve 2, 3 og 4 så at sige anvendes af den primære varmekilde.

For meget store varmeflader bliver ydelsen i alle tilfælde 255 kWh/år pr. m^2 solfanger, der altså under de givne forudsætninger (herunder fuld opblanding i lagerbeholderen) er det maximale, der kan opnås.

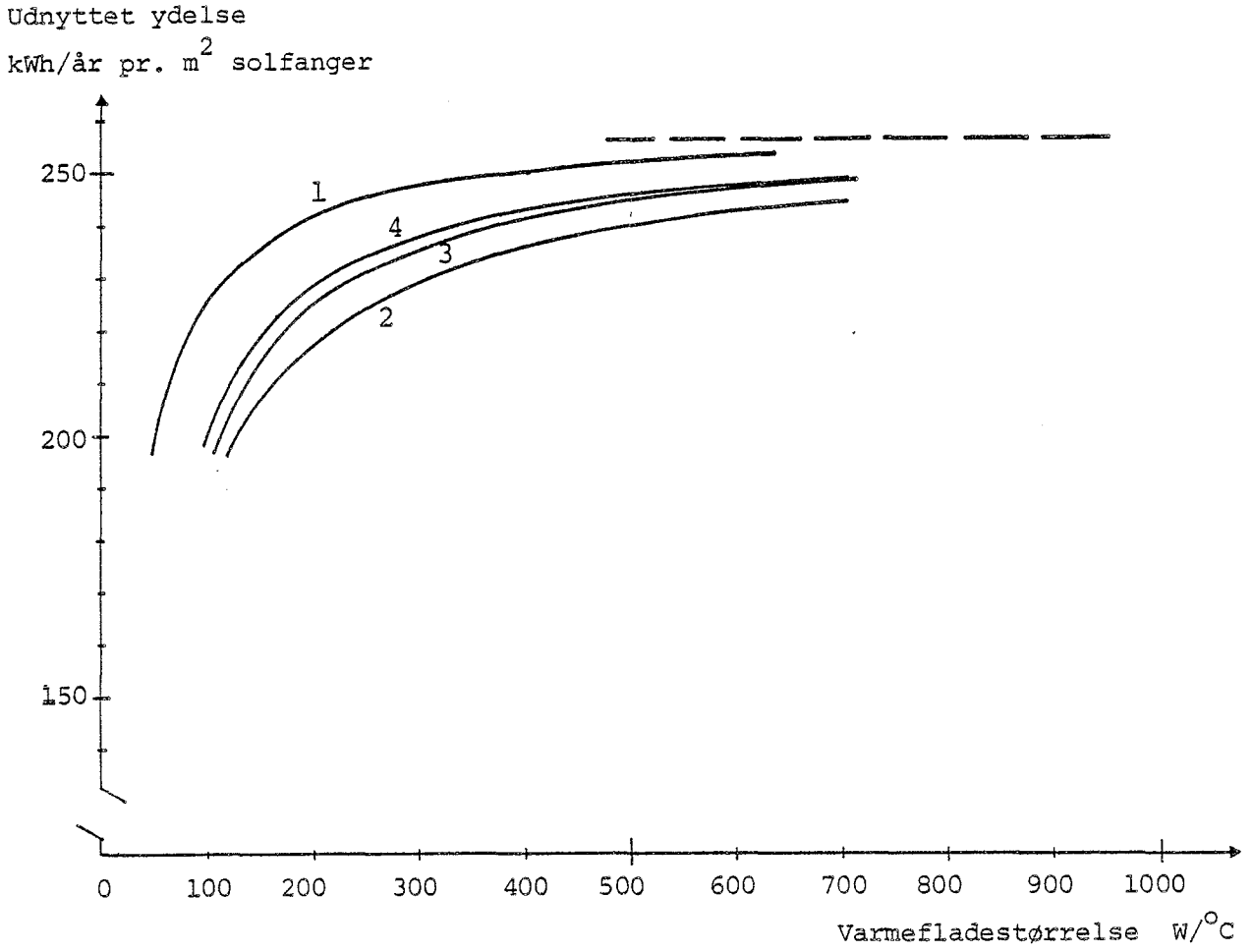


Fig. 9.48 Ydelsen af et 25 m^2 anlæg med teoretisk optimal regulering af varmeanlægget.
Forbrug til rumopvarmning 14100 kWh/år
Forbrug til varmt brugsvand 3400 -

1 - Anlæg med separate radiatorer til solvarme. Hele varmefladen bruges til solvarme. 100% dækning mulig hvis lagertemperaturen er høj nok (solvarmeradiatorer i alle rum).

2 - Anlægget fig. 9.8 med udekompensering, radiatortermostater og automatisk omkobling af radiatorreturen. Dimensionerende afkøling 5 til 20°C.

3 - Som 2, med optimal regulering af fremløbstemperaturen. Dimensionerende afkøling 5 til 20°C.

4 - Som 3, med dimensionerende afkøling 1°C, svarende til meget stor gennemstrømning.

10 AFSLUTNING

10.1 De målte ydelser

De målte ydelser af anlæggene i Greve og Gentofte har været mindre end forventet. Den nyttiggjorte ydelse af anlægget i Greve var i første måleår 83 kWh/m^2·år, i andet måleår 108 kWh/m^2·år. Dækningsgraden var henholdsvis 22% og 28%. De tilsvarende ydelser af anlægget i Gentofte var 89 og 91 kWh/m^2·år, med dækningsgraderne 12% og 14%.

Ud fra ydelsen er den sparede energimængde, under hensyntagen til sparet tomgangstab og elforbrug til pumper, beregnet til 107 kWh/m^2·år for anlægget i Greve og 174 kWh/m^2·år for anlægget i Gentofte - begge værdier er gennemsnit for de to måleår. Omregnet til sparet oliemængde bliver besparelsen henholdsvis 13,5 liter og 23,4 liter pr. m^2 solfanger pr. år. Værdien for anlægget i Gentofte gælder for det gamle oliefyr, som blev udskiftet sidst i måleperioden. For det nye fyr ville oliebesparelsen have været ca. 17 liter pr. m^2 solfanger pr. år.

10.2 Anlægget i Greve

For anlægget i Greve var der forventet en dækningsgrad på omkring 50% i forhold til de målte 28%. Forskellen ligger hovedsageligt i tre forhold. Rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder er i Greve ret stort, og betydningen for ydelsen af dette har været større end forventet. Det er påvist, at rørsystemet kunne have været udført mere hensigtsmæssigt. Endvidere var solfangeren, der blev benyttet, ikke så effektiv som forventet, og den er langt fra så effektiv som f.eks. solfangeren på BV300 anlægget, se ref. 13. Desuden har forbruget til varmt brugsvand ikke været så stort som forventet.

Et solvarmeanlæg som det i Greve opført med en bedre solfanger og et mere hensigtsmæssigt rørsystem, ville med det målte forbrug, give en ydelse på omkring 140 kWh/m^2·år, svarende til en dækningsgrad på 40%. Det er i rapporten påvist, at det kan betale sig at dimensionere opvarmningssystemet efter

en lavere fremløbstemperatur end i Greve. Med dette ville ydelsen blive 160 kWh/m^2·år, svarende til en dækningsgrad på 46%.

10.3 Anlægget i Gentofte

I Gentofte var der ligeledes forventet en væsentlig højere ydelse end den målte. At ydelsen blev så lav skyldes hovedsageligt, at der har været et atypisk forbrugsmønster til rumopvarmning og at radiatorerne er ret små.

Forbruget til rumopvarmning har været lavt, idet beboerne ikke stiller krav om særlig høje rumtemperaturer. Af samme årsag har der næsten ikke været noget behov for rumopvarmning i forårs- og efterårsmånederne, hvor solvarmeanlæg til rumopvarmning yder mest. Endvidere har forbrugsfordelingen over døgnet været meget svingende, idet der har været anvendt natsænkning (afbrydelsen af cirkulationspumpen), og idet en del rum kun har været opvarmet i kortere perioder. Dette har bevirket, at returtemperaturen fra radiatorsystemet har været meget høj, hvilket har reduceret solvarmeanlæggets ydelse. Den valgte systemløsning med manuel omkobling af radiaturreturen har vist sig at være uhensigtsmæssig i forbindelse med de små radiatorer (dimensioneringstilstand t_{frem}/t_{retur} = 80/56). Se afsnit 10.4.

Det må således konkluderes, at anlægget i Gentofte er for stort til det aktuelle forbrugsmønster, og at systemløsningen ikke er egnet i forbindelse med den aktuelle radiatordimensionering.

Det er beregnet, at et solvarmeanlæg på huset i Gentofte, opført efter et princip med en separat radiator til solvarme og med et solfangerareal på kun 10 m^2 (selektiv absorber), med det målte forbrug, ville give samme dækninsggrad som målt og en ydelse på 250 kWh/m^2·år.

10.4 Solvarmeanlæg til rumopvarmning

Beregningerne med den verificerede EDB-model viser, at ydelsen af solvarmeanlæg til rumopvarmning er mere afhængig af opvarmningssystemet end den tidligere antaget, hvor det ofte blev nævnt, at hvis opvarmningen kunne klares med en lav fremløbstemperatur var den høje ydelse sikret. Der er som følge heraf i rapporten foretaget en omfattende analyse af solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand med forskellige solvarmesystemer og opvarmningssystemer.

I beregningerne undersøges forskellige løsningsmuligheders følsomhed over for forbrugsmønster (herunder natsænkning og delvis opvarmning af huset), radiatordimensionering, regulering af varmeanlægget mv. Det har været hensigten at afgrænse de systemer, der er enkle, lette at projektere og med en høj ydelse, der er relativt uafhængig af forbrugsmønstret og mindre projekteringsfejl. Systemerne må desuden ikke forudsætte et kompliceret og dyrt styresystem, der dels kan installeres forkert, dels fungere forkert og som det kan være svært for brugeren at forstå og indstille korrekt.

Der er endvidere foretaget en analyse af den økonomisk optimale radiatordimensionering (varmefladestørrelse , dimensionerende afkøling). Denne peger på, at det kan svare sig at anvende ret store varmeflader. Ud over dette er der ikke foretaget beregninger vedrørende økonomi, men rapporten fremlægger et talmateriale, der vil være et godt udgangspunkt for sådanne beregninger.

Som et resultat af undersøgelserne peges der på to systemløsninger, der lever op til de nævnte krav.

Konstant fremløbstemperatur

Det ene system svarer til anlægget i Greve, hvor der dog ikke anvendes udekompensering og automatisk omkobling af radiatorreturen. Fremløbstemperaturen skal være konstant og med den foreslåede radiatordimensionering (40/26, se afsnit 9.6) vil returtemperaturen altid være så lav, så det ikke er nødvendig at koble om på radiatorreturen. Den eneste styring er den konstante fremløbstemperatur og radiatortermostaterne.

Separat radiator til solvarme

Det andet system bygger på den ide at anvende separat radiator til solvarme, idet solvarmen alligevel det meste af året er et supplement til rumopvarmningen. Denne radiator "kører" hele tiden på lagerbeholderen - reguleringen af varmeafgivelsen klares ved hjælp af de resterende radiatorer. Dette system giver ydelser, som kun er lidt mindre end de, der opnås med det oven for nævnte og under anvendelse af en mindre samlet varmefladestørrelse. Endvidere er systemet det enkleste og mulighederne for fejlfunktioner mv. er meget små. Det er desuden velegnet til installation i eksisterende huse, idet det eksisterende opvarmningssystem ikke betyder noget for solvarmeanlæggets ydelse.

Gulvvarme

Vedrørende gulvvarmesystemer i forbindelse med solvarme er det blevet påvist, at det ekstra varmetab, der opstår som følge af det opvarmede gulv (hvis det ikke er en etageadskillelse), bliver ret stort, således at det er nødvendigt at isolere gulvet under gulvslangerne mere end ved anvendelse af radiatorer. Ved at forøge isoleringstykkelsen med 50% fås samme varmetab.

Det vil ikke kunne svare sig at installere gulvvarme af hensyn til solvarmeanlægget uden en forøget isolering af gulvet, idet det ekstra varmetab udgør 25% af solvarmeanlæggets ydelse for et 15 m^2 anlæg. Ydelsen af anlægget bliver den samme som for anlægget med konstant framløbstemperatur dimensioneret efter 40/26.

Anvendelse af natsænkning

Ved natsænkning (afbrydelse af varmeanlægget fra kl 23 til kl faldt varmebehovet for et BR77-hus fra 14100 til 12200 kWh/år. Samtidig faldt solvarmeanlæggets ydelse fra 237 til 211 kWh/år pr. m^2 solfanger (25 m^2 anlæg, se fig. 9.19).

Det betyder, at man ved natsænkning reducerer varmebehovet med 1900 kWh/år, mens solvarmeanlæggets ydelse reduceres med 650

kWh/år, således at den reelle besparelse bliver 1250 kWh/år. Besparelsen ved anvendelse af natsænkning i forbindelse med solvarme reduceres altså med ca. 1/3.

Ved mindre anlæg (15 m^2) vil reduktionen blive mindre.

Anlægsstørrelse

Et brugsvandsanlæg som BV300 (ref. 13) dækker omkring 60% af forbruget til varmt brugsvand. Med de i rapporten benyttede varmebehov svarer dette for et normalt parcelhus isoleret efter kravene i bygningsregelement 77 (BR77) til ca. 12% af det samlede varmeforbrug. Gøres brugsvandsanlægget større falder ydelsen pr. m^2 solfanger og dermed rentabiliteten væsentligt.

Skal der opnås en højere dækning af det samlede varmeforbrug, er det nødvendigt at opføre anlæg, der foruden brugsvandet også supplerer rumopvarmningen. Brugsvandsanlægget BV300 på 5,4 m^2 solfanger yder ifølge beregninger med det nye referenceår ca. 390 kWh/m^2·år. Et kombineret anlæg på 15 m^2 vil på et BR77-parcelhus yde omkring 300 kWh/m^2·år, svarende til en dækningsgrad mht. det samlede varmeforbrug på 26% mod brugsvandsanlæggets 12%. Et anlæg på 25 m^2 vil yde omkring 230 kWh/m^2·år og dække 33%. I forbindelse med lavenergihuse kan der opnås tilsvarende ydelser og dækningsgrader ved et lavere solfangerareal. De her nævnte ydelser er nettoydelser - eventuelt sparet tomgangstab er altså ikke medregnet.

En del af udgifterne ved opførelse af solvarmeanlæg er ikke afhængig af solfangerarealet, således at et større anlæg kan opføres til en lavere pris pr. m^2 solfanger. Med de her fundne systemløsninger til solvarmeanlæg til rumopvarmning vil der ikke være ret store ekstraudgifter til sammenkobling af solvarmeanlægget med det primære varmeanlæg, og ekstraudgiften til evt. større radiatorer er beskeden. Rentabiliteten forstået som ydelse pr. investeret krone kan derfor sandsynligvis blive lige så god for de kombinerede anlæg som for de små brugsvandsanlæg. Endvidere vil et mellemstort

kombineret anlæg bevirke, at den primære varmekilde (oliefyret) kan afbrydes i en periode på næsten et halvt år, med deraf følgende større besparelse af tomgangstab. Desuden er der større muligheder for at billiggøre et større anlæg end et lille brugsvandsanlæg.

Det er derfor et spørgsmål, om fremtiden for anvendelse af solvarme i Danmark ikke snarest ligger i mellemstore kombinerede anlæg end i små brugsvandsanlæg, som der i dag bygges flest af. En sådan udvikling vil føre til, at solvarmeanlæg til rumopvarmning på længere sigt kunne dække en betydelig del af landets varmebehov - især hvis det, som anført for systemet med den separate radiator til solvarme, kan blive attraktivt at installere kombinerede anlæg i eksisterende huse.

Nye systemer

Der har i denne rapport kun været behandlet opvarmningssystemer med vand som varmetransporterende medie. I forbindelse med luftvarmesystemer er der en teoretisk mulighed for at opnå højere ydelser i forbindelse med varmegenvinding, hvorved solvarmen kan give et bidrag til rumopvarmningen selv om temperaturen i lagerbeholderen er lavere end rumtemperaturen.

En anden mulighed for at opnå højere ydelser end her beregnet, er at udnytte temperaturlagdeling i lagerbeholderen. Dette har i forbindelse med brugsvandsanlæg vist sig at give en forøgelse i ydelsen på omkring 10%. Det har i denne rapport været forudsat at lagerbeholderen var helt opblandet (samme temperatur overalt). En nærmere undersøgelse heraf er vanskelig at foretage beregningsmæssigt, og det ville være naturligt, som en forløber til et demonstrationsprojekt med et kombineret anlæg, at foretage undersøgelser heraf ved korttidsmålinger på forsøgsanlæg i en laboratorieopstilling.

11. KONKLUSION

1. Der er udført målinger på to solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand over en 2-årig periode. Anlæggene er opført som demonstrationsanlæg på henholdsvis et nyt parcelhus i Greve og et ældre parcelhus i Gentofte.

   Målinger på anlæggene viser, at ydelserne er en del mindre end forventet. De detaljerede målinger har imidlertid gjort det muligt at analysere årsagerne til de mindre ydelser, der bl.a. skyldes:

   - Solfangerens effektivitet
   - Rørsystemets udformning
   - Lagerbeholderens placering
   - Forbrugets størrelse i forhold til anlægsstørrelsen og forbrugets fordeling over året.

2. Målingerne har endvidere - udover at belyse årsagerne til de mindre ydelser - været grundlag for en række EDB-beregninger, der belyser den indflydelse forskellige ændringer af systemudformningen vil få på anlæggenes ydelse. Som grundlag for disse beregninger indgår endvidere resultater fra den positive udvikling, der er sket indenfor brugsvandsområdet.

3. Ud fra de gennemførte målinger og beregninger ville solvarmeanlæg udført i dag på de samme to huse - på grundlag af dagens viden og erfaring - få en væsentlig højere ydelse end de eksisterende.

   Med uændret dækningsgrad ville anlægget i Greve i dag blive 15 m^2 (mod 50 m^2) og for Gentofte 10 m^2 (mod 28 m^2).

   Der er således tale om en reduktion af anlægsstørrelsen til ca. en trediedel, forudsat samme dækningsgrad. Dette må betegnes som en meget positiv udvikling. I det videre projektforløb vil dette blive søgt dokumenteret ved måling på nye demonstrationsanlæg.

4. For nye solvarmeanlæg til rumopvarmning forventes, på grundlag af målinger på anlæggene i Greve og Gentofte samt beregninger, følgende ydelser:

	Solfanger m^2	Dækningsgrad %	Ydelse $kWh/m^2.år$
Nyt "Greve-anlæg"	15	26	300
(nyt parcelhus)	25	33	230
Nyt "Gentofte-anlæg" (ældre parcelhus)	10	13	250

5. Tages der hensyn til oliefyrets effektivitet og sparet tomgangstab ved afbrydelse af oliefyr fås følgende besparelser i liter olie pr. år pr. m^2 solfanger. Tomgangstabet for at ældre og et nyt oliefyr er sat til henholdsvis 600 og 350 W.

		Besparelse:	
	solfanger m^2	Ældre fyr $l/m^2 \cdot år$	Nyt fyr $l/m^2 \cdot år$
Greve	15	60	42
"	25	43	33
Gentofte	10	56	40

12. REFERENCER

1. Jørgensen, L.S. & Mikkelsen Sv.E. & Kristensen, P.E.: Solvarmeanlæg i Greve, årsrapport. Energiministeriets solvarmeprogram, rapport nr. 6. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 102, juli 1980.

2. Mikkelsen, Sv.E. & Jørgensen, L.S. & Kristensen, P.E.: Solvarmeanlæg i Gentofte, årsrapport. Energiministeriets solvarmeprogram, rapport nr. 3. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 96, februar 1980.

3. Kristensen, P.E. & Nielsen, C. & Svendsen, S: Rapport vedrørende prøvning af solfangere. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 74, januar 1978.

4. Andersen, B. & Eidorff, S. & Lund, H. & Pedersen, E. & Rosenørn, S. & Valbjørn, O.: Vejrdata for VVS-tekniske beregninger. Referenceår. SBI-rapport 89, 1974.

5. Andersen, B. & Eidorff,S. & Lund,H. & Hallgreen,L. & Rosenørn,S. & Valbjørn,O.: Dansk referenceår TRY. Vejrdata for VVS og Energi. SBI-rapport. Forventes at udkomme i slutningen af 1981, som erstatning for ref.4.

6. Rapport 1 over: Vandvarmeovnes varmeydelse. Varmeteknik, Teknologisk Institut, oktober 1977.

7. Lawaetz,H: Solindfald og solvarmeanlæg, målt og beregnet. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 106, oktober 1980.

8. Klein,S.A.: The effects of Thermal Capacitance upon the Performance of Flat-plate Solar Collectors. University of Wisconsin, 1973.

9. Lawaetz,H. & Jørgensen,L.S.: Dimensionering af et solvarmesystem til et typehus, Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Teknikse Højskole. Meddelelse nr. 63, august 1977. Artikel i Varme, oktober 1977.

10. Lund,H.: Program BA4 til beregning af rumtemperaturer og varme- og kølebehov. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 46, 1976.

11. Solvarme. Vejledning i projektering og udførelse af anlæg, 2. udgave. Varmeteknik. Teknologisk Institut, april 1980.

12. Vedvarende energi, elvarme m.v. i varmeforsyningsplanlægningen. Bilag til tredie delbetænkning fra Energiministeriets Varmeplanudvalg. Energiministeriet, april 1980.

13. Ellehauge,K. & Jørgensen, L.S. & Lange, M.& Mikkelsen, Sv.E. & Nielsen,C.: To solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af anlæggene. Energiministeriets solvarmeprogram, rapport nr. 12. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 104, december 1980.

14. Svendsen,S.: Effektivitetsprøvning af solfangere. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 107, november 1980.

15. Sørensen, L. Halling & Wowern, H. v.: VVS ståbi. Teknisk forlag 1980.

16. Svendsen,S.: Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for Solteknik. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 81-1, januar 1981.

17. Duffie,John A. & Beckman,William A.: Solar Engineering of Therman Processes. John Wiley & Sons, New York 1980.

13 SUMMARY

This is the final report concerning monitoring of the solar systems in Greve and Gentofte during a period of two years. Both systems are development and demonstrations projects within the Solar Energy Programme of the Ministry of Energy.

The report describes the two houses, the heating installations and the solar systems both of which are used for space heating and domestic hot water. Further the system controlling the emission of heat in the house is described.

The measurements of the two years are given as monthly values. Based on the measurements the curves of efficiency of the two solar collectors are recorded. The result of this investigation is that the function of the collectors has been satisfactory, although the curves are somewhat lower than the curves of efficiency of the collectors used today. Also the heat loss of the two storage tanks has been determined based on the measurements. Finally the amount of energy saved is calculated.

The extensive monitoring programme and the frequent inspection of the systems have given a great deal of experiences. Part of these are shown in chapter 4, while others are accounted for in connection with special conditions or as a result of subinvestigations. During the monitoring period the experience gathered has been used partly as basis for general information concerning solar heating systems, and partly in connection with other projects within the Solar Energy programme of the Ministry of Energy.

From the existing computer simulation programme at the Thermal Insulation Laboratory a model, which simulates the two systems, has been developed. The model is validated by means of the measurements, mostly with data collected from Greve, because this system has proved to be more suitable. By adding

a few subprogrammes, which simulate the heating installation in more details, a good agreement was achieved between measured and calculated values what regard both heat gain, percentage of solar, heat loss and hours of operation.

The computer model is used for an analysis of the two systems. The project in Greve shows the importance of the modifications in the basis of calculation such as data for construction, weather and consumption, which have taken place since the calculation in the planning phase. Concerning the system in Gentofte the analysis shows that it has been operating as an oversized domestic hot water system.

Based on the computer model a general analysis of solar systems for space heating and domestic hot water has been carried out. The calculations show that the heat gain of a solar system for space heating is more dependent on the heating installation than previously assumed. It has often been said that if the space heating load was met by a low supply-pipe temperature a high percentage of solar heat was achieved. Consequently the report includes an extensive analysis of different solar systems and heating installations.

The calculations evaluate the sensitivity of the various systems in relation to the pattern of the occupants, including reduction of temperature during night, part heating of the house, dimensions of radiators, regulations of the heating systems, etc. The intention has been to find those systems that are simple, easy to project, giving a high solar heat gain relatively independent of the use of the house and smaller errors in the planning. Furthermore the systems must not depend on a complicated and expensive control system, which may be wrongly installed, which may function wrongly and which may be difficult for the user to understand and set

correctly. As a result of these investigations two systems are found to satisfy these requirements.

Furthermore an analysis of the economical optimum of the size of the radiators has been carried out. This is the only calculation made concerning economy, but the report includes figures which will form a good basis for such calculations.

The staff of the project wish to thank the occupants of the two houses for their interest and cooperation, which have been of great importance for carrying out the two subprojects.

14 ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

14.1 Projektorganisation

Styregruppe

Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

V. Korsgaard, professor, Lab. for Varmeisolering, DTH, (formand
P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening.
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S
E. Christoffersen, afd.leder, Statens Byggeforskningsinstitut.
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening.
J. Fischer, direktør.
K. Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S.
J. Houmann, civilingeniør, Energiministeriet.
E. Jerking, Byggestyrelsen, energikontoret.
N.I. Meyer, Professor, Fys.Lab. III, DTH.
J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch og Krogboe
V.S. Pejtersen, civilingeniør, Risø.
E. Petersen, lektor, Kem.Lab. I, H.C.Ørsteds Instituttet.
P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.
P. J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen.

Projektmedarbejdere

Laboratoriet for Varmeisolering:

O. Balslev-Olesen, civilingeniør.
K. Ellehauge, civilingeniør.
L. Sønderskov Jørgensen, civilingeniør.
Sv.E. Mikkelsen, civilingeniør.
P.E. Kristensen, akademiingeniør.
C. Nielsen, civilingeniør (projektleder).
L. Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
S.Aa. Svendsen, civilingeniør.

Teknologisk Institut:

B. Bøhm, civilingeniør, lic.tech.
P. Engkjær, ingeniør.
M. Grimmig, arkitekt m.a.a.
L. Hallgreen, ingeniør, lic.techn.
T. Vest Hansen, ingeniør.
M. Lange, ingeniør.
O. Paulsen, civilingeniør, lic. tech.
P. Steensen, civilingeniør (projektleder).

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

Adresser:

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

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

14.2 Oversigt over udkomne rapporter

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg.
   Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse.

2. Solvarme-fjernvarmeanlæg.
   Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager.

3. Solvarmeanlæg i Gentofte.
   Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
   Årsrapport.

4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg.
   For TI59 programmerbar lommeregnemaskine.

5. Solvarmeanlæg i Herfølge.
   Brugsvand, 1/2 års målinger.

6. Solvarmeanlæg i Greve.
   Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
   Årsrapport.

7. Solfangeres langtidsholdbarhed.
   Erfaringer med solfangere udsat for det naturlige vejrlig under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 30 år på prøvestand.

8. Solvarmesystemprøvestand.
   Resultater fra det første projekt på prøvestanden.

9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads.
   Brugsvand, 3 års målinger.

10. Energiministeriets solvarmeprogram.
    Statusrapport, august 1980.

11. Energiministeriets solvarmeprogram.
Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.

12. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders
drift af anlæggene.

14. Solvarmeanlæg i Blovstrød.
2 1/2 års målinger på 10m^2 brugsvandsanlæg.

15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning.
En udredning baseret på 2 års målinger
på anlæg i Greve og Gentofte.

16. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En udredning baseret på 1 års målinger på 2 anlæg.

BILAG I DATA FOR SOLVARMEANLÆGGET I GREVE

Solfanger

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

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

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

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

1) Standardværdier
2) Beregnet ud fra standardværdier
3) Denne afstand burde have været større, minimum 10 mm - se ref. 1.

Absorber: Dobbelt stålplade med parallelle kanaler,
Pladetykkelse (yderst/inderst): 0,9 mm/0,9 mm
Kanaldimensioner - se figur 2.5
Absorberbelægning: Matsort maling
Emissionskoefficient: = 0,82 4)
Absorbsionskoefficient: = 0,96 4)

4) Målt på Laboratoriet for Varmeisolering

Bagsideisolering: 30 mm mineraluld

Absorberens varmekapacitet:	1073	kJ/°C
heraf væske:	716	-
Solfangerens effektive varmekapacitet	1550	-

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

Lagertank

Fabrikat: HS Kedler, Tarm

Længde, kantlinie	5,15 m (hjørnet ikke afrundet)
Længde, centerlinie	5,48 m
Radius i kuglekalot	1,15 m
Indvendig diameter	1,14 m
Volumen	5450 l (20°C)
Overfladeareal	20,9 m^2 (20°C)
Isolering	200 mm mineraluld
Varmekapacitet incl. stål	22,9 MJ/°C (40°C)
Varmevekslereffektivitet	0,51 (Svarer til 46 $W/°C \cdot m^2$ og tanktemperatur = 45°C, (se afsnit 2.1)

Varmtvandsbeholdere

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

BILAG II DATA FOR SOLVARMEANLÆGGET I GENTOFTE

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 fig. 2.12.

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)		
Tykkelse af dæklag		4 mm		5 mm	

1) Standardværdier
2) Beregnet ud fra standardværdier
3) Målt på Optisk Laboratorium for bølgelængden λ = 0,580 µr
4) Beregnet ud fra brydningsindeks n og τ= 0,87 for bølgelæn den 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 solspekt tyngdepunkt. Produktet af $\tau_r \cdot \tau_a$ = 0,87, dvs. en af de mål værdier eller K må justeres. Hvis f.eks. n sættes til 1,5 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):

Absorberens varmekapacitet:	285 kJ/°C
heraf væske:	127 "
Solfangerens effektive varmekapacitet (ref.)	550 "
Varmekapacitet af rør mellem solfanger og tank:	298 kJ/°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

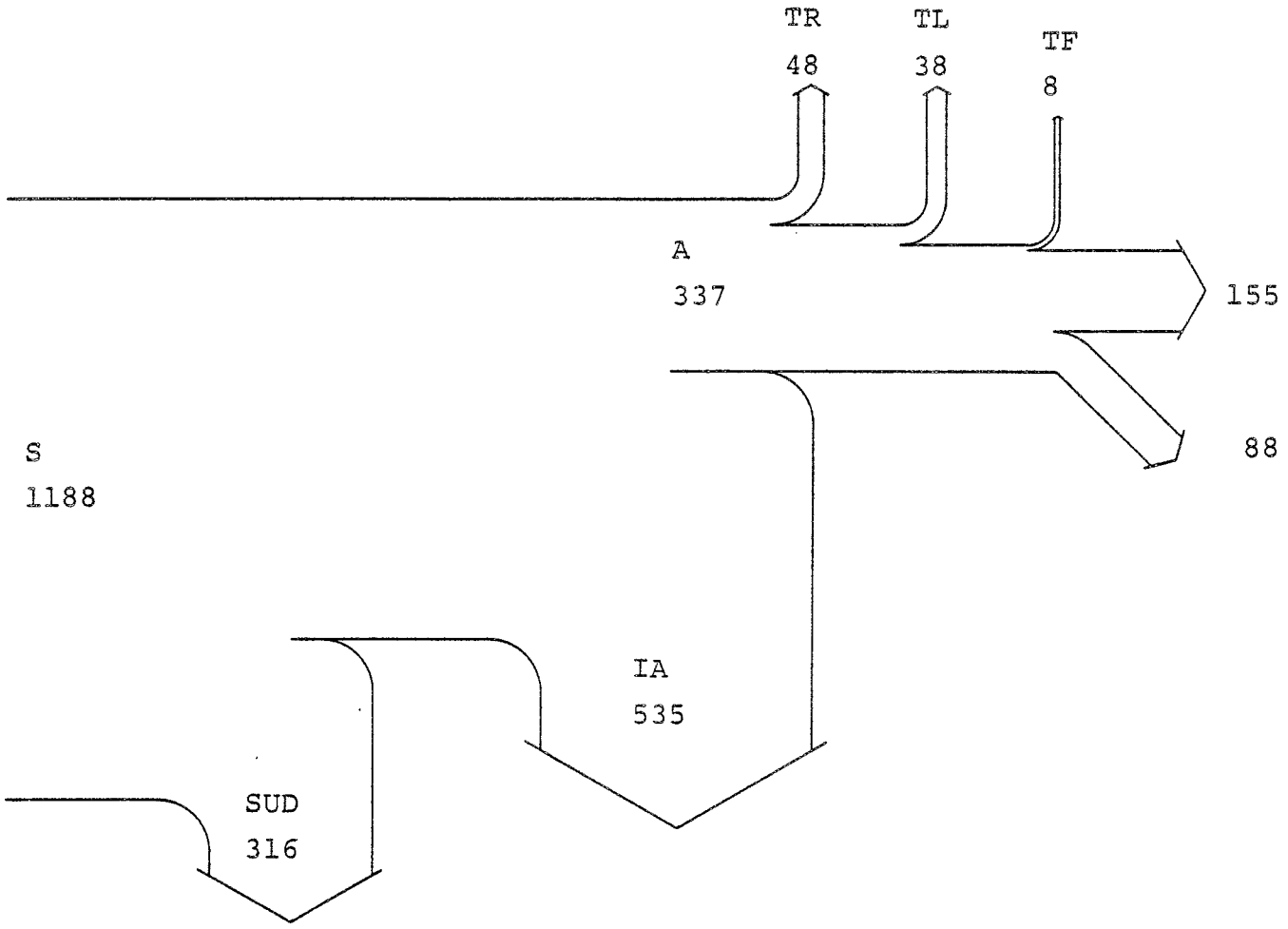
BILAG III DATA FOR REFERENCEANLÆG

I det følgende angives data og forudsætninger gældende for de anlæg der behandles i kapitel 9. Hvis intet andet er anført gælder disse værdier og forudsætninger:

Solfangerareal:	25 m^2
Hældning:	45^o
Orientering:	syd
Reflektionskoefficient for jordoverfladen:	0,2
Lagerbeholderens volumen:	75 liter pr. m^2 solfanger (1,87 m^3
Lagerbeholderens isolering:	10 cm mineraluld - effektiv
Temperaturdeling i beholder:	Fuldt opblandet, samme temperatur overalt i beholderen
Beholderens omgivelsestemp.:	21^{o}C
Beholderens varmekapacitet:	7780 kJ/^{o}C
Beholderens varmetabskoeff.:	4,27 W/^{o}C
Forvarmebeholder, volumen:	200 liter
Forvarmebeholder, isolering:	10 cm mineraluld - effektiv
Forvarmebeholder, varmekap.:	830 kJ/^{o}C
Forvarmebeholder, varmetabskoefficient:	1,12 W/^{o}C
Forvarmebeholder, omgivelsestemperatur:	21^{o}C
Startdifferens:	6^{o}C
Stopdifferens:	0^{o}C
Varmeveksler i lagerbeholder:	50 W/^{o}C pr. m^2 solfanger.
Gennemstrømmende væskemængde i solfangerkreds:	1,0 liter pr. min pr. m^2 solf.
Varmevekslereffektivitet:	0,55
Varmeveksler i forvarmebeholder:	400 W/^{o}C
Gennemstrømmende væskemængde mellem lager og forvarmebeh.:	400 liter pr. time
Varmtvandsforbrug:	200 liter pr. dag

Indløbstemp., koldt brugsvand:	10°C
Tappetemperatur, varmt brugsvand:	50°C
Fordeling af forbruget til varmt brugsvand:	Ens hver dag, standardfordeling
Vejrdata:	Nye referenceår (se bilag nr. IV)
Solfanger, type:	Et lag glas, absorber med selektiv folie (ref. 16, og fig. 7.4)
Solfanger, effektivitet:	$\eta = 0{,}85-4{,}5(T_m-T_l)/E - 0.015(T_m-T_l)^2/E$ T_m - middelvæsketemperatur °C T_l - lufttemperatur °C E - solintensitet W/m^2
Dæklag:	Glas, tykkelse 4 mm
Absorber:	Kanalplade, aluminium
Afstand mellem absorber og dæklag:	18 mm
F'	0,97
F''	0,964
F'''	0,941
Husets dimensionerende varmetab:	6100 W (-12°C ude og 21°C inde)
Forbrug til rumopvarmning:	14100 kWh/år, beregnet med BA4-programmet (ref. 10)
Ønsket rumtemperatur:	21°C
Beregningsstep:	15 min for solfangerkredsen 30 min for øvrige beregninger
Effekt af pumpe i solfangerkreds, optaget:	100 W, svarende til 150 kWh/år
Solfangerens varmekapacitet:	15 kJ/°C pr. m^2 solf.
Rørsystemet mellem solfanger og lager, varmekap.:	7,0 kJ/°C pr. m^2 solfanger
Varmetabskoefficient:	0,4 W/°C pr. m^2 solfanger

Energistrømmene for referenceanlægget beregnet med systemløsningen (fig. 9.6), mængderegulering. Dimensioneringstilstand 40/26, radiatorreturen gennem lagerbeholderen hele tiden, konstant fremløbstemperatur 40°C. Energistrømmene gælder også tilnærmelsesvis for systemet med seperat radiator til solvarme, varmefladestørrelse 200 W/°C, 50% mulig dækning med solvarme i vinterperioden.



S	Totalt solindfald på solfangerens plan	kWh/år pr. m^2 sol
SUD	Solindfald uden for solfangerens driftstid	-
SD	Solindfald i driftstiden	-
IA	Ikke absorberet solenergi i driftstiden	-
A	Absorberet solenergi	-
TR	Tab fra rørsystem mellem solfanger og lager	-
TL	Tab fra lagerbeholder	-
TF	Tab fra forvarmebeholder	-
URV	Udnyttet solenergi til rumopvarmning	-
UVV	Udnyttet solenergi til varmt brugsvand	-

BILAG IV VEJRDATA

Det første referenceår er beskrevet i ref. 3, som blev udgivet i 1974. Referenceåret indeholder ialt 34 vejrparametre, hvoraf de 20 er angivet som timeværdier.

Referenceåret er måned for måned opbygget af registrerede vejrparametre blandt 11 års (1959-1969) obervationer ved Flyvestation Værløse og Højbakkegård i Tåstrup. De enkelte måneder er udvalgt således, at de er typiske, hvad angår månedsgennemsnit og variationer i månedens løb for døgnmiddeltemperatur, døgnmaksimumtemperatur og døgnsum af solintensitet. Yderligere er der ved udvælgelsen taget hensyn til en samlet bedømmelse af et stort antal vejrparametre i forhold til 30 års normalperioden for Danmark. Ud fra disse kriterier er der således valgt den bedst egnede januar måned, februar måned osv.

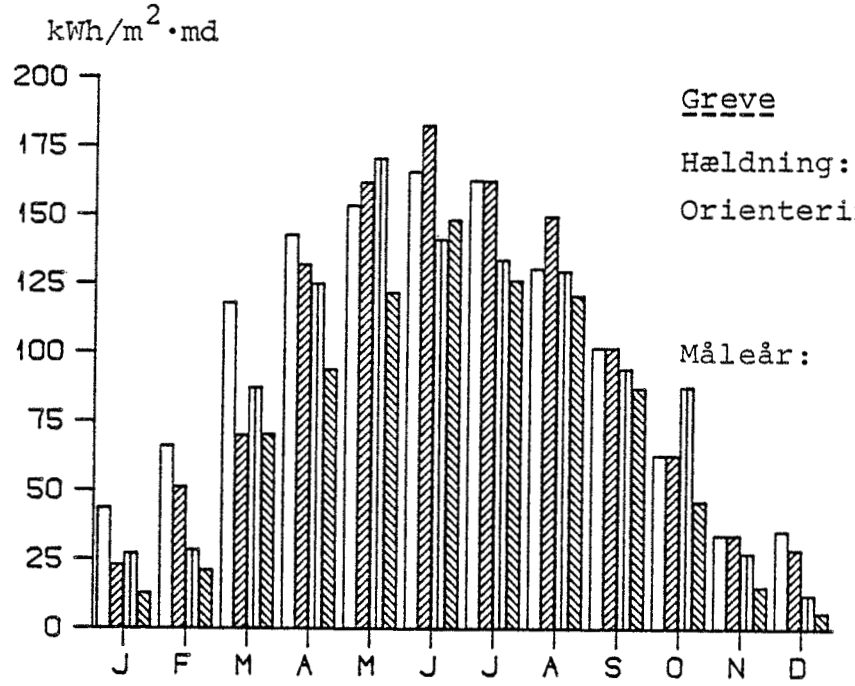
Ved udvælgelsen af ovennævnte referenceår, som i nærværende rapport er kaldt det gamle referenceår, blev bl.a. døgnsummer af globalstrålingen målt på vandret benyttet som udvælgelsesparameter. Det blev senere klart, at der ved de lave solhøjder, som vi har om vinteren, er en ringe sammenhæng mellem globalstråling på vandret og antallet af solskinstimer. Dette bevirker, at månederne januar, marts, april, august og december har et månedligt solskinstimetal, der overstiger den tilsvarende middelværdi med mere end standardafvigelsen. Derved fås ved beregning af solvarmeanlæg for høje ydelser især i vintermånederne. Bl.a. dette forhold er der taget hensyn til ved revision af referenceåret.

Det nye referenceår er udvalgt ud fra de samme kriterier som det gamle,kun er grundlaget her 15 års (1959-1973) observationer ved Flyvestation Værsløse og Højbakkegård i Tåstrup. Desuden er der ved kontrol af data korrigeret for urimeligt store værdier af bl.a. globalstrålingen på vandret. Det nye referenceår, som erstatter det gamle, vil blive beskrevet i ref. 4. Denne rapport forventes at udkomme i slutningen af 1981.

I det nye referenceår er kun månederne juli, september, oktober og november "gengangere" fra det gamle - dvs. de fem oven for nævnte måneder er alle erstattet af nye.

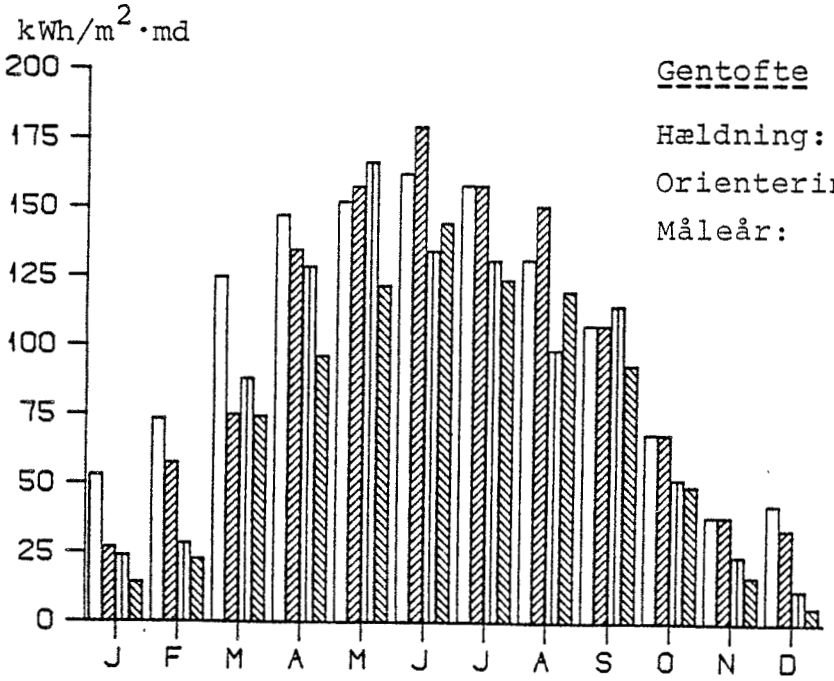
På fig. 9.40, der viser anlægsydelsen som funktion af det årlige solindfald er indtegnet en værdi for et sæt vejrdata, som er kaldt Ekslav. Dette år er ligesom referenceårene sammensat af enkelte måneder fra de 15 års målinger - kun er eneste kriterium for en udvælgelse, at den pågældende månedsværdi for solindfald er minimum for de 15 år. Resultater er et sæt vejrdata, hvor solindfaldet er urealistisk lavt. Beregninger med Ekslav som vejrdata vil derfor give en ydelse,der må betragtes som en nedre værdi for det pågældende solvarmeanlæg.

På fig. B1 er det månedlige solindfald for de to referenceår, et måleår samt Ekslav sammenlignet for både Greve og Gentofte. Det fremgår af værdierne for de to referenceår, at det især er i vintermånederne, der er forskel i solindfaldet. Årssummen er dog i det gamle referenceår kun ca. 5% større end i det nye, mens årssummen af solindfaldet i Ekslav er ca. 25% mindre. Solindfaldet i de 2 måleår, der er vist på fig. B1, er 8% og 16% mindre for henholdsvis Greve og Gentofte i forhold til det nye referenceår.



Greve

Hældning: 38° fra vandret
Orientering: 30° mod vest i forhold til syd
Måleår: juli 79-juni 80



Gentofte

Hældning: 45° fra vandret
Orientering: Syd
Måleår: nov. 79-okt. 80

Fig. B1. Solindfald

Det gamle referenceår
Det nye referenceår
Måleår
Ekslav

Greve Hældning: 38° fra vandret
Orientering: 30° mod vest i forhold til syd

Md	Gamle ref.år	Nye ref.år	Måleåret juli 79-juni 80	Ekslav
1	43.5	22.8	26.9	12.7
2	66.0	51.2	28.3	21.1
3	117.9	69.8	87.1	70.2
4	142.6	131.7	124.8	93.6
5	153.4	161.8	170.6	121.6
6	165.8	182.6	141.2	148.3
7	162.6	162.4	133.6	126.2
8	130.5	149.6	129.6	120.7
9	101.7	101.7	94.1	87.2
10	62.8	62.8	87.5	46.1
11	33.8	33.8	27.3	15.2
12	35.4	28.6	12.3	5.8
SUM	1216.0	1158.8	1063.3	868.7

Gentofte Hældning: 45° fra vandret
Orientering: Syd

Md	Gamle ref.år	Nye ref.år	2.måleår nov.79-okt.80	Ekslav
1	52.9	26.7	23.8	14.2
2	73.4	57.6	28.4	22.7
3	124.7	75.1	87.9	74.4
4	147.1	134.6	128.5	96.2
5	152.2	157.7	166.6	121.8
6	162.5	179.5	134.4	144.6
7	158.3	158.2	131.1	124.1
8	131.3	150.7	98.6	119.8
9	107.6	107.6	114.8	93.3
10	68.4	68.3	52.1	49.6
11	38.5	38.5	24.3	16.9
12	43.0	34.1	12.2	5.9
SUM	1259.9	1188.6	1002.7	883.5

Fig. B2 Solindfald i kWh/m^2
Værdierne er benyttet på fig. B1.

Md	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
1	37.4	36.7	41.5	30.5	57.4	24.6	23.4	20.4
2	42.7	58.2	38.0	67.6	49.5	66.5	65.4	48.7
3	91.1	118.4	103.7	109.6	73.3	78.6	112.8	69.9
4	129.4	142.6	178.9	131.7	103.1	131.1	103.5	110.0
5	198.1	185.7	161.7	128.2	176.9	173.6	172.8	157.1
6	210.1	204.4	165.6	186.8	182.6	163.3	175.8	159.7
7	173.8	161.7	143.1	163.7	162.4	137.0	126.4	159.3
8	165.0	130.4	133.1	120.9	123.3	144.6	144.4	110.4
9	152.3	129.6	118.7	114.7	98.3	109.8	102.0	98.2
10	85.5	46.3	84.5	63.1	58.8	57.1	75.1	51.9
11	14.5	28.1	38.2	31.9	23.6	34.0	41.3	20.7
12	5.6	12.7	34.5	44.4	26.5	29.7	14.3	21.3
SUM	1305.6	1254.9	1241.5	1193.0	1135.6	1149.9	1157.2	1027.5

Md	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	middel
1	22.9	39.0	12.7	27.0	28.3	22.5	13.6	29.2
2	39.2	53.5	45.0	55.0	49.2	22.8	41.1	49.5
3	78.4	93.9	121.9	70.6	78.5	99.7	101.9	93.5
4	124.7	153.2	135.0	93.8	132.3	118.8	123.6	127.4
5	153.3	145.8	121.9	171.4	188.0	142.3	161.4	162.5
6	162.8	180.8	181.7	201.6	148.3	164.8	196.2	179.0
7	157.7	159.4	170.0	142.5	185.1	156.5	170.5	157.9
8	137.6	150.5	161.8	152.2	149.7	150.1	166.4	142.7
9	92.1	100.0	126.8	104.4	87.5	110.3	107.4	110.1
10	51.2	62.5	66.9	58.3	68.8	79.1	86.1	66.3
11	38.7	15.9	38.7	32.8	37.1	38.5	48.9	32.2
12	33.3	20.3	20.8	28.8	21.9	21.0	27.8	24.2
SUM	1091.9	1174.9	1203.2	1138.4	1174.9	1126.4	1245.1	1174.7

Fig. B3 Solindfald i kWh/m^2 beregnet ud fra 15 års vejrdata, Greve.

Hældning: 38° fra vandret

Orientering: 30° mod vest i forhold til syd

Md	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
1	41.8	42.7	49.6	35.1	69.5	29.9	26.2	22.7
2	45.1	62.8	41.0	76.4	53.4	73.9	72.6	54.8
3	97.3	125.0	110.0	116.8	76.1	84.8	118.3	75.2
4	134.7	146.9	178.5	134.5	105.8	133.0	102.7	109.4
5	194.5	180.2	157.5	127.8	175.9	171.9	170.7	154.8
6	206.3	200.6	162.4	180.9	179.4	158.2	173.2	156.8
7	170.3	157.5	136.2	160.2	158.1	134.5	124.1	155.6
8	161.5	131.2	135.9	119.9	125.1	146.3	145.6	112.7
9	158.3	134.6	125.2	119.8	105.3	117.1	107.8	102.7
10	92.3	49.9	93.3	68.5	64.6	62.3	83.1	57.8
11	16.2	31.5	44.0	36.5	26.5	38.6	47.9	22.9
12	5.7	14.2	41.4	52.5	31.0	34.9	16.2	24.7
SUM	1324.0	1277.1	1275.0	1229.1	1170.7	1185.4	1188.5	1050.2

Md	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	middel
1	26.8	46.1	14.1	31.8	33.2	25.5	14.9	34.0
2	44.6	60.1	49.3	61.1	52.6	24.5	46.3	54.6
3	84.1	101.8	132.6	74.7	84.7	107.4	110.1	99.9
4	125.0	158.2	138.6	96.3	133.2	121.7	128.5	129.8
5	152.0	145.2	122.0	167.8	186.8	138.8	162.1	160.5
6	158.8	178.3	180.0	197.4	144.6	159.4	191.3	175.2
7	159.0	154.5	164.0	139.6	182.8	152.2	167.9	154.4
8	137.8	154.1	166.6	153.9	150.8	152.8	170.9	144.3
9	96.9	106.2	133.3	109.5	93.7	117.6	113.1	116.1
10	56.1	69.1	72.8	62.8	75.8	87.0	96.9	72.8
11	45.3	17.4	44.9	38.1	42.0	45.6	57.7	37.0
12	39.3	24.1	23.8	34.4	25.8	24.8	33.0	28.4
SUM	1125.7	1215.1	1242.1	1167.6	1206.0	1157.3	1292.9	1207.1

Fig. B4 Solindfald beregnet ud fra 15 års vejrdata, Gentofte

Hældning: 45° fra vandret

Orientering: Syd