

PROJEKTERING AF STØRRE SOLFANGERANLÆG

Systemudformninger og diagrammer til beregning af ydelse og tab

Svend Erik Mikkelsen

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

MEDDELELSE NR. 194 NOVEMBER 1988

Følgende har medvirket ved projektet:

Svend Erik Mikkelsen, civilingeniør

Simon Furbo, civilingeniør

Sally Lykke Høgsted, programmør

Birthe Friis, assistent

RESUMÉ

Der er udarbejdet tabeller og diagrammer, som muliggør en hurtig bestemmelse af store solvarmeanlægs ydelser i afhængighed af lagertemperaturen under hensyntagen til systemopbygning, skyggeforhold, jordrefleksion, solfangerhældning osv.

Desuden er der udarbejdet diagrammer til dimensionering af rørsystemer, bestemmelse af rørsystemets varmetab og flowfordelingen i solfangerfeltet. Endvidere kan forskellige systemopbygningers og styresystemers egnethed bestemmes.

Diagrammerne er specielt velegnede i forbindelse med idéfasen og ved skitseprojekteringen af store solvarmeanlæg, enten i kombination med andre energikilder, i forbindelse med sæsonlagring af solvarme, i forbindelse med opvarmning af returledningen i et fjernvarmenet eller i forbindelse med udnyttelse af lavtemperaturvarme i industrien.

Desuden er mange af diagrammerne også værdifulde i forbindelse med større solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, solvarmeanlæg til svømmebadsopvarmning og små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

INDHOLD

RESUMÉ	ii
INDHOLD	iii
FIGURLISTE	v
FORORD	viii
1. INDLEDNING	1
2. SYSTEMOPBYGNING	4
Solfangerkredsen	4
Driftskontrol	8
Erfaringer med større anlæg i udlandet	9
Styring af solfangerkredsen	12
3. SOLFANGEREN	17
4. RØRSYSTEMER	23
Beregning af flowfordeling og rørdimensioner	23
Trykforhold i solfangerkredsen	44
Kavitation i pumpen	48
Transmissionsledning for solvarme	49
Udluftning af rørsystem	53
Fastlæggelse af rørdimension mht. udluftning	66
Resumé - regler vedr. udluftning	68
Driftsstop med kogning	71
5. SOLFANGERES YDELSE	73
System, hvori solfangeren indgår	74
Beregningsmodel og vejrdata	77
Tilnærmelser og forudsætninger	77
Hældningens betydning for årsydelsen	84
Orienteringens betydning for årsydelsen	88
Jordrefleksionens betydning for årsydelsen	89
Refleksområde foran solfangeren	92
Reduktion i årsydelse for solfangere placeret i rækker efter hinanden	96
Ydelse med solfangere der drejer efter solen	101
Reduktion i ydelsen som følge af varmekapaciteten i solfangeren	107
Reduktion i ydelse som følge af rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder	108
Reduktion i ydelse som følge af rørsystemet for syste- mer med varierende lagertemperatur	120
Betydningen af den gennemstrømmende væskemængde	124
Betydning af start- og stopdifferensen	124
Betydning af varmevekslerstørrelsen	128
Strømningsmængden og varmevekslerens betydning i sammenhæng	130
Ydelsens afhængighed af solfangerens effektivitet	130
Reduktion i ydelsen som følge af skygge fra foranstående bygninger mv.	130
6. YDELSESDIAGRAMMER	148
Eksempel på brug af ydelsesdiagrammerne	149
Hvad bestemmer ydelsen	151

Hvordan diagrammerne bruges	153
Korrektion af ydelsen for flow, varmevekslerstørrelse og absorbereffektivitet	156
Betydning af lagerstørrelsen ved anvendelse af dia- grammerne	158
SUMMARY	161
REFERENCER	162
STIKORDSREGISTER	165
Bilag A	167
Forskningsudvalget for Energianvendelse i bygninger . .	168
Liste over udsendte rapporter	169
Solvarmeprogrammet	169
Varmelagerprogrammet (LfV)	171

FIGURLISTE

Figur 2.1	Solfangerkredsen. Forskellige systemudformninger	6
Figur 2.2	Styring af solfangerkredsen	15
Figur 4.1	Flowfordeling i parallelkoblede solfangere med 20 mm manifoldrør	25
Figur 4.2	Flowfordeling i parallelkoblede solfangere med 26 mm manifoldrør	26
Figur 4.3	Flowfordeling i parallelkoblede solfangere med 32 mm manifoldrør	27
Figur 4.4	Flowfordeling i parallelkoblede BATEC-solfangere	28
Figur 4.4a	Opbygning af 40 m ² solfangere med ensartet volumenstrømfordeling	29
Figur 4.5	Principskitse af 3 opbygninger af solfangerfeltet	31
Figur 4.6	Flowfordeling i solfangerfeltet for systemopbygning A	33
Figur 4.7	Flowfordeling i solfangerfeltet for systemopbygning B	34
Figur 4.8	Flowfordeling i solfangerfeltet for systemopbygning C	35
Figur 4.9	Rørdimension som resulterer i ensartet volumenstrømfordeling	36
Figur 4.10a	Bestemmelse af rørdimensioner i solfangerkredsen	38
Figur 4.10b	Tryktabsnomogram for stålør	39
Figur 4.10c	Tryktabsnomogram for kobberør	40
Figur 4.11	Pris for solfangerkredsen med og uden pumpeprisen	41
Figur 4.12	Pris for solfangerkredsen, pumpen og pumpeenergien i 20 år	43
Figur 4.13	Trykforhold i et solvarmeanlæg med åben ekspansion	45
Figur 4.14	Eksempel på transmissionsledning	50
Figur 4.15	Kvælstofs opløselighed i vand	54
Figur 4.16	Nødvendig trykhøjde og vandhastighed	56
Figur 4.17	Nødvendig trykhøjde og vandhastighed	57
Figur 4.18	Maksimal og minimal hastighed for udluftning	59
Figur 4.19	Udluftning	60
Figur 4.20	Design af rørsystem foran en luftudlader	62
Figur 4.21	Luft i pumpen	66
Figur 4.22	Diagram til dimensionering af rør	67

Figur 4.23	Diagram til dimensionering af rør	69
Figur 5.1	Karakteristika for solfanger A og B	75
Figur 5.2	Systemløsninger for solfangerkredsen	76
Figur 5.3	Solindstråling i Det Danske Referenceår	78
Figur 5.4	Linearisering af solfangernes effektivitetskurver	83
Figur 5.5	Hældningens betydning for solfangerens årsydelse	85
Figur 5.6	Orienteringens betydning for solfangerens årsydelse	86
Figur 5.7	Orienteringens betydning for den højeffektive solfangers årsydelse	87
Figur 5.8	Refleksionskoefficient for forskellige overflader	90
Figur 5.9	Jordrefleksionens betydning for årsydelsen	91
Figur 5.10	Årsydelsen for en jordrefleksion på 0,0	92
Figur 5.11	Et diffust reflekterende områdes betydning for årsydelsen	93
Figur 5.12	Et diffust reflekterende områdes betydning for årsydelsen	94
Figur 5.13	Ydelsen som funktion af hældning og refleksionsforhold	95
Figur 5.14	Reduktion i solindfald på solfangere placeret i rækker efter hinanden	97
Figur 5.15	Reduktion i årsydelse af solfangere placeret i rækker efter hinanden	98
Figur 5.16	Reduktion i årsydelse af solfangere placeret i rækker efter hinanden	99
Figur 5.17	Årsydelse for solfangere placeret i rækker	100
Figur 5.18	Solfangere placeret på et isolerende låg, der flyder på et vandlager	102
Figur 5.19	Optimal hældning igennem året	103
Figur 5.20	Optimal hældning igennem året når solfangeren drejer vandret efter solen igennem dagen	104
Figur 5.21	Årsydelser for forskellige styringskombinationer	105
Figur 5.22	Reduktion i årsydelsen som funktion af solfangerens varmekapacitet	109
Figur 5.23	Varmetabskoefficient for uisolerede rør	111
Figur 5.24	Varmetabskoefficient for isolerede rør	112
Figur 5.25	Varmetab ved naturlig konvektion fra forskellige overflader	113
Figur 5.26	Varmekapaciteten af galvaniserede stålrør	115
Figur 5.27	Reduktion i årsydelse som funktion af rørsystemet	117

Figur 5.28	Reduktion i årsydelse som funktion af rør-systemets varmekapacitet	118
Figur 5.29	Reduktion i årsydelse som funktion af rør-systemets varmekapacitet	121
Figur 5.30	Reduktion i årsydelse som funktion af rør-systemets transmissionstab for rumopvarmningsanlæg og brugsvandsanlæg	122
Figur 5.31	Reduktion i årsydelse som funktion af rør-systemet og solfangerens varmekapacitet for rumopvarmningsanlæg og brugsvandsanlæg	123
Figur 5.32	Reduktion i årsydelse som funktion af volumenstrømmen	125
Figur 5.33	Reduktion i årsydelse som funktion af differenstermostatens startdifferens	126
Figur 5.34	Reduktion i årsydelse som funktion af differenstermostatens stopdifferens	128
Figur 5.35	Varmevekslerens betydning for årsydelsen	129
Figur 5.36	Solfangereffektivitetens betydning for årsydelsen ved en lagertemperatur på 20°C	131
Figur 5.37	Solfangereffektivitetens betydning for årsydelsen ved en lagertemperatur på 40°C	132
Figur 5.38	Solfangereffektivitetens betydning for årsydelsen ved en lagertemperatur på 80°C	133
Figur 5.39	Kasse til beregning af skyggens betydning	135
Figur 5.40	Diagrammer til bestemmelse af ydelsen under hensyntagen til skyggeforhold	137-141
Figur 5.41	Eksempel på anvendelse af diagrammerne	142-143
Figur 5.42	Solfanger placeret lige foran et hus	144
Figur 5.43	Årsydelsen for forskellige skyggehøjder	146
Figur 5.44	Reduktion i ydelse på grund af skygge	147
Figur 6.1	Eksempel på brug af ydelsesdiagrammerne	149
Figur 6.2	Lagerstørrelsens betydning for ydelsen	160

FORORD

Denne rapport beskriver og afslutter arbejdet, som er gennemført under Energiministeriets solvarmeforskningsprogram i delprojekterne: "Solvarme i kombinerede systemer" og "Tværfaglig arbejdsgruppe" under EFP82-projektet: "Solvarme i kombinerede systemer", journalnr. 22551-6. EFP86-projektet: "Optimering af store solvarmeanlæg til brugsvand", journalnr. 1353/86-2.

1. INDLEDNING

Udnyttelse af solvarme forstået som almindelige termiske solfangere med væskefyldte absorbere kan ske i forskellige sammenhænge.

1) Som små anlæg til en enkelt bolig, i reglen brugsvandsanlæg, men i visse tilfælde også som supplement til rumopvarmningen, og til svømmebade.

2) Lidt større brugsvandsanlæg, evt. også rumopvarmning, i forbindelse med en etageejendom eller en institution af en slags.

3) Store anlæg, enten i kombination med andre (vedvarende) energikilder, i forbindelse med sæsonlagring af solvarme, opvarmning af returledningen i fjernvarmenet eller forskellig slags udnyttelse af lavtemperaturvarme i industrien.

Rapporten her omhandler specielt område 3, mange af rapportens diagrammer er også værdifulde i forbindelse med område 2 og 1.

Det karakteristiske for disse store anlæg er at solvarmen ofte leveres til en relativt konstant temperatur, eller en temperatur hvis variation over året er bestemt eller let kan bestemmes.

Dette betyder at solvarmeydelsen ikke nødvendigvis skal bestemmes ved en time-for-time simulering eller en grov tilnærmet metode som fx F-chart. Ydelsen kan bestemmes med stor nøjagtighed ud fra tabelopslag. Rapporten her består hovedsagelig i tabel- og diagrammateriale til bestemmelse af ydelsen i afhængighed af lagertemperaturen.

Foruden beregning af selve ydelsen fra solfangerne under hensyn til skyggeforhold, jordrefleksion, hældning mv. (kap. 5) er der diagrammer til dimensionering af rørsystemer og

bestemmelse af varmetab og flowfordeling i den forbindelse (kap. 4 og 5). Desuden gennemgås forskellige muligheder for systemopbygning (kun solfangerkredsen), og forskellige måder at styre systemet på (kap. 2).

Dertil er der rapporten igennem en række mere eller mindre "gode råd" med henblik på at undgå gentagelse af konstaterede problemer på eksisterende anlæg. Det er klart at der her er stor usikkerhed, og andre kan have andre erfaringer og løsninger. I så fald hører vi da gerne herom.

Man skal være opmærksom på at en reduktion i solfangerens ydelse for anlæg med svingende temperatur modvirkes af at solfangerens effektivitet stiger med den lavere temperatur i lageret. Det gælder især små brugsvandsanlæg. Det gør at diagrammerne i kap. 5 ikke umiddelbart kan bruges i den forbindelse.

Det er i øvrigt hensigten med selve denne måde at beregne ydelsen på, at man skulle bevare overblikket over hvad det er for faktorer der betyder hvad for ydelsen, så at sige visuelt. I modsætning til simuleringsmodeller der "tager hensyn til alt" og hvor man kun vanskeligt kan sortere faktorerne igen og fx se om det nu er den store hældning eller skyggen fra bygningen foran der betyder mest for ydelsen.

Uanset om man forstår tingene bedst "digitalt eller analogt", må det anbefales at bruge diagrammerne i forbindelse med idéfasen og til skitseprojektering, hvor hurtige svar er væsentlig mere betydningsfulde end nøjagtige svar. Endvidere er det jo ofte sådan med solvarmeanlæg at de absolutte ydelser ikke kan bestemmes særlig nøjagtigt fordi forbruget ikke kendes nøjagtigt. Det er derfor ofte de relative forskelle på forskellige anlæg der betyder mest. Dette kan aflæses af diagrammerne.

Af bilag A fremgår diagrammer der viser ydelsen over året og en metode til beregning af rørtab, for en lang række solfan-

gere. Kapitel 6 giver en baggrund for anvendelse af diagrammerne og et eksempel på anvendelsen.

Et mindre kapitel omhandler selve solfangeren. Der henvises hovedsagelig til andre rapporter og til fabrikanter og leverandører.

Rapporten er ikke så nem at overskue og sikkert for lang til at den bliver læst på én gang. Desuden er det samme emne omtalt i flere sammenhænge. For at råde bod herpå er der et stikordsregister, så det skulle være muligt at gå ind i rapporten med et konkret navngivet problem.

2. SYSTEMOPBYGNING

Rapporten her er først og fremmest tænkt anvendt i forbindelse med dimensionering og udformning af lidt større til helt store solvarmeanlæg i forskellige sammenhænge.

Af dette kapitel fremgår noget om systemopbygningen for selve solfangerkredsen. Herunder om styringen af solfangerkredsen, overvejelser omkring tømmesystem, transmissionsledning mv.

Der er ikke tale om at anføre løsninger, snarere at pege på de problemer man må overveje, og de muligheder der er. Selve solfangerdelen omtales i kapitel 3.

Solfangerkredsen

Solfangerkredsen transporterer varmen fra solfangerne til et lager eller forbrugssted.

Det helt afgørende rent funktionsmæssigt er at sikre, at der til ethvert tidspunkt hvor der kan hentes energi, cirkulerer væske af tilstrækkelig hastighed og mængde igennem hvert eneste absorberelement. Dette knytter sig til problemet med at sikre jævn væskefordeling imellem parallelkoblede elementer, til problemet med luftansamlinger i rørsystemet, samt naturligvis til problemet med at sikre at pumperne er i drift på de rigtige tidspunkter, og at pumper og rør er dimensioneret for tilstrækkelige vandmængder. Om dette i kapitel 4.

Med hensyn til holdbarheden (korrosion mv.) ligger der en række overvejelser omkring materialevalg, åben eller lukket ekspansion, evt. en kombination, glycol eller vand. Nedgravede rør eller rør over jord, hvortil knytter sig frostrisiko.

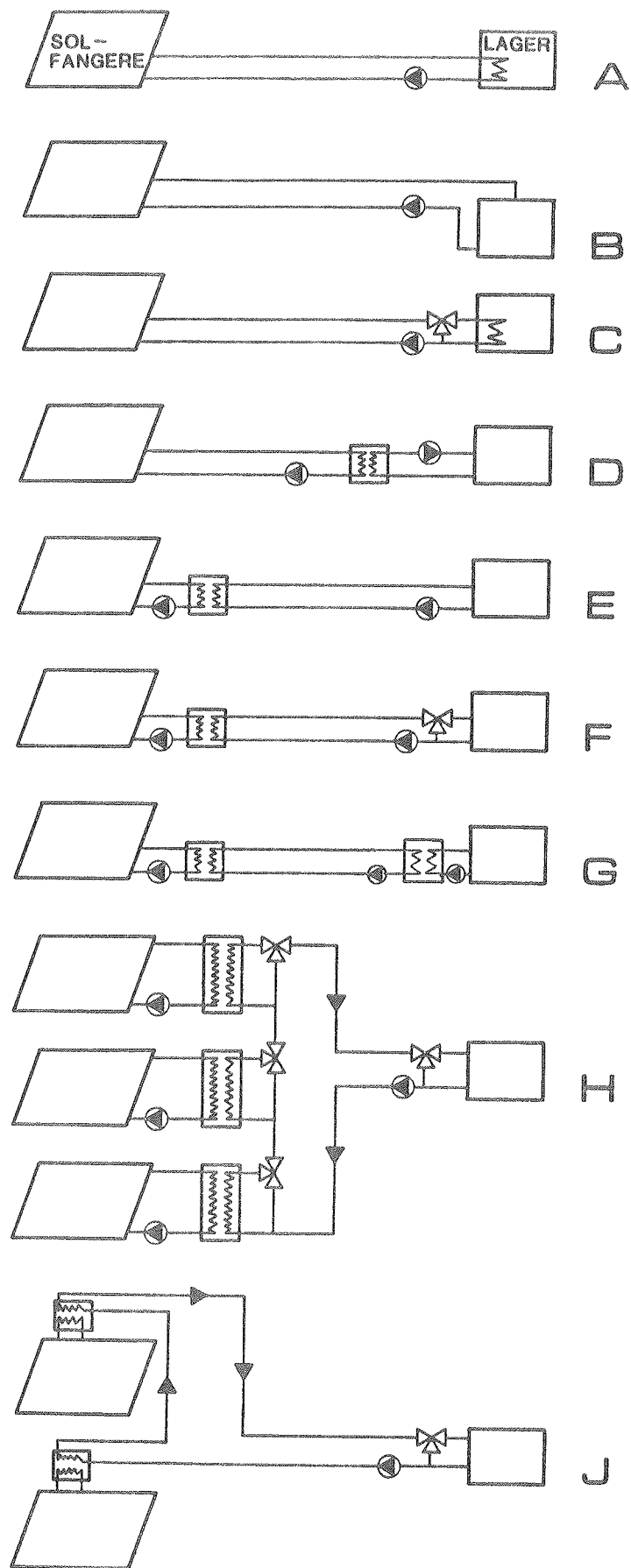
Det skal overvejes om varmekapaciteten i rørsystemet bliver så stor at det er nødvendigt at udnytte den tidlige morgen-sol til opvarmning af rør og væske. Isoleringstykkelsen skal bestemmes, og varmetabene beregnes.

Er der langt mellem lager og solfanger, må det overvejes hvor store tab dette vil give, og der må foretages en omhyggelig dimensionering. Se under transmissionsledning.

Hertil kommer at man skal tage højde for den termiske udvidelse af rørene. Både omkring solfangerne og i forbindelse med en transmissionsledning, hvor temperaturen vil svinge mere end i fjernvarmeanlæg i almindelighed. Desuden kan der ligge nogle overvejelser omkring at sikre en let adgang til inspektion og udbedring af rør, pumper, ventiler mv.

Figur 2.1 viser forskellige opbygninger af solfangerkredsen.

- A er det helt enkle system. Det kan være udført med åben eller lukket ekspansion og med vand-glycol i kredsen.
- B Tømmesystem. Rør og absorber skal være korrosionsfaste materialer. Vand i systemet. Alle rør skal ligge med hældning mod beholderne. Pumpen skal kunne løfte væsken til det højeste punkt. Kapacitetstab (energien der går tabt til opvarmning af væsken i rørene) er næsten elimineret.
- C Mulighed for by-pass af væskecirkulationen, således at morgensolen kan opvarme rørsystemet. Mere stabil styring kan opnås.
- D Som C, men varmeveksleren placeret uden for lageret. Som i C er der vand-glycol i transmissionsledningen. Den kan altså ligge over jorden.



Figur 2.1. Solfangerkredsen. Forskellige systemudformninger. Vedr. de enkelte systemer, se teksten.

- E Her kan transmissionsledningen være nedgravet og fyldt med vand. Eventuelt kan ledningen tømmes tilbage i lageret. Hvis ikke dette er muligt, er der den ulempe at transmissionsledningen ikke kan opvarmes med den tidlige sol som under C og D. Hvis ledningen tømmes når der ikke er drift, kan den naturligvis ligge oven på jorden.
- F Her er den fordel i forhold til E, at transmissionsledningen kan opvarmes med det tidlige solindfald.
- G Hvis solfangerkreds, transmissionsledning og lager skal adskilles i tre dele, bliver det nødvendigt med to varmevekslere. Det kunne være tilfældet hvis lageret ikke tåler tryk svarende til trykket i transmissionsledningen. Det vil naturligvis hæve temperaturen i solfangerne.
- H Solfangerne kan være opdelt i sektioner med en varmeveksler hver. Er der brug for en stor opvarmning, kan flowet i transmissionsledningen være lavt, varmevekslerne kobles i serie således at den første hører til en gruppe laveeffektive solfangere, den næste til mere effektive solfangere osv., efterhånden som temperaturen stiger. Trevejsventiler kobler sektioner ind efterhånden som det er muligt, hver sektion styres for sig.
- Systemet kan også bruges med identiske sektioner og almindeligt stort flow med en temperaturstigning på fx maksimalt 15°C over alle solfangere. Det kan da diskuteres om varmevekslerne skal kobles i serie eller parallelt, eller en kombination.
- J Hvis varmevekslerne i de enkelte sektioner er placeret højt, fx oven på en sektion af solfangere, kan hver sektion være selvcirkulerende med de fordele dette giver med hensyn til regulering og sparet pumpe elforbrug.

For H og J gælder det at hvis de enkelte sektioner har forskellige betingelser, hældning, skygge mv., kan det være en

fordel at de enkelte sektioner kan by-passes, uanset at der er tale om ens solfangere.

Ved at sektionsoopdele er der også den fordel at man får systemet delt op i mindre dele. Det kan lette overskueligheden og dimensioneringen, samt gøre en driftskontrol lettere at udføre og forstå.

Driftskontrol

Som det vil fremgå af det følgende om erfaringer fra udlandet er det ikke uproblematisk at opføre store solvarmeanlæg. Det må derfor fremhæves som en vigtig ting at man fra starten udformer systemet således at en løbende driftskontrol er mulig samt sørger for passende sensorer hertil. Det kunne ske ved en løbende registrering af temperaturer, energimængder og flow et passende antal steder. Det behøver ikke at være særlig dyrt i forhold til projektet som helhed, og det vil have stor betydning, både med hensyn til det enkelte anlæg og med hensyn til at udnytte erfaringerne til senere anlæg. Da et væsentligt problem synes at være det enkle at få væske igennem hvert eneste absorberelement, som følge af problemer med flowfordeling og udluftning, er det væsentligt at man kan kontrollere om det er i orden. Hver sektion af solfangerne kan være forsynet med en flowmåler med skueglas og reguleringsventil.

Alle elementer kan kontrolleres ved at måle temperaturen ved afgangsrøret fra den enkelte absorber, men det er ofte umuligt at komme til. Det er nok bedre at måle temperaturen på glasset, evt. med et strålingstermometer eller ved termovision. Hvis man måler en dag med klar sol og en relativ lav fremløbstemperatur til solfangerne, vil målingerne give et klart billede af strømningsforholdene. Ved en lufttemperatur på 20°C fås følgende omtrentlige glastemperaturer for solfangerne med ét dæklag:

Glastemperatur °C

	Absorbertemperatur °C			
	30	80	130	160
Sortmalet solfanger ($\epsilon=0,9$)	22	45	70	
Selektiv solfanger ($\epsilon=0,1$)	22	33	47	55

Temperaturerne vil naturligvis variere med solfangerkonstruktionerne, men tendensen vil være som vist. Det betyder altså at man kan få en klar indikering af om der er elementer uden væskegennemstrømning, eller næsten uden, idet absorbertemperaturen da vil stige til i nærheden af stagnationstemperaturen. Ved en rimelig nøjagtig måling kan man også afsløre skævheder i flowfordelingen imellem elementer der har den samme tilgangstemperatur. Se i øvrigt kap. 4 om den tilladelige skævhed.

Det allersimpleste er simpelthen at lægge en hånd på glasset, helst foroven hvor temperaturen er højest. Hvis der er store problemer med flowet, fordelingen eller elementer uden flow, vil man straks mærke det, hvis blot lagertemperaturen er tilstrækkelig lav.

Erfaringer med større anlæg i udlandet

Ref. 2.1 giver et billede af de problemer der er med større solvarmeanlæg andre steder. I det følgende gengives nogle konklusioner herfra.

For det første er det helt generelt, at målte ydelser er mindre end de ydelser der forventes ud fra beregninger, også selvom der er brugt avancerede edb-simuleringer. Ofte er ydelserne kun målt til halvdelen af det forventede. Det skal så hurtigt siges at der er anlæg der giver det de skal, så det kan altså lade sig gøre hvis man bærer sig fornuftigt ad.

Der er naturligvis mange grunde til problemerne. Herunder dårlige beregningsmodeller og forkerte vejrdato. Dertil kommer en række forhold som traditionelt remses op i denne sammenhæng. Snavs på dæklaget, skygge foran solfangeren, vindpåvirkninger og at solindfaldet var lavere og solfangeren ikke så effektiv som lovet.

De væsentlige ting er dog nok, som de fleste også er inde på, varmetab og varmekapaciteter, samt væskefordelingen i solfangerkredsen.

Af disse gøres der mest ud af varmetabet fra rørsystem og uisolerede ventiler mv. Det skyldes formodentlig at det er det nemmeste, de store afvigelser mellem beregninger og målinger kan ikke kun skyldes varmetab.

Kutscher anfører at en beregning af den økonomisk optimale rørdimension ofte fører til en dimensionerende vandhastighed større end grænsen for turbulenskorrosion (kobberrør). Han anbefaler derfor at man dimensionerer de lange rørstrækninger efter denne grænse. De andre rør mellem de enkelte elementer må så dimensioneres så man sikrer en god flowfordeling. Når det kan betale sig med så små rør, der jo vil betyde et større pumpeforbrug, hænger det sammen med at varmekapacitet og varmetab stiger med rørdimensionen.

I almindelighed bruges lukkede systemer med trykeksponering. Da væsken derfor stort set er iltfri, vil turbulenskorrosion ikke forekomme. Ifølge ref. 2.3 er der i praksis ikke registreret turbulenskorrosion i sådanne systemer, hastigheder på 5-10 m/s kan tillades, hvor man anbefaler langt mindre hastigheder til fx brugsvandsrør. Dette har man ikke været opmærksom på i ref. 2.1.

Det understreges meget at ventiler mv. skal isoleres. Målinger på en 2" reguleringsventil viste at en sådan uisoleret havde et varmetab svarende til 17 m isolerede rør. Hvis ventilen isoleres, har den et varmetab svarende til 4 m

rør. Varmetab gennem rørophæng har også betydning. Det anbefales at udføre disse med så lille et varmetransporterende areal som muligt, evt. at udføre dem i rustfrit stål, der jo har en meget lavere varmeledningsevne end stål. Plastic var måske en mulighed.

Det anbefales endvidere at udføre alle rørstrækninger der ofte vil stå uden flow, ekspansionsledninger og forskellige rør omkring lageret, således at der altid er en varrefælde, altså at rørstrækningen begynder med en U-formet strækning, der vil forhindre strømning ved naturlig cirkulation ud i røret.

Vedrørende varmekapaciteterne i rørsystemet anføres det at der i mange anlæg er store varmekapaciteter, idet der er brugt store rørdimensioner for at opnå en rimelig væskefordeling, og måske vendt retur der forøger rørlængden.

Flere anfører også at dårlig væskefordeling og blokering af væskestrømning er store problemer. Der er altså konstateret sådanne problemer mange steder, men det er ikke særlig godt undersøgt, og det er umuligt at give et bud på hvad sådanne ting betyder for ydelsen.

Det fremhæves også at vejen frem, hvad angår sådanne solvarmesystemer, er simplificering af systemet, og et omhyggeligt og gennemført design.

Til sidst skal det så tilføjes at de seneste erfaringer (måske især fra Sverige) viser at vanskelighederne ikke er uoverstigelige. Det kan udmærket lade sig gøre at opføre store solvarmeanlæg og få den ydelse man forventer, forudsat som sædvanlig at der kommer det forbrug man forventer.

Der er heller ikke noget der tyder på at varmetab og varmekapaciteter ved store anlæg naturnødvendigt bliver meget store, således at ydelserne altid vil blive lave.

Det der er rigtigt er at det kan gå gruelig galt, og mange penge kan spildes. Det er der mange eksempler på, og der er egentlig ikke brug for flere sådanne forsøg i 1:1.

Styring af solfangerkredsen

Der skal være en styring der bestemmer hvornår pumperne skal køre, og der kan være tale om en styring af pumperne således at flowet varierer, fx efter solindfaldet.

Regulering af flowet

Det vil være sådan, alt andet lige, at jo større flowet er, jo større bliver ydelsen af solfangeren i kWh, da temperaturstigningen over solfangeren, og dermed varmetabet bliver mindst. Når man kunne tænke sig at regulere på flowet, er det for at spare på pumpeenergien, for at kunne reducere rørdimensionerne, eller for at opnå en bestemt (høj) temperaturstigning over solfangeren.

Ifølge ref. 2.2 skal man være forsigtig med at regulere flowet over et stort område, idet man så risikerer at der kommer ubalance i systemet med en dårlig flowfordeling til følge. En reduktion i flowet på fra 0,5 til 0,2 liter pr. minut pr. m² solfanger kan give en reduktion i ydelsen på mellem 3% og 15%, afhængigt af trykforhold i kredsen mv.

Den ubalance der kan opstå kan let føre til yderligere problemer idet der så kan opstå kogning lokalt i systemet, hvilket altid er farligt.

Det kan ikke siges generelt om man får en mere eller en mindre jævn flowfordeling ved at det samlede flow sænkes. Det afhænger af karakteristikken af strømningsmodstanden i rør og i solfangere. Det er derfor ikke til at sige om det er det store eller det lille flow der er kritisk.

I solvarmesystemer til små flow kan seriekobling af sektioner sikre at man får tilstrækkeligt tryktab og strømningshastighed i de enkelte elementer. Se kap. 4.

For små solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand har det vist sig at være en fordel med meget lave flow. Det skyldes formodentlig at det lave flow giver en hurtig opvarmning til en brugstemperatur således at der i lageret opstår en temperaturlagdeling der passer til forbruget med koldtvandstemperaturen i bunden og brugstemperaturen i toppen. Systemet forudsætter at der er varmeveksler i hele lagerets udstrækning, fx en kappebeholder. Flowet skal være så stort at sådan cirka hele det daglige forbrug cirkulerer igennem solfangerne en gang om dagen. Hvis forbruget er 150 liter om dagen, og solfangerarealet 4 m^2 , og driftstiden sættes til 8 timer, giver dette et flow på ca. 0,1 liter pr. minut pr. m^2 solfanger.

Der er stor interesse for disse såkaldte mikroflowanlæg, men det er vigtigt at være opmærksom på at det ikke i almindelighed gælder at ydelsen går op når flowet sættes ned.

Som udgangspunkt for dimensioneringen anbefales 0,5 liter pr. minut pr. m^2 solfanger. Det svarer til et højt flow hvor man sikrer en god afkøling af solfangerne. Kun hvor det drejer sig om solfangere uden dæklag, til svømmebade fx, er det en fordel at sætte flowet op, fx til 2 liter pr. minut pr. m^2 solfanger.

Start og stop af pumper

I små brugsvandsanlæg med brugsvand i beholderen og en meget flad varmeveksler i bunden ($1/6$ af beholderhøjden eller mindre), er det ikke nødvendigt at styre pumpen efter temperaturmålinger. Styringen kan foretages med en lysføler der slutter pumpen til når indstrålingen er højere end ca. $50\text{--}150 \text{ W/m}^2$. Eller efter et ur, der slutter pumpen til mellem kl. 8 og 16 fx, eller efter en pilotsolfanger. Det

skyldes at varmeveksleren kun kan køle bunden af lageret, som i reglen er kold alligevel da der er brugsvand i beholderen.

I forbindelse med større solvarmeanlæg er det vel tvivlsomt om et sådant system er relevant, selvom det i visse sammenhænge vil være anvendeligt.

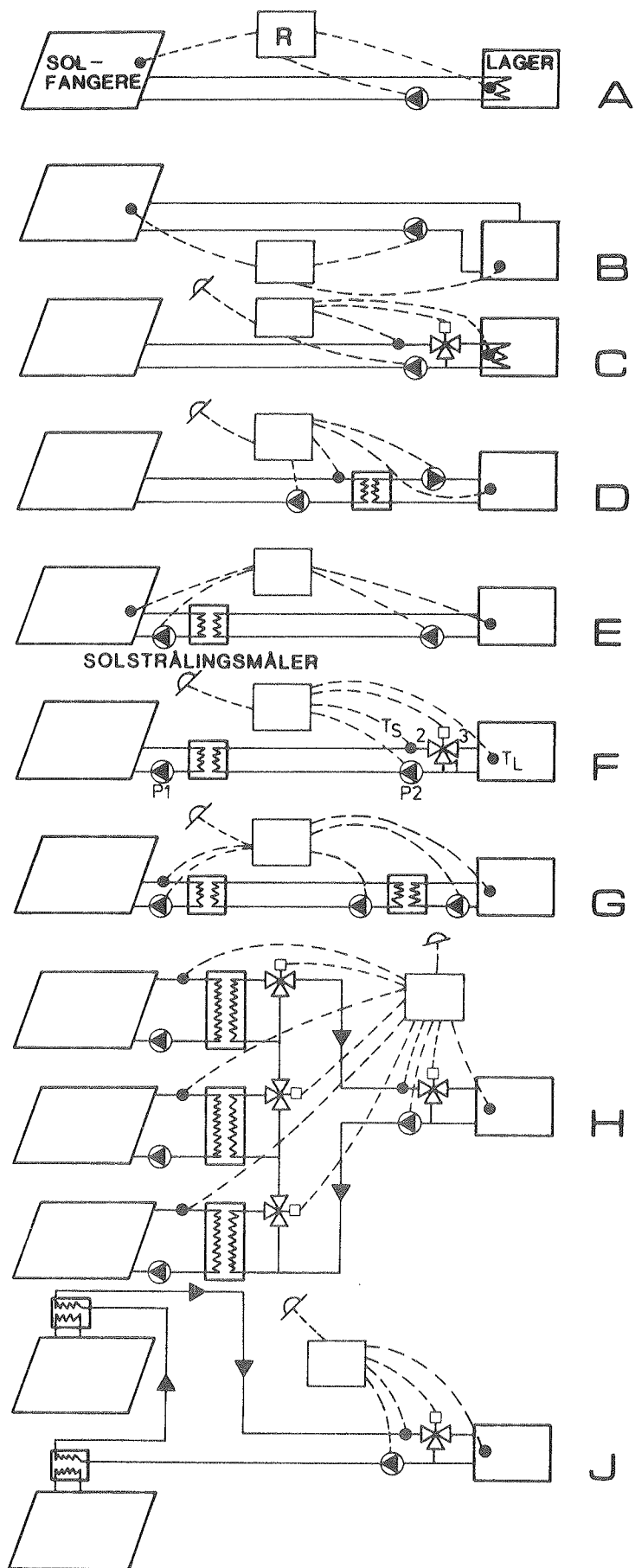
Figur 2.2 viser hvorledes styringen af forskellige systemer kan foretages. Det kan være en fordel at indbygge tidsforsinkelser i reguleringen som er tilpasset systemets varmekapaciteter, således at unødvendige stop og start undgås.

Som eksempel gennemgås styringer af anlæg F, figur 2.2.

Når solindstrålingen overstiger fx 100 W/m^2 , starter pumpen P1 og P2 på et lavt trin, trevejsventilen står i stillingen 1-2. Anlægget er nu i opvarmningsfasen, væsken cirkulerer rundt gennem rør og solfangere, dvs. at rørsystemet og væsken varmes op. Når (og hvis) temperaturen T_S bliver nogle få grader højere end T_L , kobles trevejsventilen om til stillingen 3-2, og væsken ledes nu gennem lageret som varmes op. Hvis nu temperaturforskellen $T_S - T_L$ bliver større end en fastsat værdi, reguleres pumperne op på et højere trin, således at flowet stiger og temperaturstigningen falder.

Når solstrålingen aftager, $T_S - T_L$ aftager, reguleres flowet igen ned. Når så $T_S - T_L$ er lig en indstillet værdi (stopdif-ferensen), kobler trevejsventilen om til stillingen 1-2. Når solindstrålingen når under de 100 W/m^2 igen, stopper pumperne helt.

Hvis styringen foregår som her skildret, vil det altså kunne ske at pumperne står og kører på et lavt trin hele dagen uden at der bliver produceret noget. Tilsvarende kan der være perioder dagen igennem, hvor der ikke produceres nogen solenergi, men pumperne står og kører alligevel. I almindelighed er den energi pumperne bruger så lille, at den ikke



Figur 2.2. Styring af solfangerkredsen. Vedr. de enkelte systemer, se teksten.

har betydning. Hvor langt flowet, og dermed energiforbruget, kan reguleres ned i disse perioder må man nok fastlægge under indkøring af hvert anlæg.

Hvis pumperne ikke starter pga. en fejl, trods det at solen skinner, vil der kunne opstå kogning i solfangerkredsen. Væsken vil delvis koge ud og solfangerne nå stagnationstemperaturen. Det kan da være forbundet med en del besvær at fylde og udlufte rørsystemet påny, foruden det at man på andre måder belaster systemet til det yderste. Et glas der var monteret lidt hårdt revner, en lodning går op pga. ekspansion af rørsystemet, diverse armaturer der ikke kan tåle de høje temperaturer ødelægges, sådanne ting vil som regel hænge sammen med pumpestop.

Det er derfor vigtigt i opbygningen af styresystemer, som det før beskrevne, at sikre at de pumper kører. Eventuelt i form af et system der starter pumperne hvis der opstår en fejl. Eller måske ligefrem et nødstrømsanlæg der sikrer mod strømafbrydelse hvis man på stedet har erfaring for at det hænder ofte.

3. SOLFANGEREN

Dette kapitel indskrænker sig til en gennemgang af de forskellige typer af solfangere der kan komme på tale, med tilhørende referencer til uddybende litteratur.

Der sker en hurtig udvikling på markedet, både hvad angår priser og produkter. Derfor henvises til solfangerfabrikanter og leverandører. Liste over fabrikanter fås ved henvendelse til Prøvestationen for Solvarmeanlæg.

Små solfangerelementer med plan absorber, traditionel

Almindelige små solfangerelementer (2-4 m²), som normalt anvendes til små husanlæg, kan naturligvis også bruges til store anlæg. Det er dog selvk klart at det bliver dyrere med mange små elementer idet der er flere kanter og lister mv., ligesom effektiviteten vil være lavere, da der vil være større kanttab, og større varmetab fra uundgåelige kuldebroer i kasse-glas-samlingen. Der skal vel i reglen også et større og dyrere rørsystem til at forbinde elementerne end hvis der var brugt større elementer.

Alligevel vil det ofte være en rigtig løsning ved anlæg op til nogle hundrede m². Fx fordi der er tale om en lagervare med kort leveringstid, eller fordi de passer bedre ind i en given tagflade pga. pladsforhold eller transportforhold.

Specielle plane solfangere

En solfangers største varmetab sker fra absorber ud gennem dæklaget, samme vej som strålingen kommer ind. Dette varmetab kan formindskes på forskellige måder.

Det mest almindelige er brug af selektive absorbere som nærmest er standard i dag. Solfangere med sortmalede absorbere er dog udmærket anvendelige, specielt til mindre brugsvandsanlæg kan ydelsen såmænd være ligeså stor som med se-

lektive absorbere, da der ofte er mange andre faktorer der betyder mere. Ref. 3.1.

Anvendelse af to dæklag af glas blev forsøgt i begyndelsen af udviklingen af solvarme i Danmark. Det gav for mange problemer, og udbyttet blev reduceret fordi strålingen så skulle igennem to lag glas.

Anvendelsen af to dæklag, med det inderste som en tynd folie (som regel teflon, FEP), er en del brugt nu, specielt til lidt større elementer, ref. 3.2 og 4.6. Anvendelse af to lag folie har været forsøgt, tilsyneladende uden synderligt held, hvorimod det ene lag synes at have god virkning.

Anvendelse af to lag glas er måske et godt alternativ, forudsat at der bruges jernfrit, og dermed højtransparent glas.

Det har også været forsøgt at nedsætte varmetabet ved at udskifte luften med en anden luftart med dårligere egenskaber for varmeledning. Det er effektivt nok, men en problematisk konstruktion.

Et tysk firma har lanceret en plan solfanger med vakuum imellem glas og absorber, lavt tryk i hvert fald. Der er anbragt en masse "glaspinde" til at forhindre solfangeren i at "implodere". En pumpe kører en gang imellem for at opretholde det lave tryk. Ref. 3.3.

På Laboratoriet for Varmeisolering er der projekter i gang omkring udnyttelse af et nyt produkt, transparent isolering, silica aerogel. Det lyder jo som den endelige løsning, man vil kunne fremstille meget effektive solfangere med et sådant produkt. Ligesom det jo først og fremmest vil revolutionere udnyttelsen af passiv solvarme. Der er dog en del tekniske problemer, og de endelige priser kan man ikke sige så meget om. Ref. 3.4.

Man skal være opmærksom på at højeffektive solfangere kun er til specielle formål hvor der er brug for den høje effektivitet. Til almindelige mindre anlæg til brugsvand er det ikke relevant, man kan her ikke erstatte en almindelig solfanger med en halvt så stor højeffektiv. Den helt enkle solfanger er ligeså effektiv (og ofte mere) ved lave temperaturer som en højeffektiv. Det er også værd at bemærke at 1 m² højeffektiv solfanger har et varmetab der svarer til et par meter almindeligt isoleret rør.

Større elementer

Der tænkes her på elementer der er mere end 4 meter på den ene led.

Til opbygning af store solfangerarealer er det en attraktiv løsning at bruge relativt store elementer. Det giver en mulighed for en lavere produktionspris på fabrikken, en mere rationel transport og oplægning, samt en enklere rørføring på stedet.

Endvidere er der mulighed for at forøge effektiviteten af solfangeren ved at bruge to dæklag, eller ribbeplader i polycarbonat eller acryl. Med små elementer vil kanttab og kuldebroer ofte gøre at effekten af flere dæklag er begrænset.

Der findes i denne gruppe solfangere der er velegnede til stativer, og der findes solfangere der også kan anbringes på en tagflade eller som tagflade, dog med vandtæt undertag.

En interessant mulighed er dette at anbringe solfangerne på stativer der er så høje at arealet under solfangerne kan udnyttes. Det giver mulighed for at bruge solvarme i bebyggede områder, fx kunne der være parkeringspladser under solfangerne. Arealet kan også udnyttes til dyrkning af afgrøder der tåler skygge. Ref. 3.2 og 3.5.

På stedet opbyggede solfangere

Herved forstås solfangere der er bygget op der hvor de skal stå. Absorberen er dog ofte fremstillet på fabrik, men der er set solfangere hvor absorberen også er lavet på stedet.

Der er både fordele og ulemper ved metoden.

Fordele: Der kan opnås en fin arkitektonisk løsning på en tagflade, idet taget simpelthen erstattes med solfangere. Der vil kunne spares materialer i forhold til en løsning med elementer produceret på fabrik. Eksempelvis kan bagplader etc. undværes. Solfangeren kan bygges således at den samtidig udgør isolering for bygningen.

Ulemper: Omkostninger og besvær med materialer og værktøj til byggepladsen. Større spild af materialer. Afhængighed af vejrlig og besværligheder med koordinering med andre entrepriser. Behov for uddannet personale på stedet. Problemer med utætheder og indtrængning af regnvand.

Der er set solfangere i denne gruppe både til stativmontering og tagmontering. Ref. 3.5.

Marksolfangere

En marksolfanger er en vandret solfanger, bygget umiddelbart oven på terrænet, med isolering, absorber og dæklag. Ref. 3.8.

Der er mulighed for at en sådan kan blive billig, det er den væsentligste fordel ved typen. Den giver også en meget høj ydelse pr. m² jordflade om sommeren, højere end solfangere på stativ.

Af ulemper kan nævnes at den stort set ikke vil virke om vinteren, dels på grund af hældningen (refleksioner i dæklaget), dels fordi sne vil dække solfangeren i perioder.

Der er heller ikke mulighed for at udnytte arealet til andet, som med solfangere på høje stativer.

En speciel type marksolfanger med et stort kuppelformet dæklag, evt. holdt oppe med et overtryk, har været foreslået.

Måske kunne en modificeret udgave være velegnet til brugsvandsanlæg på større bygninger med flade tage, fx hoteller.

Flydende solfanger

Der har været arbejdet med at udvikle flydende solfangere til anvendelse i forbindelse med sæsonlagre. Tanken er at solfangeren flyder på lageret og samtidig udgør isolering for lageret og solfanger til lageret. Ref. 3.9.

Solfanger uden dæklag

Solfangere uden dæklag er almindeligt kendt og brugt. De bruges mest til opvarmning af svømmebade.

Rislesolfangere

En rislesolfanger er en solfanger hvor væsken løber (risler) ned over absorbereren. Af hensyn til fordampningen er det nødvendigt at bruge olie som varmeabsorberende væske, evt. sort olie. Der er vist aldrig nogen der har haft egentlig succes med sådanne solfangere.

Koncentrerende solfangere og solfangere med vakuum

Der findes mange typer af solfangere under denne gruppe. Se fx ref. 3.10.

Af særlig interesse i denne forbindelse er en type der bygger på glasrør (ca. 6-10 cm i diameter) med vakuum og med en selektiv absorber indbygget. Enten opbygget med to rør, eller som en heat-pipe, hvor varmen transporteres ud af røret i absorbereren ved en fordampning/kondensering af en væske. Uden om rørene findes en reflektor der reflekterer strålingen til den side af absorbereren der vender væk fra solen. Reflektoren kan være mere eller mindre koncentrerende. Hvis der bruges en høj grad af koncentrering, kan der spares på rørene, til gengæld fås så optiske tab, eller også skal solfangeren drejes efter solen.

Effektiviteten af sådanne solfangere kan være høj, men generelt er de dårligere ved lavere temperaturer (meget afhængigt af typen) end plane solfangere. Man skulle tro at prisen på de evakuerede rør kunne blive lav, da der medgår ret lidt materiale til sådan et rør. Fremstillingsprocessen er dog kompliceret, og priserne er fortsat ret høje på selve røret, hvorfor det nok kan svare sig at koncentrere lyset en del.

4. RØRSYSTEMER

Dette kapitel handler om dimensionering af solfangerkredsen, herunder valget parallel/seriekobling og dimensionering af rør og pumper. Desuden er der et afsnit om problemet kavitation i pumpen, om placering af åben ekspansionsbeholder, om transmissionsledning og om udluftning.

Vedrørende valget af princip for solfangerkredsen, placering af varmeveksler mv. henvises til kapitel 2, systemopbygning.

Beregning af flowfordeling og rørdimensioner

Antal solfangere i parallel

Indledningsvis er der gennemført beregninger med 3 forskellige solfangere: en med et lille, en med et gennemsnitligt og en med et stort tryktab. De 3 udvalgte solfangere er prøvet både hvad angår effektivitet og tryktab, og solfangerne og prøvningerne er detaljeret beskrevet i ref. 4.1, 4.2 og 4.3. Tryktabet i solfangerne P_s bestemmes af:

$$P_s = \begin{cases} 17,4 M^{1,37} \text{ kPa for SUNVEX-solfangertype: Model 82-2} \\ 26,9 M^{1,23} \text{ kPa for BATEC-solfangertype: BA22 selektiv} \\ 72,9 M^{1,14} \text{ kPa for Dansk Solvarme-solfangertype: KPV} \end{cases}$$

M er massestrømmen igennem solfangeren, kg/s.

Det benyttede simuleringsprogram er udviklet og beskrevet i ref. 4.4. Programmet beregner for forskelligt opbyggede rørsystemer/solfangerarealer volumenstrømmen igennem hver enkelt solfanger samt tryktabet i solfangerarealet og i hele anlægget. Endvidere beregnes ydelsen for solfangerne i et typisk anlæg til brugsvandsopvarmning i forhold til ydelsen for solfangerne i samme anlæg med en jævn volumenstrømfordeling, altså i et anlæg med samme volumenstrøm igennem alle solfangerne.

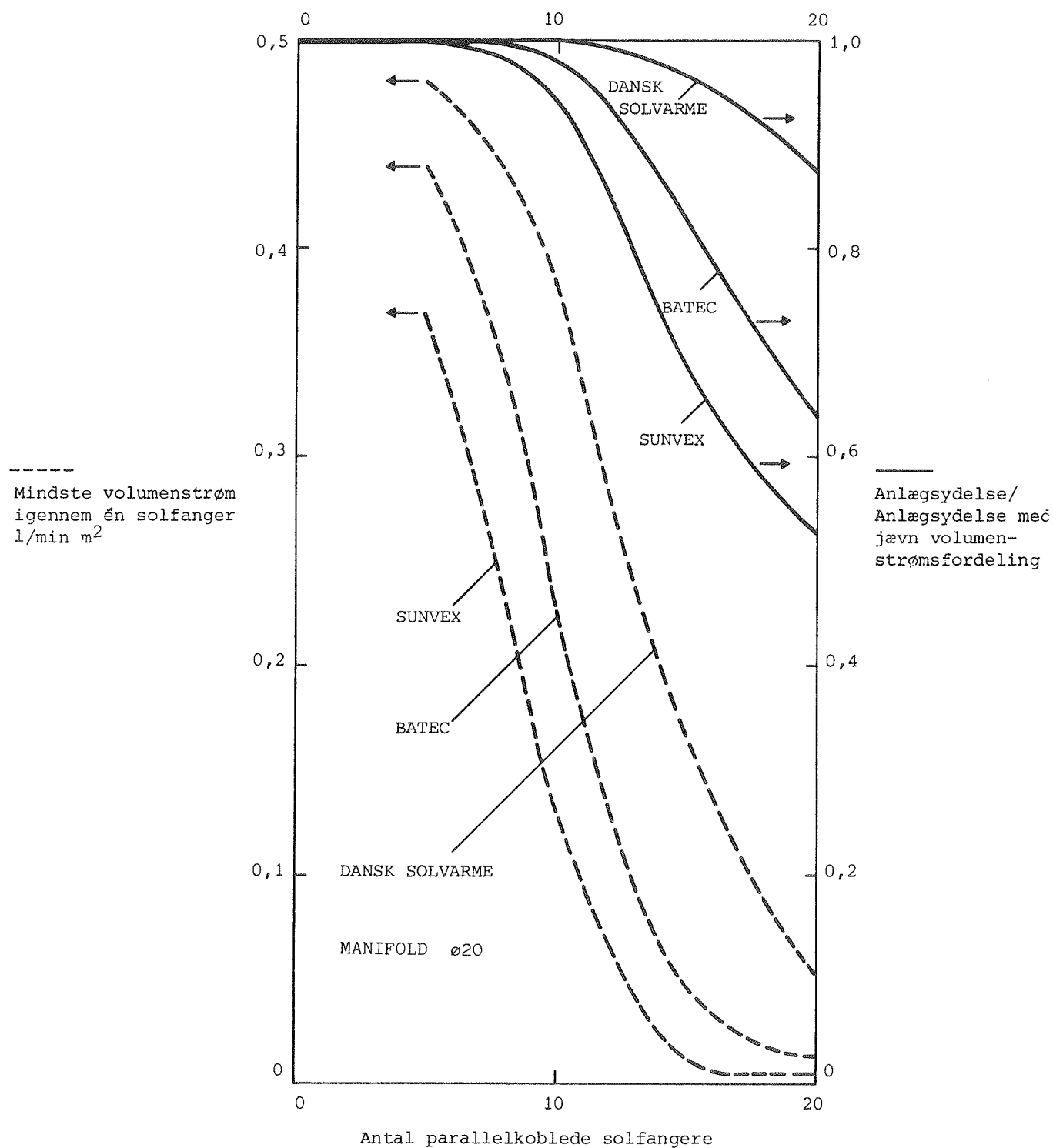
Der er udført beregninger med simuleringsprogrammet med parallelkoblede solfangere. I disse beregninger tænkes solfangerne udformet således at manifoldrør er placeret øverst og nederst i hver enkelt solfanger. Disse manifoldrør antages at være kobberrør, hvis diameter kan varieres. Antallet af solfangere, som parallelkobles, kan ligeledes varieres. En 50% vand/propylenglycol blanding benyttes som solfangervæske, og der regnes med en volumenstrøm i solfangerkredsen på $0,5 \text{ l/min m}^2$. I beregningerne forudsættes endvidere at solfangernes maksimaleffektivitet og varmetabskoefficient ikke afhænger af volumenstrømmen. Beregningsresultaterne fremgår af figur 4.1-4.4.

Jo flere solfangere der parallelkobles, des skævere bliver volumenstrømfordelingen i solfangerne, des mindre bliver den mindste volumenstrøm igennem én solfanger og des mindre bliver anlægsydelsen i forhold til ydelsen fra et anlæg med jævn volumenstrømfordeling.

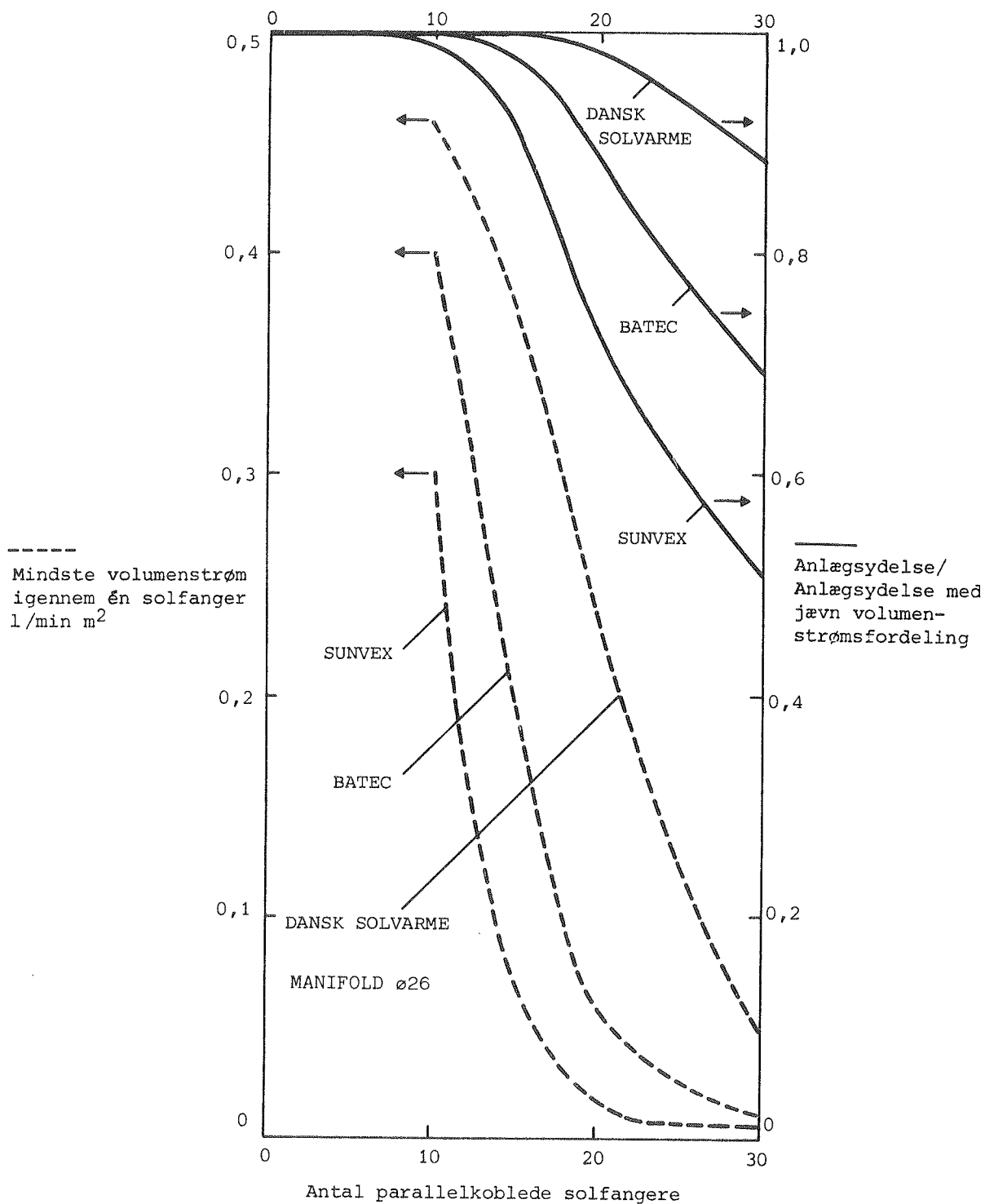
Solfangere med store tryktab er fordelagtige, idet der kan parallelkobles flere solfangere med store tryktab end solfangere med små tryktab uden at ydelsen reduceres på grund af en skæv volumenstrømfordeling.

Jo større solfangerens manifoldrørdiameter bliver, des flere solfangere kan parallelkobles uden at ydelsen reduceres på grund af skæv volumenstrømfordeling. Dette skyldes at volumenstrømfordelingen i solfangerne bliver mest ensartet, når størstedelen af tryktabet i solfangeren er knyttet til selve absorberen.

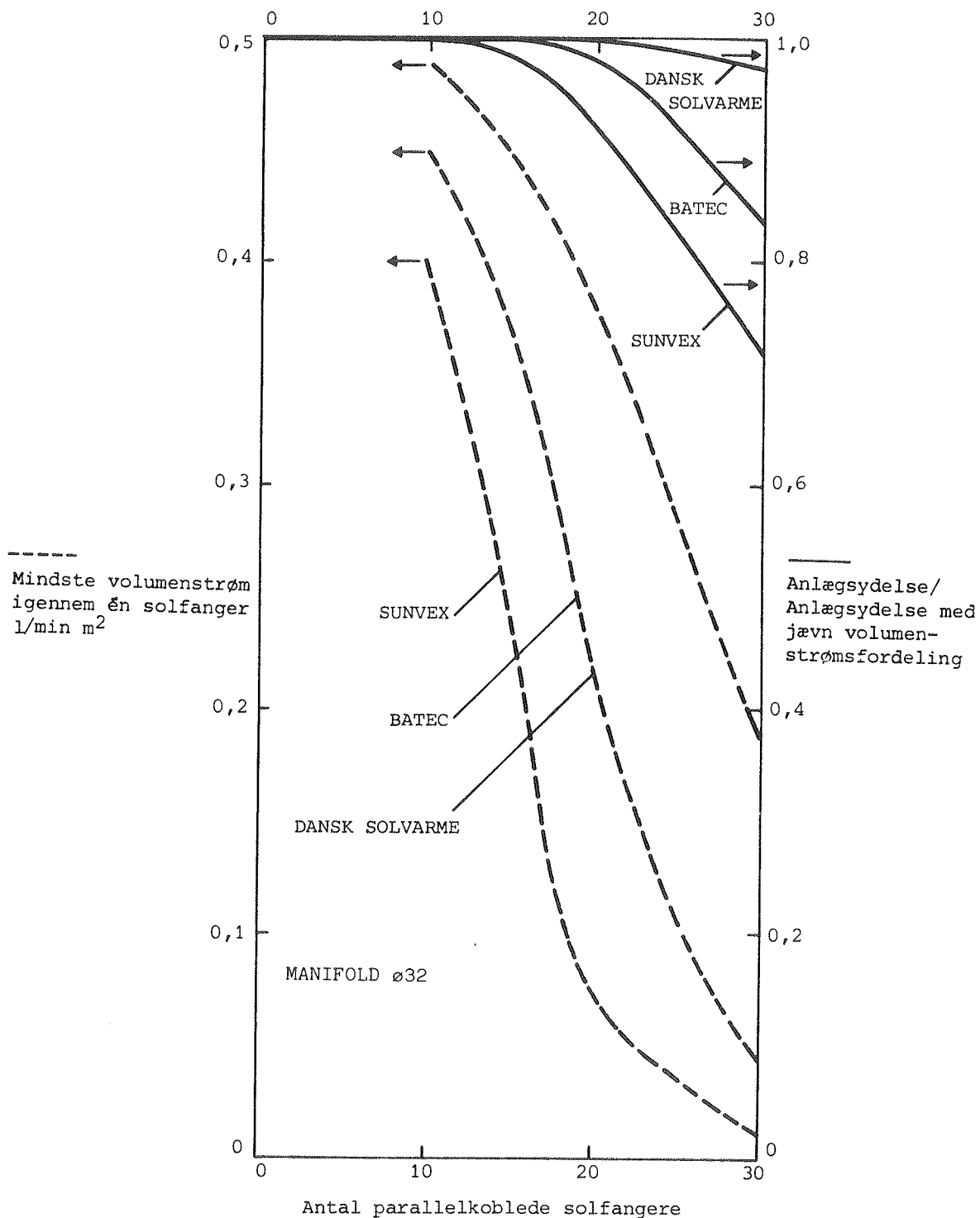
Hvor mange parallelkoblede solfangere, der maksimalt bør benyttes, afhænger ikke udelukkende af de ovenfor anførte vurderinger. Det må desuden sikres, at volumenstrømmen i hver enkelt solfanger er tilstrækkelig stor til at luft kan drives videre i solfangerkredsen.



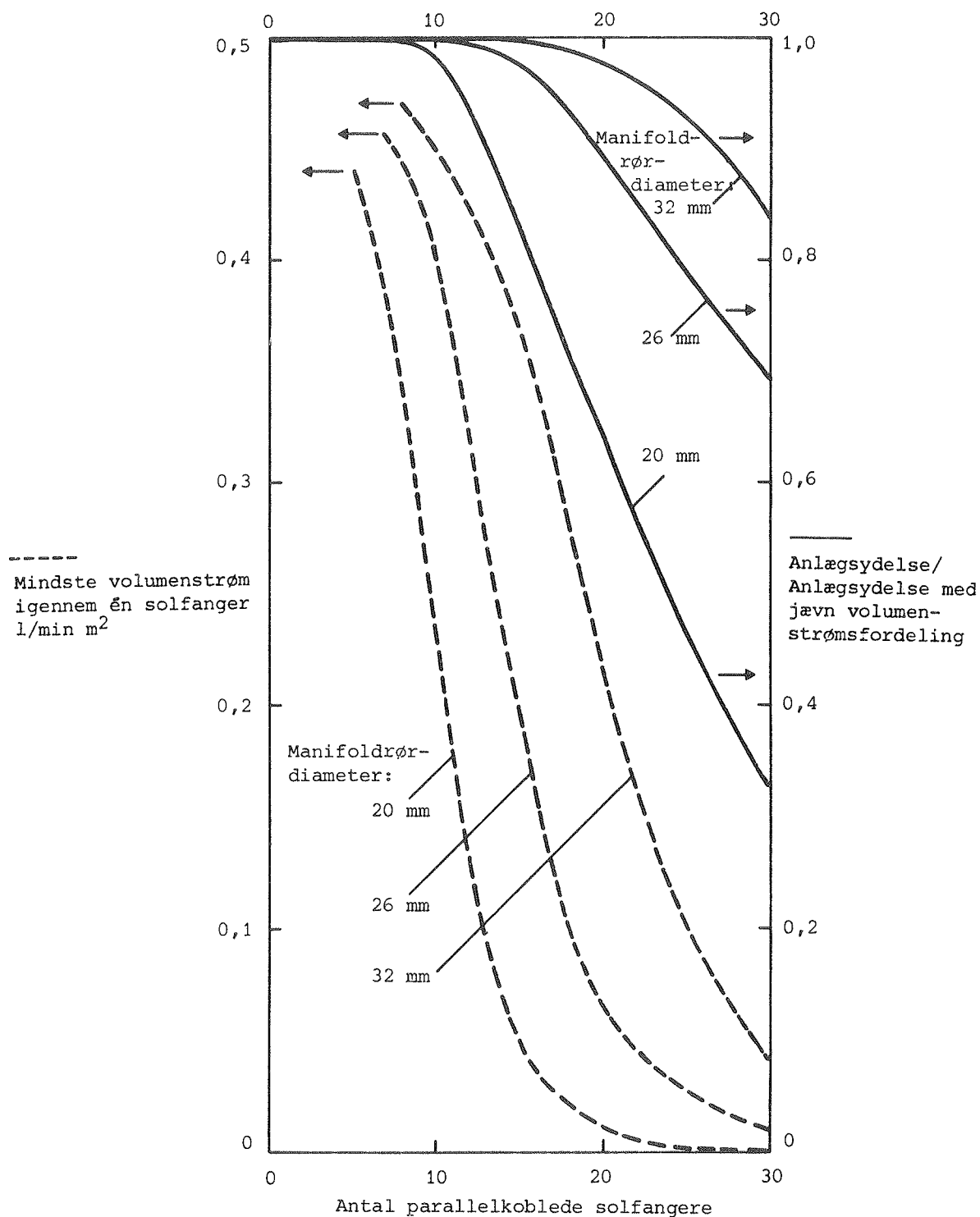
Figur 4.1. Mindste volumenstrøm igennem én solfanger og anlægsydelsen i forhold til ydelsen for et anlæg med jævn volumenstrømfordeling som funktion af solfangertypen og antallet af parallelkoblede solfangere. Manifoldrørets diameter: 20 mm.



Figur 4.2. Mindste volumenstrøm igennem én solfanger og anlægsydelsen i forhold til ydelsen for et anlæg med jævn volumenstrømfordeling som funktion af solfangertypen og antallet af parallelkoblede solfangere. Manifolddrørets diameter: 26 mm.



Figur 4.3. Mindste volumenstrøm igennem én solfanger og anlægsydelsen i forhold til ydelsen for et anlæg med jævn volumenstrømfordeling som funktion af solfangertypen og antallet af parallelkoblede solfangere. Manifoldrørets diameter: 32 mm.



Figur 4.4. Mindste volumenstrøm igennem én solfanger og anlægsydelsen i forhold til ydelsen for et anlæg med jævn volumenstrømsfordeling som funktion af antallet af parallelkoblede BATEC-solfangere og manifoldrørets diameter.

Af figur 4.1-4.4 ses, at det er muligt at vælge manifoldrør-diameter og solfangertype således, at det ud fra et ydelsesmæssigt synspunkt er rimeligt at parallelkoble omtrent 20 solfangere.

Det er naturligvis også muligt at opnå en ensartet volumenstrømfordeling i store solfangerarealer ved at parallelkoble et færre antal solfangere i delgrupper, som seriekobles med andre delgrupper.

Fra figur 4.1-4.4 ses, at en solfangergruppe med et areal på omtrent 40 m^2 fx kan opbygges som angivet i figur 4.4a uden at ydelsen på grund af skæv volumenstrømfordeling reduceres nævneværdigt. I tabellen er de beregnede tryktab over solfangergruppen desuden angivet ved en total volumenstrøm igennem solfangergruppen på $0,5 \text{ l/min m}^2$.

Solfanger	Antal parallelkoblede solfangere i delgruppe	Antal seriekoblede delgrupper	Tryktab over 40 m^2 solfangere
SUNVEX-solfangertype: Model 82-2 med 26 mm manifoldrør	10	2	0,26 mVS
BATEC-solfangertype: BA22 selektiv med 20 mm manifoldrør	10	2	0,75 mVS
BATEC-solfangertype: BA22 selektiv med 32 mm manifoldrør	20	1	0,15 mVS
Dansk Solvarme-solfangertype: KPȲ med 26 mm manifoldrør	20	1	0,45 mVS

Figur 4.4a. Eksempler på opbygning af 40 m^2 solfangerareal med ensartet volumenstrømfordeling i solfangerne.

Beregning af rørdimensioner på fordelerrør

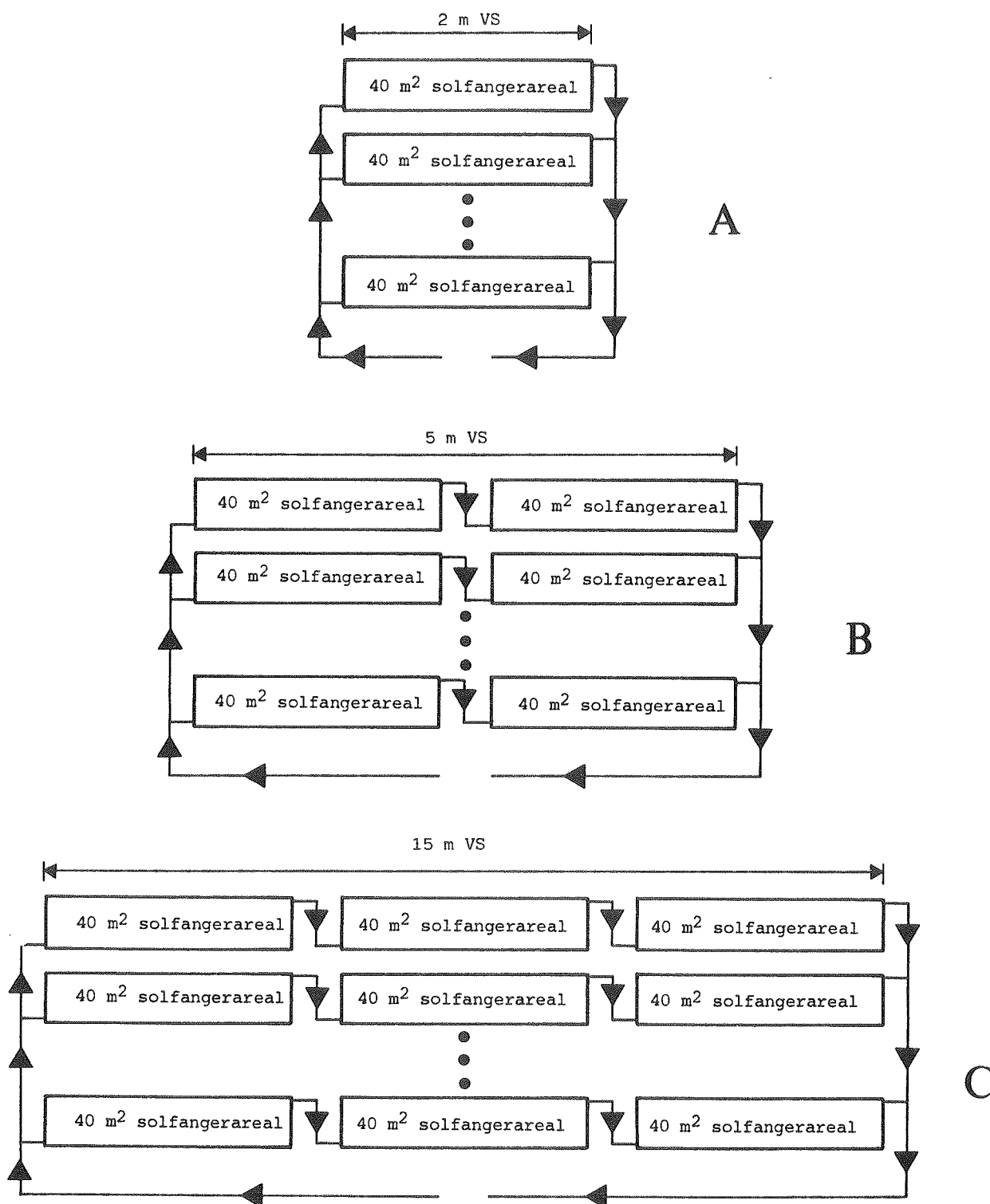
I de følgende beregninger er de store solfangerfelter opbygget af en række 40 m^2 store solfangergrupper, hver bestående

af 20 2 m^2 solfangere. Hver solfangergruppe består enten af 20 parallelkoblede solfangere eller af flere seriekoblede delgrupper, hver bestående af et mindre antal parallelkoblede solfangere. Eller evt. af et færre antal, men til gengæld større solfangere.

Tre forskellige opbygninger af solfangerfeltet er taget i beregning, se figur 4.5. Solfangervæsken er en 50% vand/propylenglycol blanding, og der er regnet med en volumenstrøm i solfangerkredsen på $0,5 \text{ l/min m}^2$. I opbygning A, hvor solfangergrupperne er parallelkoblede, er et tryktab på hhv. 1 mVS og 2 mVS over en solfangergruppe taget i beregning. I opbygning B, hvor to solfangergrupper er seriekoblede, regnes tryktabet over to seriekoblede solfangergrupper at være 5 mVS. I opbygning C, hvor tre solfangergrupper er seriekoblede, regnes tryktabet over tre seriekoblede solfangergrupper at være 15 mVS.

I praksis vil man normalt ikke benytte samme rørdimension overalt i anlægget. I de dele af rørsystemet, hvor volumenstrømmen er lille, kan der benyttes mindre rørdimensioner end i de dele hvor volumenstrømmen er stor, uden at volumenstrømfordelingen i solfangerarealet af den grund ændres væsentligt. I beregningerne er der for simpelthedens skyld regnet med samme rørdimensioner overalt i solfangerkredsen. Kobberrør såvel som stålør med hver deres karakteristiske ruheder er taget i beregning.

Figur 4.6-4.8 viser beregningsresultaterne for de tre systemopbygninger. Forholdet mellem den største volumenstrøm igennem én solfangergruppe og den mindste volumenstrøm igennem én solfangergruppe for hele solfangerfeltet er vist som funktion af det i hele solfangerkredsen benyttede rør og som funktion af solfangerarealet. Forholdet er et udtryk for hvor ensartet volumenstrømfordelingen er i solfangerfeltet. Jo nærmere 1,0 forholdet er, des mere ensartet er volumenstrømfordelingen. Jo større rør der benyttes, des mere ensartet bliver volumenstrømfordelingen. Jo mindre solfan-



Figur 4.5. Principskitse af de 3 opbygninger af solfangerfeltet. Der er angivet tryktabet over en streng med et flow på $0,5 \text{ l/min m}^2$.

gerarealet er, jo mere ensartet bliver volumenstrømfordelingen, altså kan mindre rør benyttes til mindre solfangerarealer. Af figur 4.6 ses desuden, at des større tryktabet over solfangerne er, des mindre rør kan benyttes.

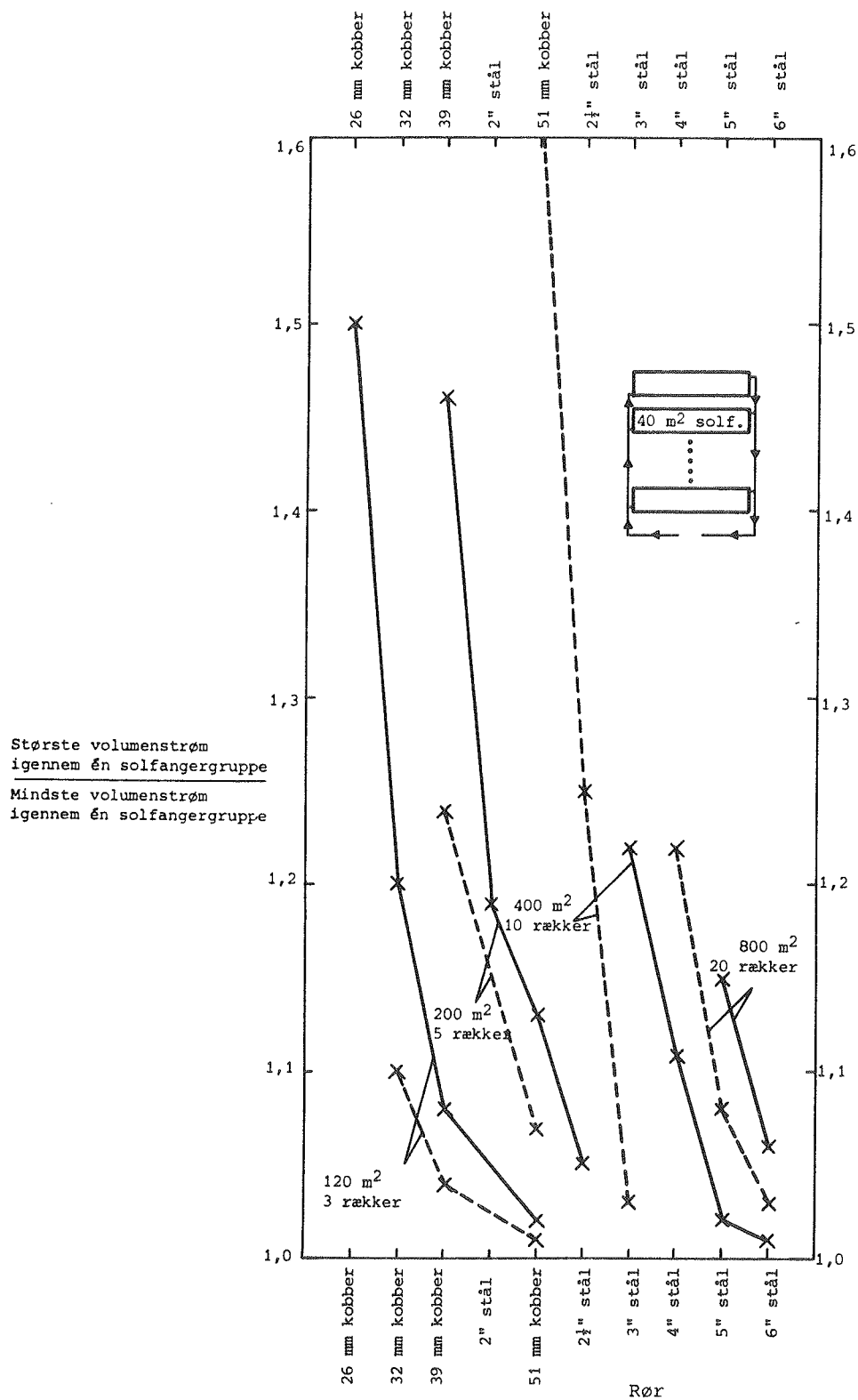
Figur 4.9 viser den mindste rørdimension, som resulterer i at forholdet mellem største volumenstrøm igennem én solfangergruppe og mindste volumenstrøm igennem én solfangergruppe er mindre end 1,10, som funktion af solfangerarealet for de tre systemopbygninger. Volumenstrømfordelingen er således rimelig ensartet, både inden for hver enkelt solfangergruppe og imellem de enkelte solfangergrupper.

Opbygning C med de tre seriekoblede solfangergrupper med det store tryktab kræver de mindste rør, mens opbygning A med parallelkoblede solfangergrupper og med det lille tryktab over solfangergruppen kræver de største rør. En af årsagerne til de markante og uregelmæssige knæk på kurverne er, at volumenstrømsfordelingen i solfangerfeltet ikke overalt på kurverne er ens. Forholdet mellem den største volumenstrøm igennem én solfangergruppe og den mindste volumenstrøm igennem en solfangergruppe kan således variere mellem 1,0 og 1,1. Ligeledes er der kun et begrænset antal rørdimensioner. Man må holde sig til de rørdimensioner, som forefindes.

Figur 4.9 benyttes til bestemmelse af rørdimensionen, hvis tryktabet over solfangergruppen/solfangergrupperne er som forudsat, dvs. enten 1 mVS over 40 m² solfangere, 2 mVS over 40 m² solfangere, 5 mVS over 80 m² solfangere eller 15 mVS over 120 m² solfangere.

Praktisk metode til omregning til andre tryktab

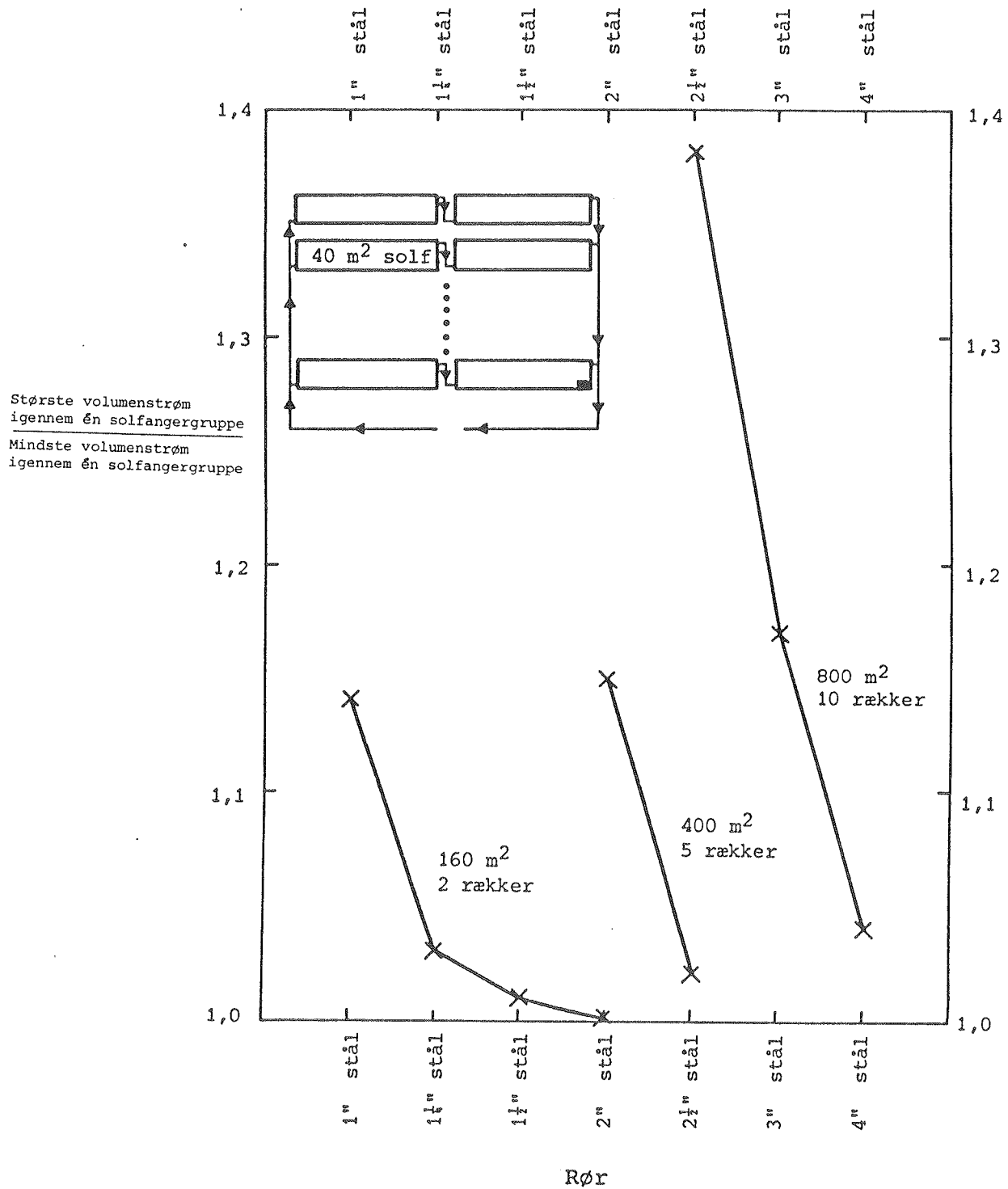
Er tryktabsforholdene anderledes, eller nødvendiggør pladsforholdene at der benyttes andre størrelser solfangergrupper, foretages en grov korrektion som vist ved hjælp af to eksempler i det følgende. Fremgangsmåden til bestemmelse af rimelige rørdimensioner fremgår af figur 4.10a.



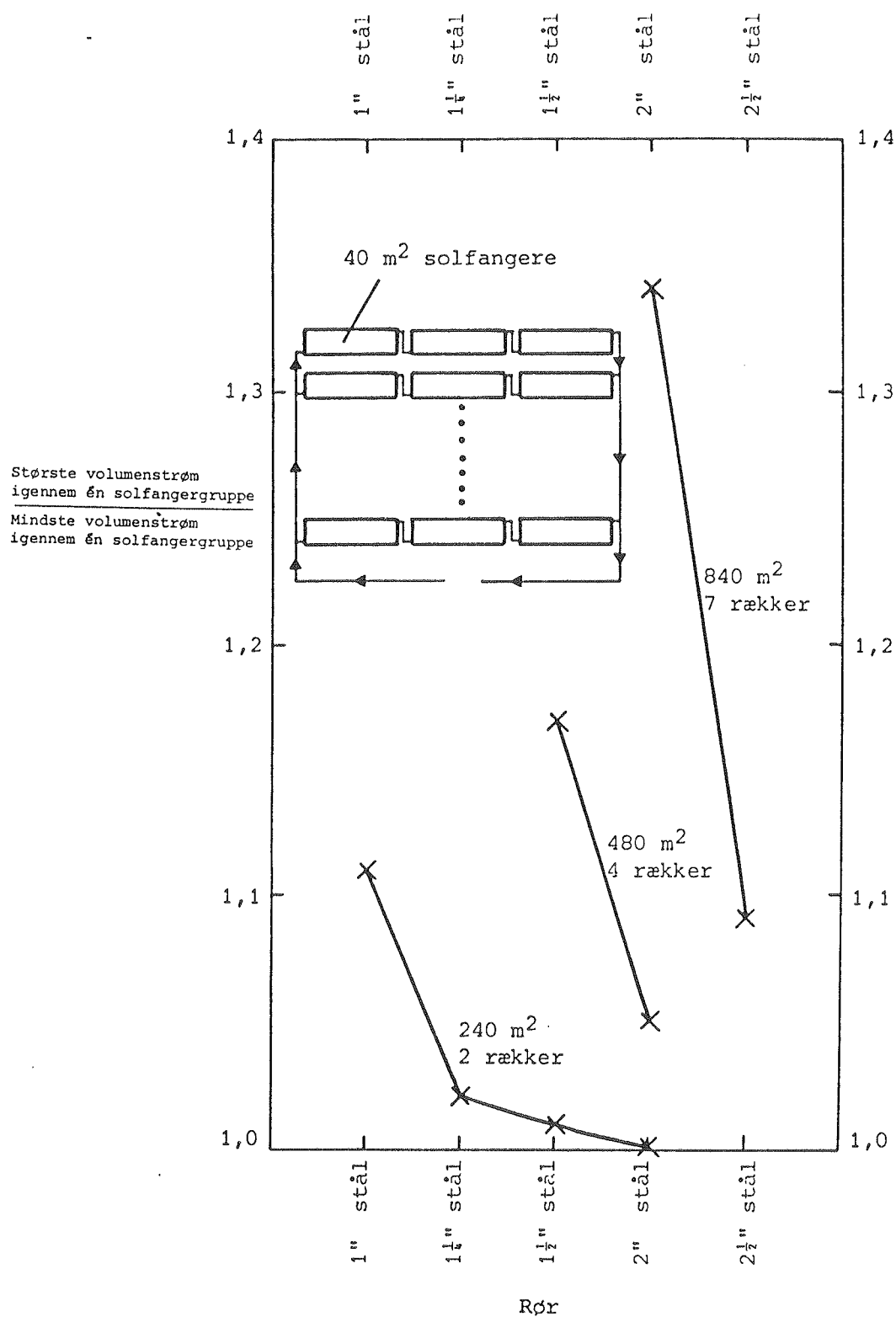
Figur 4.6. Forholdet mellem største og mindste volumenstrøm igennem én solfangergruppe som funktion af rørdimension, solfangerareal og tryktab over solfangergruppe for systemopbygning A.

1 mVS tryktab over 40 m² solfangergruppe: ———

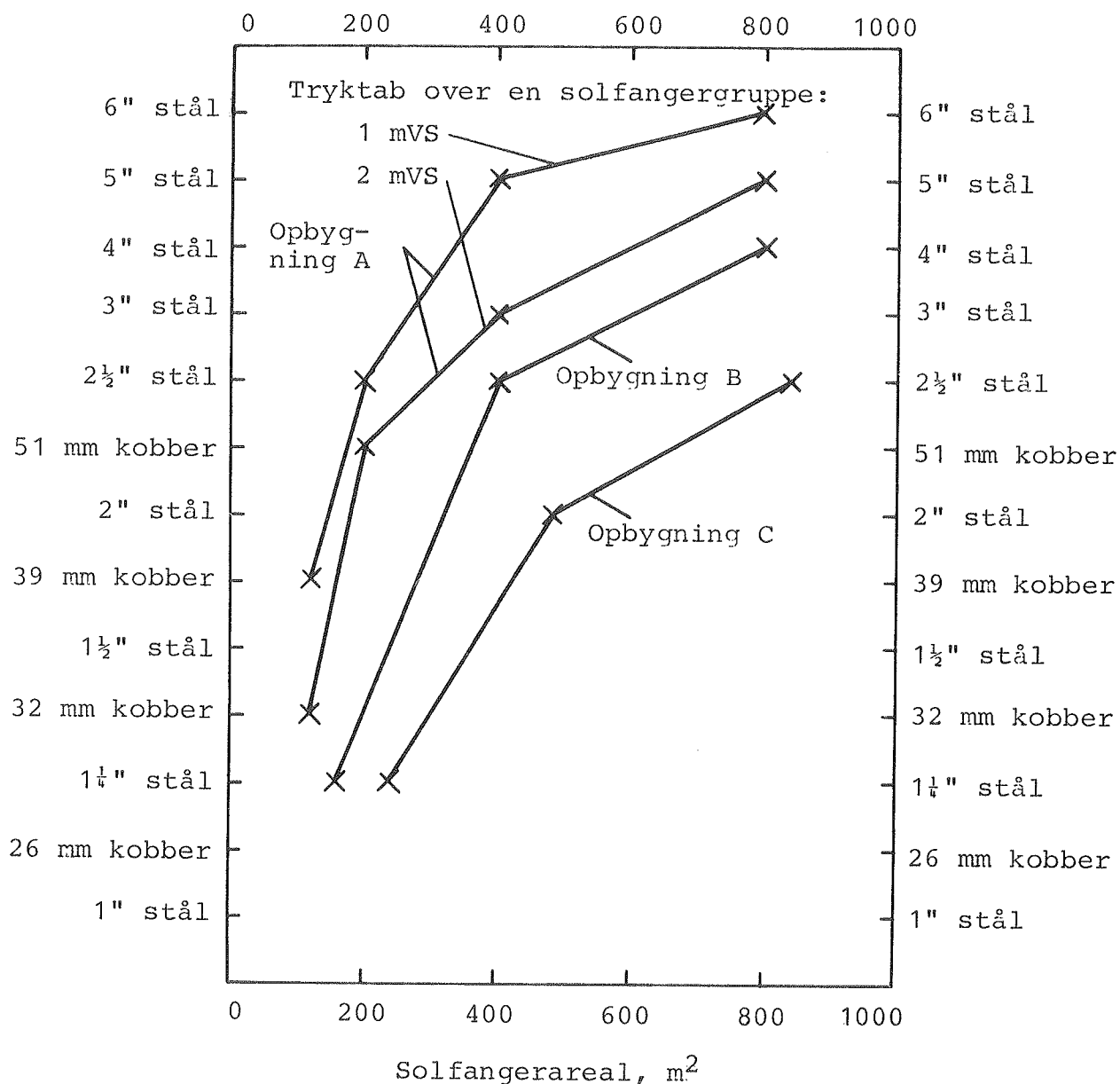
2 mVS tryktab over 40 m² solfangergruppe: - - - - -



Figur 4.7. Forholdet mellem største og mindste volumenstrøm igennem én solfangergruppe som funktion af rør-dimension og solfangerareal for systemopbygning B.



Figur 4.8. Forholdet mellem største og mindste volumenstrøm igennem én solfangergruppe som funktion af rørdimension og solfangerareal for systemopbygning C.



Figur 4.9. Mindste rørdimension, som resulterer i at forholdet mellem største volumenstrøm igennem én solfangergruppe og mindste volumenstrøm igennem én solfangergruppe er mindre end 1,10, som funktion af solfangerareal og systemopbygning.

Tabellen udfyldes gradvis fra oven. Figur 4.9 benyttes til at finde referenceanlægget, som benyttes ved korrektionen. Figur 4.10 benyttes til at finde tryktabet i solfangerkredsen for referenceanlægget og til at finde rørdimensionen, som resulterer i samme tryktab. Det er derfor sandsynligt at den fundne rørdimension resulterer i en jævn volumenstrømfordeling i hele solfangerfeltet.

Figur 4.10b er tryktabsnomogrammet for stålrør, som er benyttet i begge eksempler. Figur 4.10c er tryktabsnomogrammet for kobberrør. Begge nomogrammer gælder for vand ved 10°C og derfor omtrent til propylenglycol/vandblandinger ved typiske driftstemperaturer. Nomogrammerne stammer fra VVS ståbi.

Optimal systemopbygning og rørdimension når pumpepris og pumpeenergi medregnes

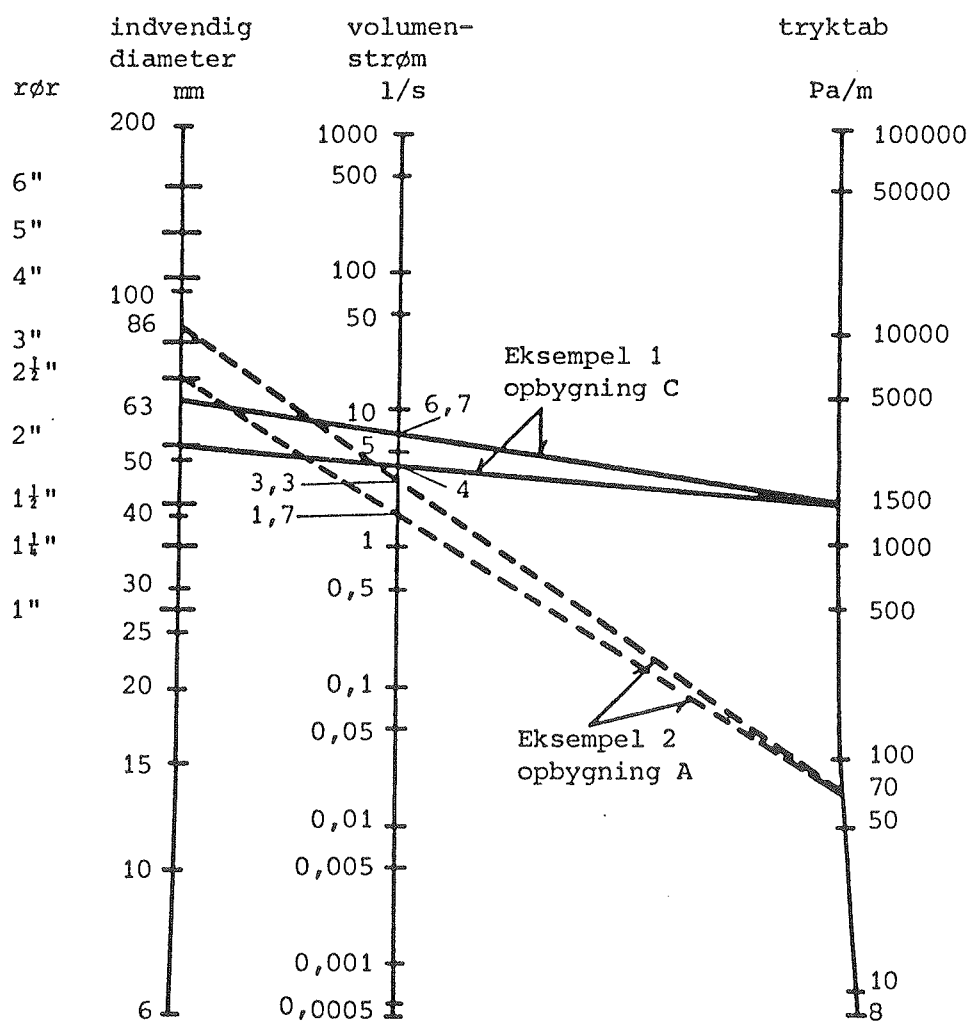
Den optimale systemopbygning og den optimale dimension for rørene i solfangerkredsen afhænger naturligvis ikke kun af volumenstrømfordelingen i solfangerfeltet og af ydelsen af solfangerne.

Pladsforholdene, prisen for rørsystemet og for pumpen samt energiudgifterne til pumpens drift spiller en afgørende rolle ved udformningen af anlægget. Yderligere arbejde er påkrævet inden for dette område, før værktøjet til bestemmelse af anlægsudformningen er færdigudviklet. Eksempelvis vil den optimale rørdiameter, som forudsat i dette arbejde, ikke være den samme overalt i solfangerkredsen.

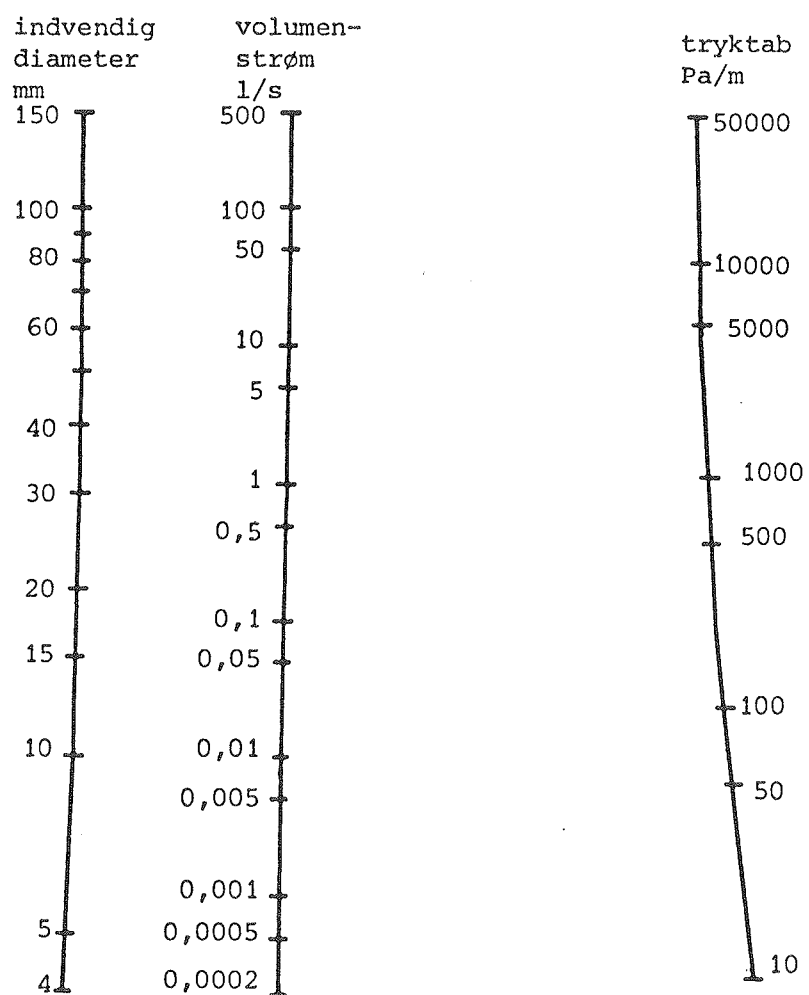
I det følgende er vist et eksempel på hvorledes den optimale anlægsudformning kan findes når udgangspunktet vælges i de på figur 4.9 anførte systemopbygninger og rørdimensioner, der som nævnt resulterer i at der opnås en rimelig ensartet volumenstrømfordeling i solfangerfeltet. Det antages derfor, at ydelsen af disse anlæg udelukkende afhænger af solfangerarealet. Rørlængden af solfangerkredsen er vurderet ud fra systemopbygningen, eksempelvis er rørlængden fra/til varmelageret til/fra solfangerfeltet overalt i det følgende regnet at være 20 m. I praksis vil rørlængden naturligvis afhænge stærkt af pladsforholdene. Prisen for den isolerede solfangerkreds er vurderet ved hjælp af ref. 4.5, og pumpen for de forskellige anlæg er valgt på basis af de beregnede tryktab over hele solfangerkredsen.

Rækkefølge ved korrektion	Eksempel 1	Eksempel 2	Eksempel
<u>Aktuelt solvarmeanlæg</u>			
Systemopbygning	C	A	
Antal rækker	4	5	
Tryktab over én række ved 0,5 l/min m ² , mVS	15	1	
Total solfangerareal, m ²	800	400	
Solfangerareal pr. række, m ² /række	200	80	
Total volumenstrøm i solfangerkreds, l/min,	400	200	
l/s	6,7	3,3	
<u>Referenceanlæg, figur 4.9</u>			
Systemopbygning	C	A	
Antal rækker	4	5	
Tryktab over én række ved 0,5 l/min, mVS	15	1	
Totalt solfangerareal, m ²	480	200	
Solfangerareal pr. række, m ² /række	120	40	
Rør	2"	2½"	
Indre rørdiameter, mm	53	68,8	
Total volumenstrøm i solfangerkreds, l/min	240	100	
l/s	4	1,7	
<u>Korrektion, figur 4.10 b eller c</u>			
Tryktab pr. m rør i den del af referenceanlæggets solfangerkreds, hvori hele volumenstrømmen strømmer, Pa/m	1500	70	
Indvendig rørdiameter, som resulterer i samme tryktab som i referenceanlæg, mm	63	86	
Rør i solvarmeanlæggets solfangerkreds	<u>~2½"</u>	<u>3"-4"</u>	

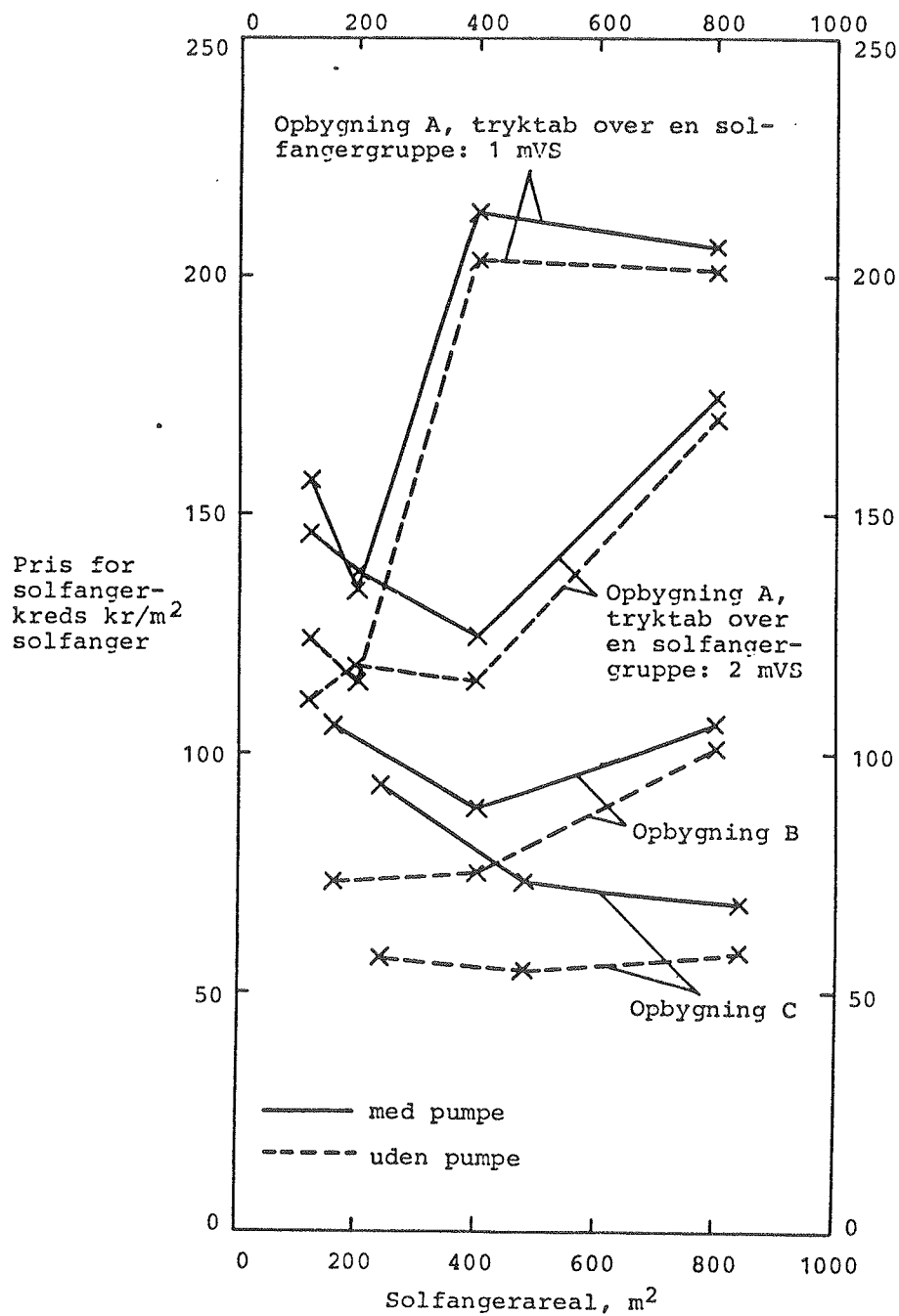
Figur 4.10a. Fremgangsmåde ved bestemmelse af rørdimensioner i solfangerkredsen.



Figur 4.10b. Tryktabsnomogram for stålør. Gælder for vand ved 10°C.



Figur 4.10c. Tryktabsnomogram for kobberrør. Gælder for vand ved 10°C.



Figur 4.11. Prisen for solfangerkredsen med og uden prisen for pumpen som funktion af systemopbygning og solfangerareal.

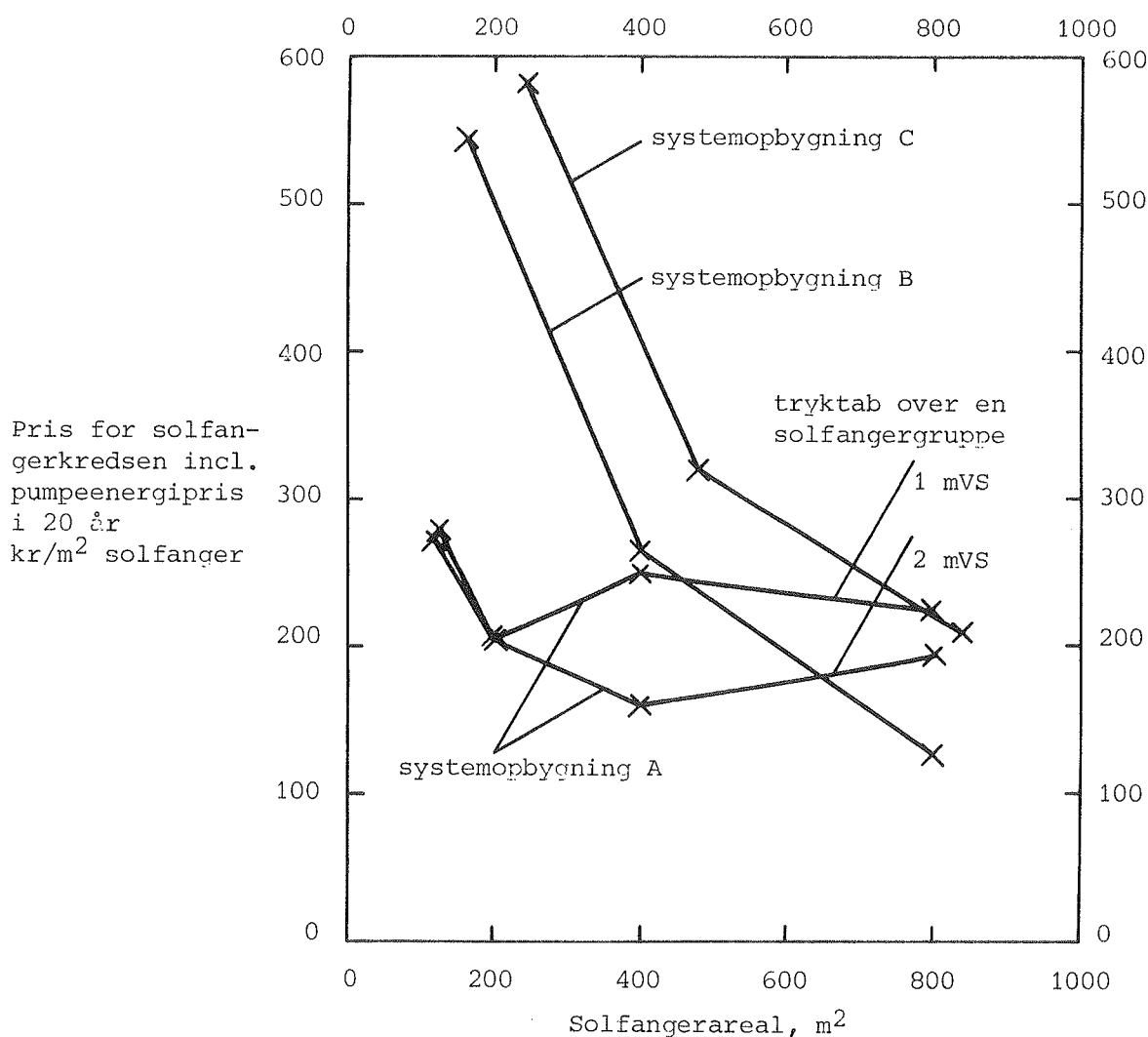
Figur 4.11 viser solfangerkredsens pris med og uden prisen for pumpen for de forskellige systemopbygninger som funktion af solfangerarealet. Det ses at anlægsprisen bliver mindst for systemopbygning C med de tre seriekoblede solfangergrupper med det store tryktab. Denne systemopbygning kræver imidlertid en pumpe med et større effektforbrug end de øvrige systemopbygninger. Figuren kan derfor ikke benyttes til at finde den optimale anlægsudformning.

En el-pris på 0,80 kr/kWh og en levetid for solvarmeanlægget på 20 år er antaget i figur 4.12, hvor solfangerkredsens pris inkl. udgifterne for pumpedriften er vist som funktion af systemopbygning og solfangerareal. Systemopbygning A med et tryktab på 2 mVS over en solfangergruppe synes at være den bedste løsning for anlægsstørrelser op til omtrent 600 m². Herfra synes systemopbygning B med de 2 seriekoblede solfangergrupper at være mere velegnet. Ved projekteringen af anlægget må det dog ikke glemmes, at ydelsen fra de forskellige systemopbygninger kan være forskellig på grund af forskelle i rørsystemets varmetab og varmekapacitetstab. Disse forhold er beskrevet i kapitel 5.

Navnlig hvis der benyttes solfangere med små tryktab kan rørsystemets varmekapacitetstab blive uacceptabelt stort for meget store solfangerfelter, som producerer varme ved et højt temperaturniveau. I sådanne anlæg kan det anbefales, som det er beskrevet i kapitel 5, at starte pumpen allerede ved solopgang. Er rørsystemets varmekapacitetstab uacceptabelt stort også med denne styring, kan ventilerne i de parallelle strenge med solfangerne indstilles således at tryktabet forøges og så volumenstrømfordelingen bliver ensartet. Herved kan der benyttes mindre rør i rørsystemet. En anden mulighed for at løse problemet er at opføre anlægget efter tømmesystemprincippet.

Under alle omstændigheder bør opbygningen sikre store tryktab over solfangerne, når der er tale om meget store solfangerfelter.

Ovennævnte eksempel viser at der ved anlægsudformingen ikke kun bør tages hensyn til anlægsomkostningerne. Pumpens driftsudgifter kan blive afgørende, specielt i anlæg hvor mange solfangergrupper seriekobles så tryktabene bliver meget store.



Figur 4.12. Prisen for solfangerkredsen, pumpen og pumpeenergien i 20 år som funktion af systemopbygning og solfangerareal.

Afslutning

Ved projektering af store solvarmeanlæg er der behov for et værktøj, som muliggør en hurtig optimering af anlægsudformningen. Før et sådant værktøj udvikles, er der behov for

flere undersøgelser af såvel teoretisk som praktisk karakter. I undersøgelserne bør andre systemopbygninger end de i ovennævnte eksempel angivne undersøges. Tryktabsforholdene i enkelte solfangergrupper og i seriekoblede solfangergrupper bør klarlægges, så det kan kontrolleres, at de i det udviklede simuleringsprogram benyttede forudsætninger vedrørende tryktab vælges korrekt. Det bør undersøges, hvilken volumenstrøm der bør tilstræbes igennem solfangerne, og hvor ensartet volumenstrømfordelingen i solfangerfeltet bør være. Endvidere bør de praktiske problemer med luftlommer i dele af solfangerkedsen undersøges for forskellige systemopbygninger, så det sikres at systemopbygningen også ud fra dette synspunkt vælges korrekt. Endelig bør egnetheden af store solfangere, fx sammenkoblet som beskrevet i ref. 4.6, af placeringen af solfangerne på stativ, tag eller mark, af forskellige udformninger af et eventuelt varmelager og af forskellige styresystemer for anlægget undersøges.

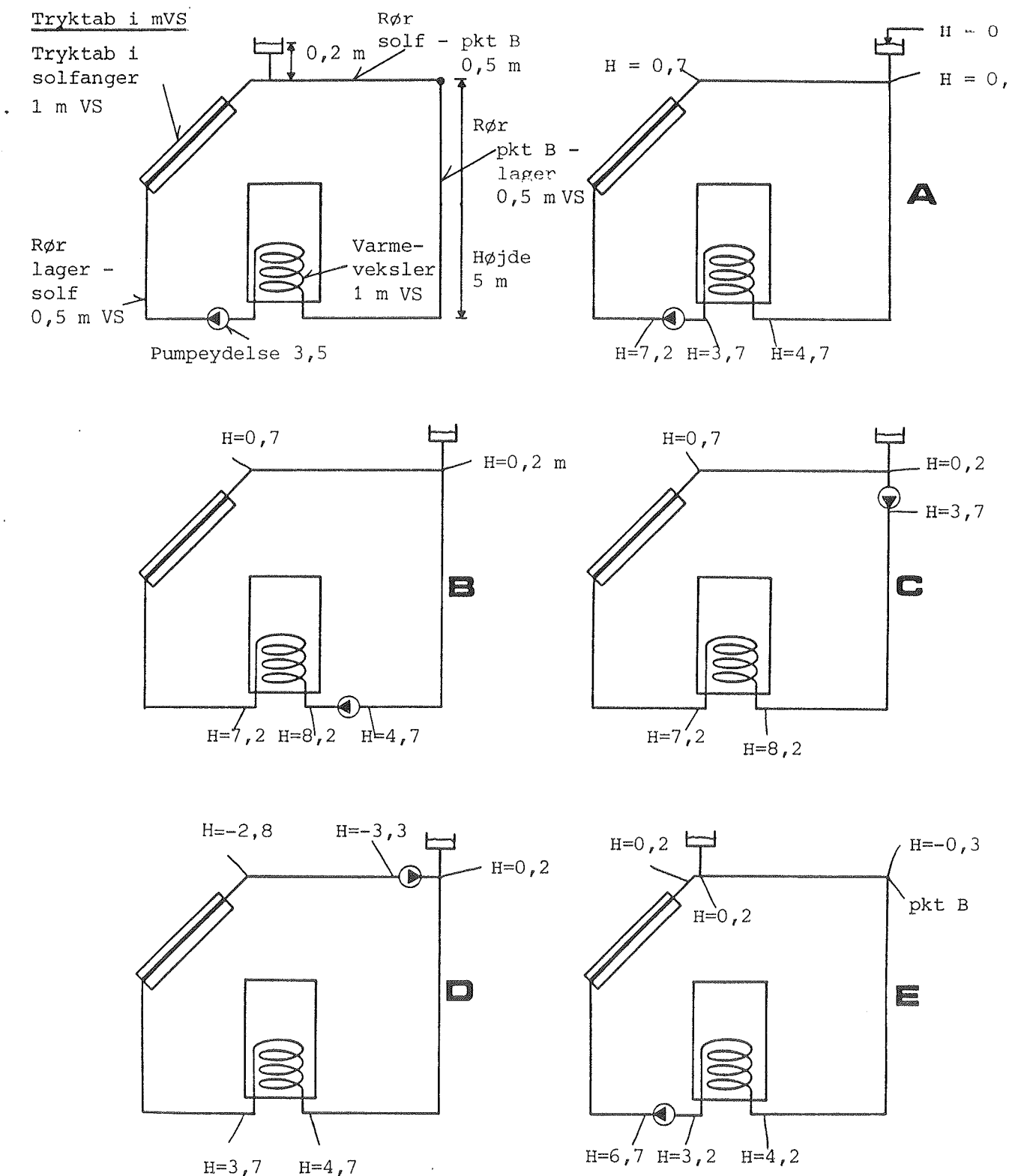
I det hele taget må store solvarmeanlæg betragtes som et område, hvor der er behov for arbejde før det er muligt at pege på optimale anlægsudformninger.

Trykforhold i solfangerkredsen

Figur 4.13 viser trykforholdene for en bestemt udformning af solfangerkredsen (et eksempel med åben ekspansion). De valgte tryktab fremgår af figuren. Pumpeydelse 3,5 mVS, højdeforskel mellem top og bund er 5 m. Trykket ved den åbne ekspansionsbeholder er sat til 0,2 mVS, svarende til højden af vandstanden i beholderen. Vedrørende beregning af disse ting, se fx ref. 4.7, 4.8, 4.10 og 4.11.

I et system med trykeksansion skal man addere den samme værdi til alle tryk, svarende til overtrykket.

Figurerne viser trykforholdene ved forskellige placeringer af pumpe og åben ekspansionsbeholder. Trykket er vist som



Figur 4.13.

Trykforholdene i et solvarmesystem med åben ekspansion. Tryktabene er ansat som vist i figuren. Pumpeydelse i alt 3,5 mVS. Højdeforskel 5 m. Pumpe og udluftning placeret forskellige steder.

Tryk i meter vandsøjle [mVS] overtryk. 0 mVS svarer til 0 bar overtryk. 1 mVS svarer til 0,1 bar overtryk. 10 mVS svarer til 1 bar overtryk.

I et trykssystem skal der adderes det samme tryk til alle tryk, svarende til overtrykket.

overtryk i mVS. 0 mVS svarer altså til atmosfæretrykket. Ifølge ref. 4.7 sættes atmosfæretrykket til 1 bar og altså vakuum til 0 bar. På manometre angiver 0 bar ofte atmosfæretrykket, idet instrumentet viser overtrykket. Dette skal man være opmærksom på.

Følgende forhold skal tages i betragtning ved valg af placering.

- a) Hvis trykket et sted i rørsystemet er negativt (D og E på figur 4.13) vil der kunne suges luft ind, og der vil være et konstant udluftningsbehov. Der kan suges luft ind selv om rørene er pakket vandtæt, luft er tyndere end vand.
- b) I et system med åben ekspansion bliver temperaturen i ekspansionsbeholderen ikke højere end 100°C. I bunden af systemet er overtrykket 5 mVS, svarende til 1,5 bar. Her kan temperaturen ikke overstige 111°C, svarende til kogepunktet ved 1,5 bar (vand).

I et trykssystem kan temperaturen blive højere, svarende til trykket, forudsat at solfangeren kan nå den nedenfor angivne temperatur. Følgende sammenhæng gælder for vand.

Tryk i mVS overtryk	Tryk i bar	Maks. temp. °C
0	1	100
10	2	111
20	3	133
40	5	152
90	10	180

Temperaturen kan begrænses ved et passende valg af sikkerhedsventil. Til gengæld får man så kogning der ofte medfører et driftsstop der vil kræve ny påfyldning af væske. Hvis sikkerhedsventilen sidder i toppen, kan der

være den fordel at den lukker damp ud og ikke væske, så kan en fornyet påfyldning måske undgås. Især da hvis der er en god reserve i ekspansionsbeholderen.

Den høje temperatur kan give to forskellige problemer.

1: Hvis rørsystemet ønskes udført af gummislanger el. lign., vil disse have en maks. driftstemperatur hvor også trykket må tages i betragtning idet styrken af gummi og plast aftager med temperaturen.

2: Pumpen har i reglen også en maksimal driftstemperatur (tjek med leverandøren). I et system med trykeksponering er det derfor ofte nødvendigt at anbringe pumpen som i eksempel A (figur 4.13) efter varmeveksleren, hvor temperaturen vil være lavest.

Med åben ekspansion kan pumpen anbringes som i B. Dette har den fordel at trykket i varmeveksleren bliver højere (mindre luftudskillelse) og samtidig vil luft fra varmeveksleren ikke skulle passere igennem pumpen.

Hvis pumpen anbringes efter varmeveksleren, er det vigtigt at den er anbragt på en lodret opadgående streng, idet cirkulationen ellers let vil stoppe når pumpen sluger luft fra varmeveksleren. Se i øvrigt under udluftning senere i dette kapitel.

- c) Det maksimale tryk må naturligvis ikke kunne blive højere end rørsystem og komponenter, herunder solfanger, kan holde til.
- d) Pumpen skal anbringes og trykket skal vælges således at kavitation i pumpen undgås. Se næste afsnit.
- e) I et åbent system vil væsken blive iltet i ekspansionsbeholderen, med forøget risiko for tæring. Det er dog ikke noget problem hvis der i solfangerkredsen kun er

korrosionsfaste materialer, således som det efterhånden er almindeligt.

I større solvarmesystemer må det nok i almindelighed anbefales at anvende trykeksponation. Det giver en større sikkerhed mod en række problemer. Kavitation, korrosion, ind sugning af luft, tørkogning. Ulempen er de høje temperaturer og lidt ekstra omkostninger, samt at man i almindelighed ikke kan anvende gummislanger og lignende.

Der er nok i øvrigt ikke så mange fordele ved at anvende gummi og plast i rørsystemer.

En del større pumper er umiddelbart anvendelige ved temperaturer op til 130-150°C, således at temperaturen ikke er noget problem, hvis den rigtige pumpe vælges.

Kavitation i pumpen

I en pumpe sker der et tryktab lokalt lige før pumpehjulet. Dette kan føre til at noget af væsken fordamper og danner dampbobler. Disse vil længere fremme i pumpen falde sammen (implodere). Det giver anledning til støj og nedsat effektivitet, og det kan ødelægge pumpen. For at forhindre dette skal trykket i sugeledningen, det absolutte tryk, være større end damptrykket ved den pågældende temperatur plus en vis værdi, der afhænger af pumpens konstruktion og af flowet, den såkaldte NPSH. Se ref. 4.7.

I solvarmeanlæg vil der forekomme temperaturer på 100°C, måske en del af tiden. Damptrykket af vand er jo her 10 mVS. Det betyder at overtrykket i sugeledningen skal være lig med eller større end NPSH for at undgå kavitation ved 100°C. NPSH afhænger af flowet, således at et stort flow giver en stor NPSH. NPSH ligger mellem 1 m og 10 m. Er den eksempelvis 5 m, betyder det altså at trykket i sugeledningen skal være mindst 15 mVS (absolut tryk), eller 5 mVS i overtryk, svarende til 0,5 bar i overtryk.

Det betyder at pumpen i åbne systemer skal sidde lavt i systemet, måske foran varmeveksleren (figur 4.13b), hvor trykket vil være højest. Hvis pumpen sidder som i figur 4.13c og d, vil pumpen kavitere ved høje temperaturer, og levetiden vil være begrænset.

I trykssystemer gør der sig noget tilsvarende gældende, idet man selvfølgelig har et højere tryk. Men i mange tilfælde, i praksis, er trykket kun nogle få meter højere end i åbne systemer, og kavitation vil kunne forekomme.

Man kan argumentere med at de høje temperaturer kun sjældent optræder, og at det mindsker risikoen for kavitation. På den anden side er det kendt at kraftig kavitation meget hurtigt kan ødelægge en pumpe, hvorfor det må være rimeligt at opbygge systemet så kavitation ikke kan forekomme.

Transmissionsledning for solvarme

Figur 4.14 viser et regneeksempel der skal belyse de økonomiske og tekniske begrænsninger ved transmission af solvarme fra et område med solfangere til en lagerbeholder eller et forbrugssted.

Systemet er som figur 2.1c eller d, idet der er anvendt systemet med at udnytte morgensolen til opvarmning af rørsystemet. Der er ikke regnet med tab i rør inden for solfangerarealet, kun selve transmissionsledningen.

I øvrigt gælder de forudsætninger der fremgår af figuren.

Det ses at for små anlæg, under 1000 m², er det prisen på transmissionsledningen der sætter grænsen for ledningens længde. For store arealer (større end 10000 m²) er det varmekapaciteten der sætter grænsen for hvor langt man kan transportere varmen. Prisen, og specielt varmetabet, får her en mindre betydning.

Solfanger-areal	Feltstørrelse	Flow	Økonisk diameter	Vandhastighed	Tryktab	Vandindhold	Varmetab	Varmekapacitet	Varmetab	Pris 1
m ²	A/L=2 m x m	l/s	mm	m/s	Pa/m ca	1/m *)	W/°C/m ²	kJ/°C pr m ² solf.	W/°C pr m ² solf.	kr pr m ² solf.
10		0,083	Ø13	0,6	500	0,26	0,2	10	2,0	
100	14x14	0,83	Ø32	1,0	500	1,6	0,4	6,4	0,4	710
1000	45x45	8,3	Ø72	2,0	500	8,2	0,6	3,3	0,06	90
10000	140x140	83	Ø175	3,5	500	48	0,9	1,9	0,01	22
100000	450x450	830	Ø430	5,7	500	290	1,6	1,2	0,0016	7

*) Dobbeltrør

Solfangerareal	Maks. rørlængde (m)	Pris 1	Pris 2
m ²	kapacitet <25 kJ/°C · m ²	varmetab <0,25 W/°C · m ²	<300 kr/m ²
10	250	12	10
100	400	60	85
1000	800	400	600
10000	1200	3000	2400
100000	2000	15000	4300

Figur 4.14.

Transmissionsledning fra solfangerområdet til lagerbeholder eller forbrugssted. Angiver data for transmissionsledning. Tryktabet er sat til ca. 500 Pa/m hvilket svarer til den økonomiske diameter der angives i ref. 4.8 gældende for almindelige fjernvarmerør.

Varmekapacitet og varmetab svarer til præisolerede fjernvarmerør, ref. 4.9.

Feltstørrelsen er det areal solfangerne fylder hvis forholdet mellem jordareal og solfangerareal er 2,0.

Pris 1 er prisen for præisolerede fjernvarmerør i jord uden belægning, inkl. opgravning og tilfyldning. V og S priser 1985 ref. 4.5.

Pris 2 er prisen for sorte rør isoleret med 30 mm mineraluld opsat i en bygning. V og S priser 1985, ref. 4.5.

Dimensionerende flow 0,5 l/min pr. m² solfanger.

Nederste tabel angiver den maksimale rørlængde der kan tolereres under anførte begrænsning. Den anførte varmekapacitet 25 kJ/°C pr. m² solfanger medfører et tab i transmissionsledningen på 5% af ydelsen ved 60°C for en almindelig selektiv solfanger med ét dæklag. Det er her forudsat at systemet med by-pass af solfangervæsken og udnyttelse af den tidlige morgensol til opvarmning af rørsystemet udnyttes. Hvis dette ikke gøres, er tabet 25%.

En varmetabskoefficient på 0,25 W/°C pr. m² solfanger vil ved samme betingelser også give et tab på 5% af ydelsen.

Tallene skal tages som et eksempel. Det er også langt fra givet at de anvendte rørdimensioner er de optimale i denne sammenhæng. En beregning heraf vil i et konkret tilfælde også skulle tage højde for pumpearbejdet, pumpepris mv.

Det skal også bemærkes at hvis man kører med maksimal rørlængde ifølge varmekapaciteten, og traditionel styring hvor pumpen først starter når solfangeren er varm, så vil kapacitetstab blive 25% af ydelsen.

Det er ikke voldsomt store afstande man på denne måde kan transportere solvarme.

Man kan naturligvis overveje de samme løsninger som bliver foreslået til transport af fjernvarme i "fremtidens" energianlæg. For eksempel systemer med brint og med svovlsyre mv. Og måske mere realistisk ved fordampning og kondensering af freon. Eller måske vand ved anvendelse af højeffektive solfangere.

Af mere jordnære, umiddelbart anvendelige muligheder kan man nævne:

Bufferlagre. Det var før antaget at varmen transmitteres i samme takt som den produceres. Med et bufferlager kunne energitransporten fordeles over et større tidsrum. Lageret skal dog have en vis størrelse for at temperaturstigningen ikke bliver for høj.

Tømmesystem. Ved store arealer er det varmekapaciteten der er den begrænsende størrelse. Hvis transmissionsledningen, eller en stor del af den, kan tømmes idet vandet løber eller pumpes tilbage i et isoleret lager når der ikke er drift, så vil kapacitetstabet næsten elimineres. Det er da kun rørene, og en del af isoleringen, der skal varmes op, og her er der ikke så stor varmekapacitet som i væsken.

Eventuelt kunne væsken samles i mindre, isolerede beholdere i ledningsnettet. Beholderne skal være så store og så godt isolerede, at temperaturfaldet fra driftsperiode til driftsperiode ikke er væsentligt.

I tabellen er der regnet med et dimensionerende flow på 0,5 liter pr. minut pr. m² solfanger. Under visse omstændigheder kan dette flow sættes ned, og måske reguleres efter solindfaldet. Dette vil i sig selv betyde at den optimale rørdiameter vil blive mindre, hvilket først og fremmest influerer på varmekapaciteten. Det er i den forbindelse værd at huske på at jo mere effektiv solfangeren er, jo mindre et flow kan tillades. Og at problemet så i stedet kan blive at der opstår kogning i de absorberør der har det laveste

flow. Dette kan være fatalt i systemer hvor dampen ikke kan slippe ud, men sætter sig et sted og stopper cirkulationen ligeså godt som en ventil.

Udluftning af rørsystem

Det er meget vigtigt at rørsystemet, pumpe, udluftningsventiler og -potter, ekspansionsbeholder mv. er placeret og dimensioneret ud fra hensyntagen til udluftning af rørsystemet. Det har vist sig gang på gang at de største og mest irriterende problemer med et solfangersystem knytter sig til at få systemet startet, få luften ud af rørsystemet og ud af pumpen og varmeveksleren. Mange driftsproblemer hænger sammen med at der har samlet sig luft et sted, at cirkulationen er gået i stå eller at anlægget koger.

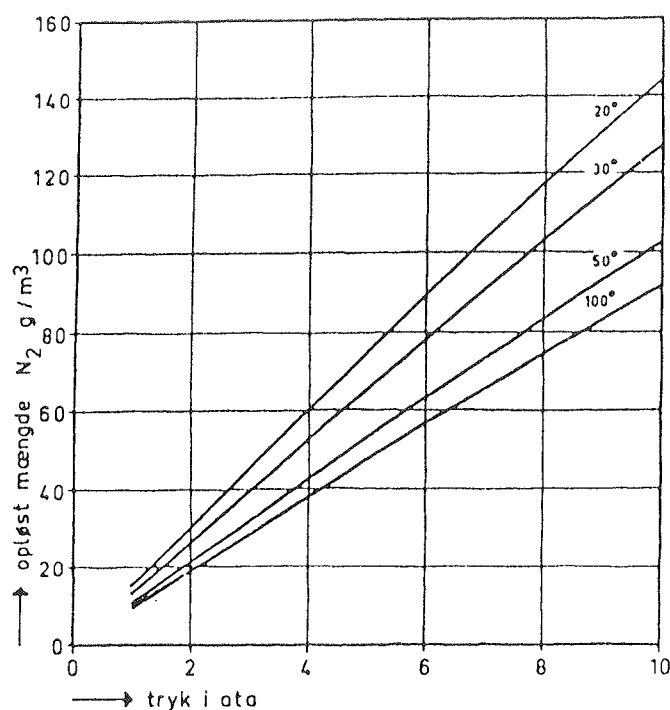
Måske giver anlægget bare en lav ydelse fordi en del af systemet slet ikke gennemstrømmes af væske pga. luftansamlinger, på trods af rigtig dimensionering af rørene. Der har måske været kogning i en del af solfangerne fordi væskecirkulationen på et tidspunkt har været stoppet. Måske er der ikke nogen der har set det eller forstået problemet, og solfangerne står tørkogte uden væske i årevis uden at der er nogen der ved det, bl.a. fordi det kun er en del af systemet der ikke er med, og rørene oppe fra taget bliver varme.

Vi kender vel alle et gammelt radiatorsystem hvor en radiator med mellemrum bliver kold fordi der har samlet sig luft i den. Den bliver udluftet, og systemet kører igen. Problemet med solfangeranlægget er at der ikke er en tilsvarende kontrol. Det bliver simpelthen ikke opdaget at der er noget galt.

Af det følgende fremgår en række forhold som har betydning for forståelsen af de praktiske anvisninger som følger efter.

Hvor meget luft ?

Opløseligheden af luft i vand afhænger af vandets temperatur og af trykket. Jo højere tryk og jo lavere temperatur, jo mere luft kan der opløses i vandet, figur 4.15. Det betyder altså at luften i et solvarmesystem udskilles i solfangerne hvor trykket er lavest og temperaturen højest.



Figur 4.15.

Kvælstofs opløselighed i vand under varierende temperatur og tryk.

Opløseligheden stiger stærkt med faldende temperatur og stigende tryk. Luftens ilt er uden betydning for dannelsen af luftansamlinger i varmeanlæg, ilten forbruges straks til rustdannelse, fra ref. 4.10.

Ved opvarmning fra 0 til 100°C udskilles 3% luft (volumenpct.) ved atmosfæretrykket, hvis vandet er mættet ved de 0°C. Samtidig udvider vandet sig med ca. 4%. Forudsat at der ikke suges luft ind i rørsystemet, er der altså ikke tale om større luftmængder end svarende til varmeudvidelsen. Problemet er sådan set kun hvor det samler sig. Hvis vandet trykkes ind i rørsystemet ved vandværkstryk, kommer der meget luft med da vandværkstrykket er højt.

Undertryk i rørsystemet

Hvis der er undertryk i rørsystemet et sted, vil der kunne suges luft ind ved en ventil eller nogle fittings, også selv om systemet er vandtæt. Luft er tyndere end vand. Det betyder altså at rørsystemet ikke kan udluftes "en gang for alle", selv om al den luft der var i vandet da det blev fyldt på er udluftet, vil der stadigvæk komme luft.

Ved åben ekspansion undgår man undertryk ved at placere røret til ekspansionsbeholderen ved pumpens sugeside. Ved lukket ekspansion må man sørge for at trykket, aflæst på manometret, er mindst lig med afstanden fra manometret til det øverste punkt i rørsystemet plus et par meter. Det skal måles ved stilstand når væsken er kold. Jf. figur 4.13.

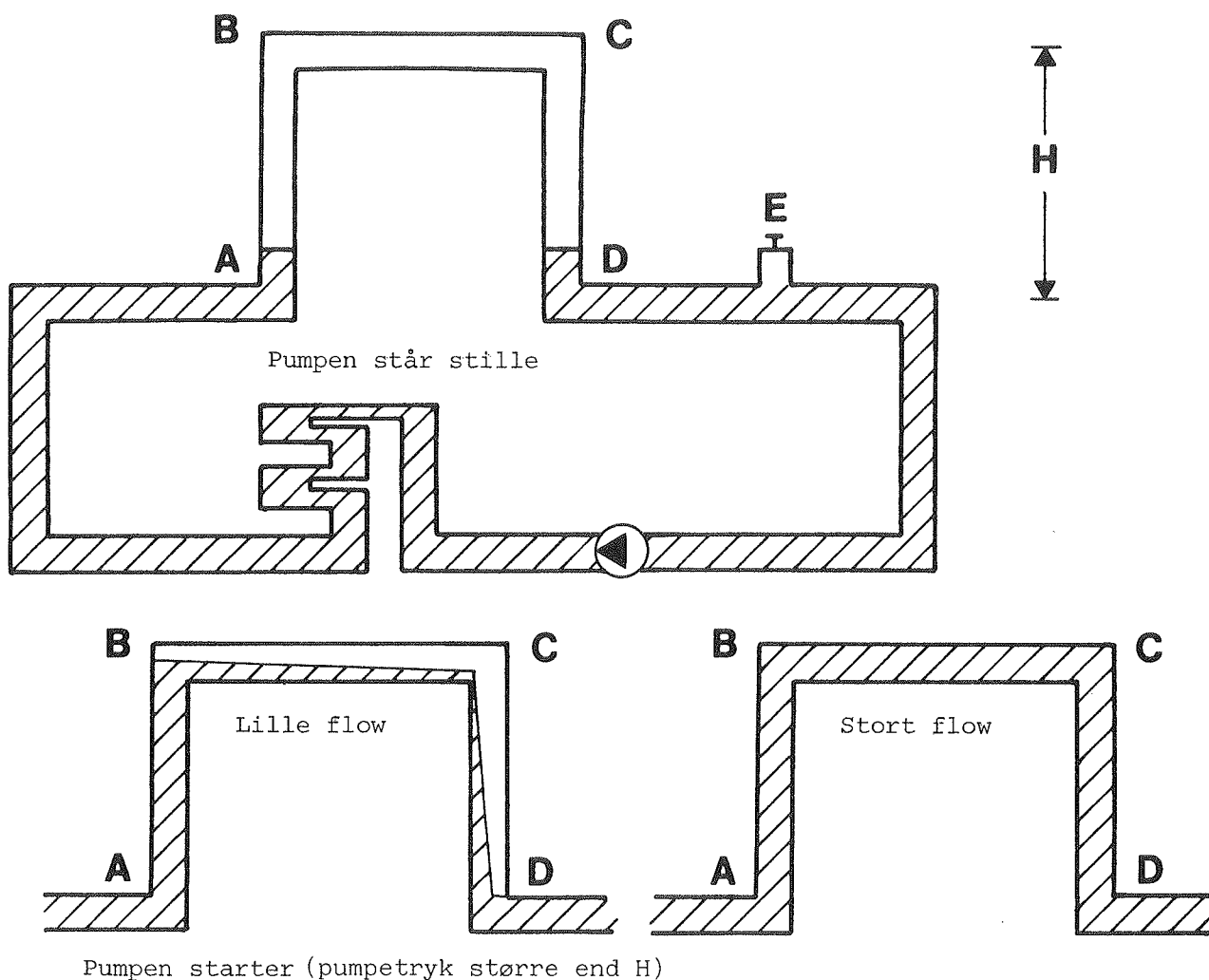
Luft i glycol

Der kan opløses omtrent lige meget luft i vand og i blandingen vand-glycol, men den opløste luft kommer langsommere ud af vand-glycol blandingen. Målinger på LfV har vist at det tager ca. 1 time at koge halvdelen af luften ud af en vandfyldt 2 l kolbe (80°C), mens det tager ca. 3 timer med 50% propylenglycol. Dette hænger sammen med at de små luftbobler der udskilles stiger utrolig langsomt i den tykkere væske.

Nødvendig trykhøjde og vandhastighed

Figur 4.16. Hvis det tryk pumpen giver (ved lille volumenstrøm i mVS) er større end højden H (i m), vil væsken løftes op til det øverste punkt BC, og noget af luften trykkes ud i rørsystemet ved D og fx udluftes ved E. Der kan nu ske det at væsken løber i den nederste del af røret fra B og C og risler ned ved C som et vandfald, mens der stadigvæk er luft fra B og D. Eller der kan ske det at luften rives med ned af vandstrømmen. Dette afhænger af rørdimensionen og af vandhastigheden. Pointen er at det er pumpens trykhøjde og

højden AB der bestemmer om der kommer cirkulation, mens det er vandhastigheden der bestemmer om luften rives ud.



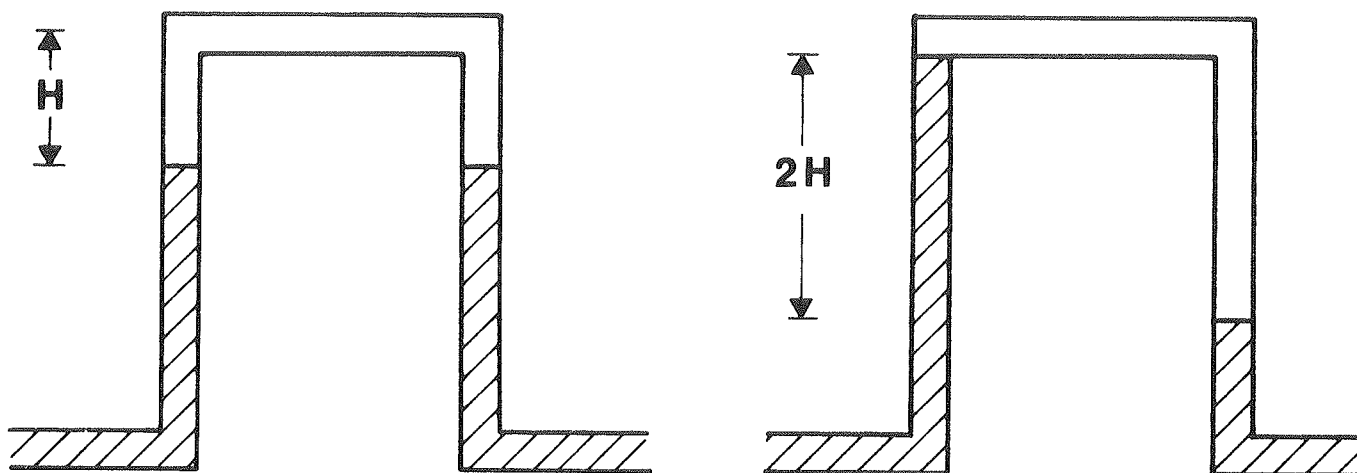
Figur 4.16.

Figuren viser et tænkt rørsystem med væske og luft i. Det skraverede angiver væske. Ved start er der luft fra A (over B og C) til D.

Hvis pumpen giver trykket H , vil væsken cirkulere. Ved lille vandhastighed vil luften hænge i røret som anført, og lægge sig øverst i røret igen når pumpen stopper. Ved større vandhastighed rives luften ud af sløjfen og udluftes ved E eller inden i varmeveksleren og i pumpen eller kører rundt i rørsystemet.

Det er trykhøjden der bestemmer om væsken cirkulerer, men det er vandhastigheden der bestemmer om luften rives ud af røret.

Hvis det ser ud som figur 4.17, skal trykhøjden i pumpen være større end svarende til 2 gange højden H . Hvis ikke, kommer cirkulationen ikke i gang.



Figur 4.17.

Hvis luften ligger sådan, skal trykket være $2H$ for at cirkulationen kan komme i gang. Kommer der flere sådanne sløjfer efter hinanden (i serie), bliver det nødvendige tryk summen af de nødvendige tryk for de enkelte sløjfer.

Hvis det øverste rør er større, kan der være mere luft i røret, og luften vil ikke stå så langt ned i røret.

Det er altså en fordel med store rør foroven.

Placering af pumpen

Hvis pumpen sidder efter varmeveksleren i strømretningen, er der det problem at den luft som pumpen suger ud af røret skal igennem pumpen. Pumpen giver måske et tryk der er stort nok, men den fyldes med luft, hvorfor trykket falder og cirkulationen går i stå. Man må da udlufte pumpen og forsøge igen. Det kan være meget tidkrævende. Problemet

kan løses ved at anbringe pumpen på et opadgående rør, så vil pumpen udlufte lettest.

Det er også en mulighed at placere pumpen foran varmeveksleren, også helst på en lodret opadgående rørstrækning, således at pumpen selv udlufter lettere. En ulempe ved dette er at temperaturen foran varmeveksleren er højere, hvilket belaster pumpen, se i øvrigt kapitel 4 under trykforhold.

I øvrigt må pumpen ikke være anbragt lavest i rørsystemet, da der her vil opsamles snavs, som kan genere pumpen.

Maks. hast og min. hast for udluftning

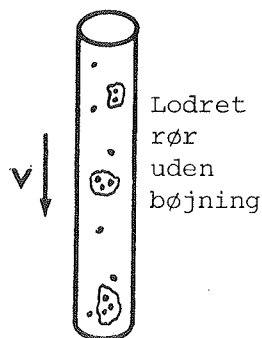
Figur 4.18 viser den hastighed en nedadgående væskestrøm mindst skal have for at luft (store og små bobler) rives med ned. Gælder for lodret rør uden bøjninger.

Tilsvarende er vist den største hastighed hvor luften ikke rives med ned. I små rør samles de små bobler til større der fylder hele røret og lettere føres nedad.

Ved rør med en bøjning, eller med hældning på røret, skal der en større vandhastighed til at sikre at al luft rives med ned. Luften samler sig som vist. Det gør sig især gældende for større rør.

Udluftning i praksis

I forbindelse med projektet her blev der på Laboratoriet for Varmeisolering foretaget en række målinger af udluftning med forskellige rørdimensioner og fittings. Målingerne blev foretaget ved at indpuste en bestemt luftmængde i vandstrømmen og måle voluminet af den luftmængde der blev udluftet ved hjælp af en gennemsigtig luftpotte (et plastrør) med en skala.



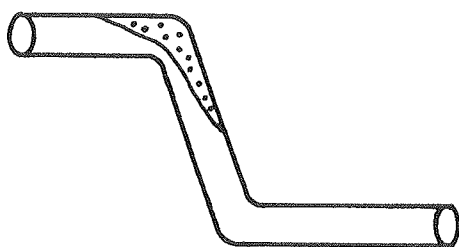
Alle luftbobler rives med når:

	Vand	Glycol 50%
*) Ø10	$v > 0,17$	$v > 0,12$
Ø20	$v > 0,21$	$v > 0,16$
Ø40	$v > 0,3$	

Ingen luftbobler rives med når:

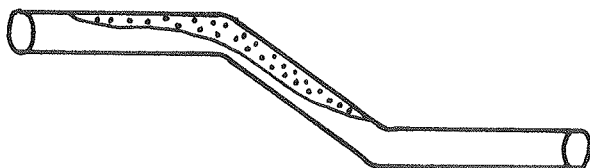
*) Ø10	$v < 0,13$	$v < 0,07$
Ø20	$v < 0,21$	$v < 0,16$

*) Forskellen skyldes at små bobler samles til større, som lettere rives med i små rørdimensioner.



Luften rives med når:

	Vand	Glycol
Ø10	$v > 0,17$	større
Ø20	$v > 0,30$	end for
Ø40	$v > 0,80$	vand



Figur 4.18.

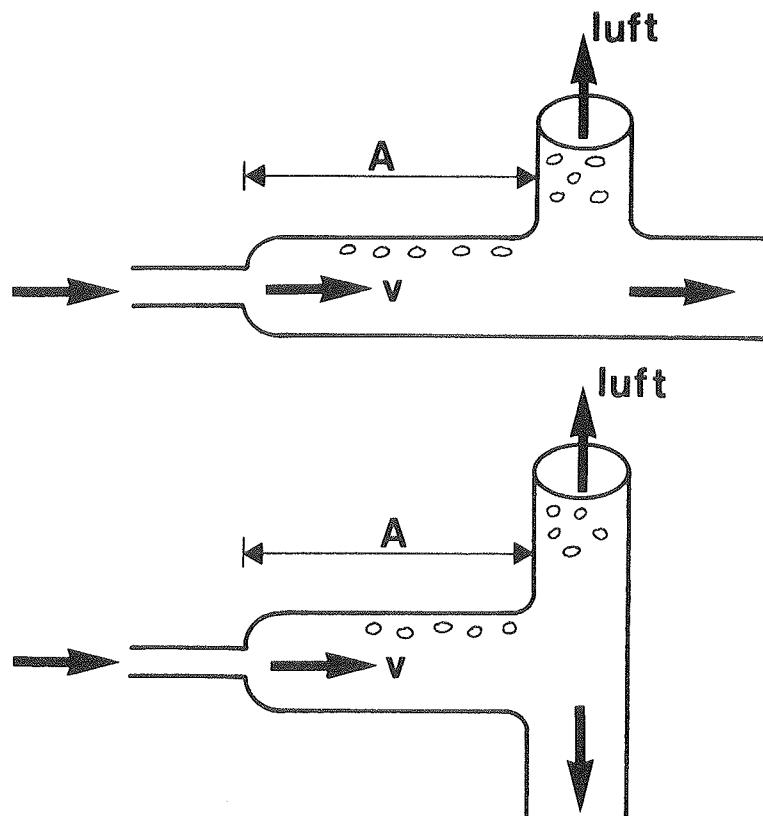
Den mindste hastighed hvor al luft rives ud af et lodret rør med nedadgående væskestrøm, og den største hastighed hvor ingen luft rives med.

Gældende for et lige lodret rør uden bøjninger, dimensionsændring mv. (øverst) og for et rør med bøjninger eller dimensionsændring, fitting og andre forstyrrelser (nederst).

Tilsvarende den mindste hastighed hvor luften rives ud af et rør med bøjning.

Tallene er baseret på målinger på Laboratoriet for Varmeisolering og på 4.10.

Vedr. sammenhængen mellem vandhastighed og vandstrøm og rørdimension, se figur 4.22.



Figur 4.19.

Hvis afstanden A er 30 cm og hastigheden V mindre end 0,4 m/s, vil næsten al luft i røret udlufte uanset om T-et sidder vandret eller lodret.

Gælder for vand og kobberør $\phi 16/18$ mm.

Hvis afstanden A halveres, skal hastigheden også halveres for at udluftningen sker.

Hvis der er en blanding af vand og glycol i røret, skal hastigheden nedsættes med ca. $1/3$ til 0,3 m/s.

Målingerne viste at man i reglen ikke opnår nogen væsentlig bedre udluftning ved at skifte dimension umiddelbart før luftudladeren, fx ved at montere luftudladeren i et T med en større dimension til luftudladeren. Dette skyldes at dimensionsændringen giver hvirvler i strømmingen som modvirker udluftningen. Kun for små rørdimensioner har dimensionsændringen en vis betydning.

Under alle omstændigheder er de vandhastigheder hvor udluftning kan ske, uanset at man øger dimensionerne lige ved

luftudladeren, mindre end den vandhastighed det anbefales at dimensionere rørene efter, ud fra hensyn til tryktab, økonomi mv.

Det betyder at det er nødvendigt at forøge rørdimensionen foran luftudladeren. Og da det altså ikke virker at øge dimensionen lige ved luftudladeren, må dimensionen på røret øges et stykke fra luftudladeren.

Tallene på figur 4.19 er baseret på målinger på cu-rør med loddefittings med vand. Hvis der over en strækning på mindst 30 cm er en vandhastighed på under 0,4 m/s, vil al luft udluftes i et almindeligt T af samme dimension som rørstrækningen. Det gælder uanset om T'et vender den ene eller den anden vej som vist.

Næsten ligegyldigt hvor megen luft der kommer, vil det udluftes, også selvom røret periodevis "er fuldt af luft".

Hvis afstanden A halveres, skal hastigheden også næsten halveres for at luften udluftes. Det afgørende er at strømmingen foran T'et er "pæn" og luften samlet foroven i røret. Målingerne har som omtalt før vist at hvis afstanden A er nul, svarende til at røret skifter dimension lige før T'et, udluftes der meget dårligt, uanset hvor stort et T man bruger.

De anførte værdier gælder for 16/18 mm cu-rør og T, og med koldt vand. Det har ikke været muligt, med den anvendte opstilling, at prøve med større dimensioner. Da det afgørende er at luften når at lejre sig pænt foroven i røret, må man formode at større rørdimension vil kræve enten et længere rør eller en lavere hastighed. Således at fx den dobbelte rørdimension vil kræve at afstanden A skal være 60 cm eller hastigheden 0,2 m/s eller en kombination.

Er der vand/glycol i røret, skal hastigheden nedsættes med ca. 1/3. Ved højere temperaturer kan hastigheden øges.

Figur 4.20 viser en praktisk dimensioneringstabel for udluftning baseret på ovenstående.

Rørdim. indv. mm	30 cm lige rør før udlufter				60 cm lige rør før udlufter			
	vand		50% glycol		vand		50% glycol	
	max hast m/s	max flow l/min	max hast m/s	max flow l/min	max hast m/s	max flow l/min	max hast m/s	max flow l/min
16	0,4	5	0,26	3	1) 0,4	5	0,26	3
30	0,2	8	0,13	5	0,4	16	0,26	11
60	0,1	17	0,07	11	0,2	34	0,13	22

Figur 4.20.

Figuren kan bruges til at finde den nødvendige rørdimension og den nødvendige lige rørstrækning foran luftudladere.

Hvis diagrammet følges, vil stort set al luft der passerer blive udluftet. Det gælder dog ikke luft der har været igennem pumpen og derfor er blevet pisket til meget små bobler.

Værdien for $\phi 16$ mm er målt på LfV. Resten bygger på spekulation som nævnt i teksten, således at de angivne flow skulle være på den sikre side.

For $\phi 16$ mm røret hjælper det ikke at øge længden af den lige strækning foran udlufteren, det er målt. Det antages at det vil hjælpe for større rørdimensioner.

Lige strækning skal forstås som rørstykke uden bøjning, dimensionsændring eller fitting, og iøvrigt med svag stigning mod luftudladeren, mindst 5 cm pr. m.

Eksempel:

Hvis flowet der skal passere luftudladeren er 11 liter pr. min. (660 liter i timen), skal man enten have en rørstrækning på mindst 60 cm med $\phi 30$ eller en rørstrækning på 30 cm med $\phi 60$ mm. Gældende for vand/glycol.

Figuren gælder for kold væske. Ved højere temperaturer foregår udluftningen lettere da viskositeten mindskes. Man kan måske på den baggrund vælge værdierne for vand selv om der bruges glycol.

Udluftning i beholder

Udluftningen kan ske ved at vandstrømmen ledes igennem en beholder. Forsøg viser at der opstår ret mange hvirvler i beholderen der tenderer til at rive luften med. For at luften ikke skal rives med ned, må vandhastigheden lodret ned i beholderen (beregnet på grundlag af beholderens tværsnit) være en del mindre end stighastigheden for en boble, 0,21 m/s i vand og 0,16 m/s i vand/glycol.

Specielle udluftningsventiler

Der findes armatur der er specielt beregnet til at skille luft og væske. De er mest relevante når man har en opadgående vandstrøm med luft i. I solvarmesystemet opstår luften i toppen af anlægget i solfangerne og udluftningen foretages derfor mere enkelt som beskrevet i et rør.

Luftpotte med skrue eller automatisk luftudlader

Problemet er at automatiske luftudladere ikke er 100% pålidelige. Dertil kommer at de almindelige billige typer slet ikke tåler de høje temperaturer der kan opstå.

Det bedste er nok en luftpotte med en automatisk luftudlader, en type der også kan udlufte manuelt. Det letter i hvert fald starten af systemet at der er automatiske luftudladere (med tilstrækkelig kapacitet) så man ikke skal op på taget. Man må så huske ikke at stole på luftudladeren derefter.

Man kan tit se at der står damp ud af luftudladeren når det koger i et solfangersystem. Det er klart at en ventil, der kun kan tåle 110°C, ikke kan tåle damp ved måske 130°C, kogepunktet ved 3,5 bar, et ikke helt ualmindeligt tryk i et solfangersystem. Luftudladeren bliver ødelagt.

Man kan bruge en luftpotte der kan klare temperaturen (dyre-re) eller føre et tyndt rør fra luftpotten til en automatisk luftudlader, eller i øvrigt til en luftskrue der sidder mere tilgængeligt end luftpotten.

Man må skelne imellem problemet med at udlufte den luft der er i rørene når væsken fyldes på, og den luft der er opløst i væsken og som udskilles ved opvarmning.

Udluftning ved påfyldning

For at kunne drive luften ud af rørene ved påfyldning skal der være udluftning ved alle "lokale højdepunkter". Det kan være steder hvor der ikke senere vil skulle udluftes, da vandhastigheden, når systemet kører, er så høj at luften altid vil rives forbi. Det kan derfor blot være en simpel luftskrue som lukkes når systemet er startet op.

Det skulle på den måde være muligt at drive det meste luft ud ved påfyldning af rørsystemet.

Hvis der er en kontraventil i rørsystemet, for at forhindre selvcirkulation, får man ofte problemer når systemet skal fyldes, især hvis det er med åben ekspansion. Hvis påfyldningsstudsens er anbragt bagved kontraventilen, skulle problemet være lille. I større systemer vil man nok bruge motorventiler i stedet, som så må åbnes når systemet fyldes.

Det må anbefales at lade pumperne køre på højeste trin i nogle uger, og helst indtil anlægget har været oppe på høje temperaturer nogle gange.

Udluftning ved drift

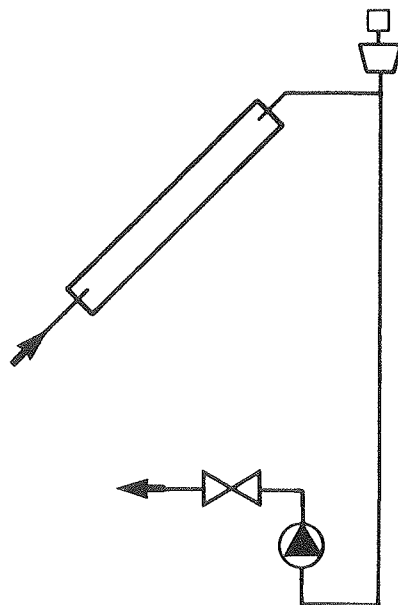
Den luft der udskilles fra væsken i solfangerne ved opvarmning og trykfald optræder som små bobler der rives rundt med strømmen uden at gøre skade. Luften opløses igen i nedadgående strenge eller i varmeveksleren for igen at opstå i sol-

fangeren. Under alle omstændigheder vil luftbobler der ryger igennem pumpen blive pisket til små bobler der føres rundt med strømmen. Når så cirkulationen stopper, stiger de små bobler op og samler sig til større, hvis de ikke forinden går i opløsning igen fordi væsken afkøles.

Det er så den luft der samler sig rundt omkring i rørsystemet der skal udluftes næste gang pumpen starter. Og det er formodentlig det kritiske tidspunkt. Luften skal transporteres med væsken. På steder hvor røret lokalt dykker nedad, kræves hertil en vis mindste hastighed som vanskeligt kan nås netop på grund af luftansamlingen. Det er derfor vigtigt at pumpen i begyndelsen står på et højt trin.

Med mindre der er undertryk i rørsystemet, vil der næste gang være mindre luft at udlufte, og efterhånden vil væsken være fri for luft. Forudsat at udluftningen virker.

Det farligste er når der samler sig luft i pumpen, fx på den måde at pumpen lidt efter en start sluger noget luft der i stilstandsperioden har samlet sig i forskellige fittings og bøjninger bagved pumpen. Risikoen herfor må være minimal hvis pumpen er anbragt som på figur 4.21.



Figur 4.21.

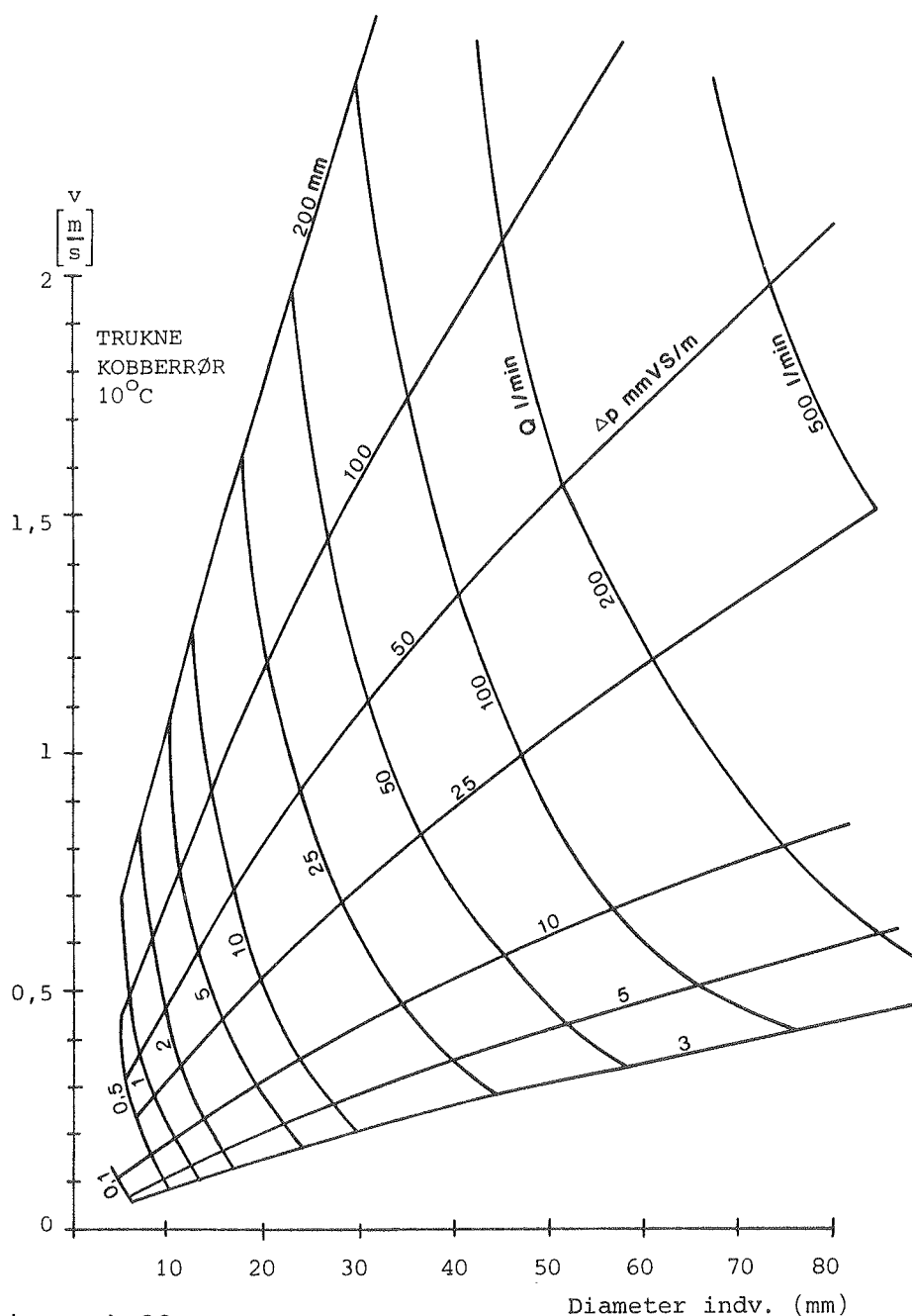
Det er meget uheldigt hvis der samler sig luft i pumpen. Det vil ikke kunne ske hvis pumpen sidder som her. Hvis pumpen sidder efter varmeveksleren er den beskyttet mod høje temperaturer. Det er her endnu mere vigtigt at pumpen sidder på et opadgående rør, da en del luft fra varmeveksler mv. skal igennem pumpen.

Fastlæggelse af rørdimension mht. udluftning

Som nævnt i kapitel 2 om erfaringer fra udlandet kan det betale sig at dimensionere rørene til ret høje vandhastigheder i forbindelse med solvarmeanlæg. Måske helt op til grænsen for turbulenskorrosion (i kobberrør). Ifølge ref. 4.11 er den maksimale tilladelige hastighed ved en driftstemperatur på 50°C 1,5 m/s for ikke udskiftelige kobberrør, gældende for brugsvand. Ved udskiftelige ledninger anbefales 3,0 m/s.

Figur 4.22 viser et praktisk diagram til dimensionering af rør og udregning af vandhastigheder. Diagrammet er baseret på ref. 4.7 gældende for vand ved 10°C og for trukne kobberrør uden afsætning. Det gælder at en 30% propylenglycol har en viskositet ved 50°C som vand har ved 10°C. Diagrammet gælder da også herfor, men med en kold vand-glycolblanding fås væsentlig højere tryktab.

Indv. diameter (mm)	6,4	8,4	10	13	16	19,6	25	32	39	51
50 mm VS	0,35	0,42	0,48	0,59	0,68	0,79	0,95	1,2	1,3	1,55
100 mm VS	0,52	0,65	0,73	0,88	1,0	1,75	1,4	1,6	1,9	2,3



Figur 4.22.

Diagram til dimensionering af rør.

Diagrammet gælder for trukne kobberrør uden afsætning for vand ved 10°C.

En blanding af vand og glycol (30% glycol) ved 50°C har samme viskositet som vand ved 10°C, og diagrammet gælder også herfor.

For varmt vand (55°C) aftager tryktabet med op til 25%. For en meget varm vand/glycolblanding (100°C) aftager tryktabet med en tilsvarende værdi. For kold glycol vil tryktabet være meget større.

Figur 4.23 viser rørberegningsdiagrammet med vandhastighederne for udluftning indtegnet.

Det fremgår at når tryktabet i rørene overstiger ca. 25 mm VS pr. m rør, vil luften rives med rundt i rørsystemet uanset bøjninger og fittings og lodrette rør. I almindelighed dimensioneres der efter større tryktab. Det betyder altså at luften rives rundt i rørsystemet, og at det er nødvendigt at øge rørdimensionen før udluftningsstedet (figur 4.20). Det betyder også at mindre luftmængder der har samlet sig rundt omkring i rørsystemet siden sidste driftsperiode vil blive revet med ved opstarten af systemet. Indtil udluftningsstedet hvor dimensionen så øges og luften lukkes ud.

Hvis der ikke skiftes dimension foran udluftningsstedet, kan man risikere at stort set kun den luft der tilfældigt er ved luftpotten når pumpen stopper bliver udluftet. Efterhånden som luften koges ud af væsken når temperaturerne bliver høje, kommer der mere luft, og til sidst kan cirkulationen ikke komme i gang, og hele systemet går i kog.

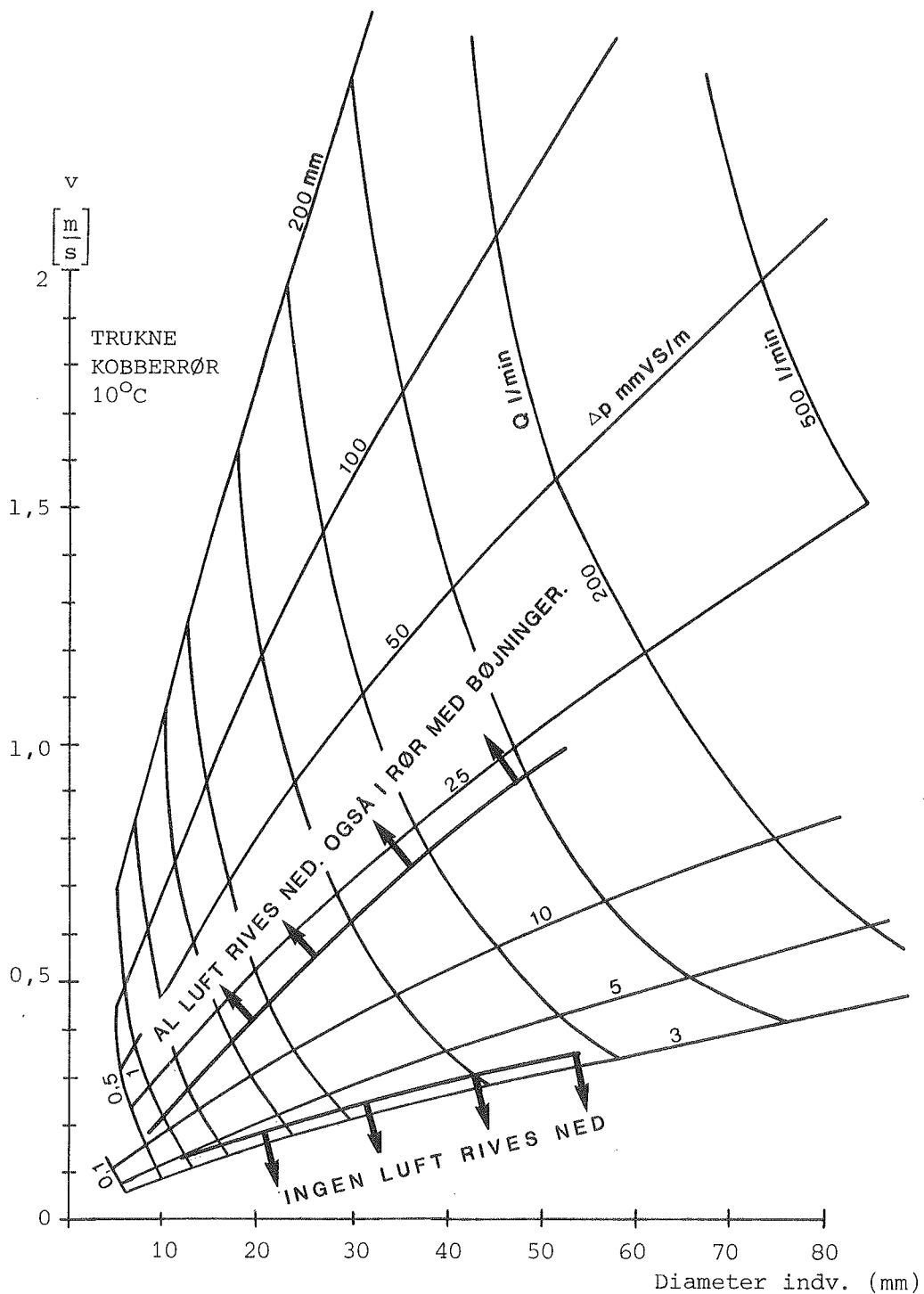
Ofte er rørsystemer overdimensionerede, eller der findes store utilsigtede tryktab i ventiler mv. således at man ikke opnår de tilstræbte vandhastigheder. Det har som bivirkning at udluftningsventiler mv. så virker bedre. Problemet opstår når man optimerer rørsystemet efter vandhastigheder på 1 m/s eller mere, og disse hastigheder opnås.

Det mest uheldige er stadigvæk hvis luften havner i pumpen.

Resumé - regler vedr. udluftning

Rør mellem solfangere og lager/varmeveksler og pumpe dimensioneres efter tryktab på 50 til 100 mm VS pr. m rør, figur 4.22. Tjek eventuelt om dette giver en økonomisk sammenhæng imellem pris på rør og pumpens forbrug af energi. Det afhænger selvsagt af rørlængden.

Indv. diameter (mm)	6,4	8,4	10	13	16	19,6	25	32	39	51
50 mm VS	0,35	0,42	0,48	0,59	0,68	0,79	0,95	1,2	1,3	1,55
100 mm VS	0,52	0,65	0,73	0,88	1,0	1,75	1,4	1,6	1,9	2,3



Figur 4.23.

Diagrammet fra figur 4.22 med den mindste vandhastighed, hvor al luft rives ned, indtegnet. Denne afhænger af rørdimensionen. Den største vandhastighed hvor ingen luft rives ned er også indtegnet. Værdierne gælder for vand og stammer fra ref. 4.10 og figur 4.18.

Der bruges en flertrinspumpe som har ekstra trykhøjde i forhold til det nødvendige/forventede. Pumpen kører på dette høje trin de første par måneder indtil systemet har været oppe i temperatur nogle gange.

Pumpen placeres på en lodret opadgående rørstrækning. Helst foran varmeveksler/lager (i strømretningen). Hvis pumpen ikke kan tåle de høje temperaturer her, placeres den efter varmeveksler/lager på en lodret streng.

Er der kontraventil i kredsen, placeres en tømmebane på begge sider af ventilen, da rørsystemet ellers ikke kan tømmes.

Det er en fordel med store rørdimensioner i øvre samlerør, luft der udskilles i stilstandsperioder kan samles her.

Det væsentligste er at der udluftes ved samlerør for solfangerne foroven, lige der hvor røret skal nedad. Så længe rørene er vandrette, vil luften rives med strømmen. I mange tilfælde er det nok at udlufte ét sted. I andre tilfælde må der udluftes sektionvis.

Rør fra lager/varmeveksler mod solfanger må ikke gå nedad. De skal føres mindst vandret, måske med svag stigning. Hvis det er nødvendigt at føre røret ned og op igen i en sløjfe, placeres en luftpote med automatisk luftudlader før sløjfen. Rørdimensionen øges i overensstemmelse med figur 4.20. Den automatiske luftudlader kontrolleres med mellemrum.

Der hvor der skal udluftes, øges rørdimensionen, jf. figur 4.20.

Udluftningen foretages bedst med luftpotter med automatiske udluftningsventiler. Hvis udluftningspottens volumen er 4% af væskens, kan al den luft der er opløst i væsken være i potten. Hvis der ikke er undertryk i systemet så der suges luft ind, giver den store luftpote en stor driftssikkerhed,

og en sikkerhed imod eventuelt ødelagte automatiske udluftningsventiler.

Automatiske udluftningsventiler må ikke placeres så de udsættes for højere temperaturer end de kan tåle. Da det kritiske her er kogning i systemet, betyder det at ventilen skal kunne tåle den temperatur væsken har ved kogning ved det tryk der er ved luftpotten når sikkerhedsventilen lige netop ikke åbner ved det tryk der er ved denne. Hvis fx sikkerhedsventilen åbner ved 3,5 bar, og udluftningsventilen sidder 10 m højere oppe, vil væsken her koge ved 2,5 bar svarende til ca. 120°C.

Driftsstop med kogning

Driftsstop med solvarmeanlæg optræder tit i forbindelse med kogning et sted i solfangerkredsen. Kogningen må begynde et sted foroven i en absorber hvor trykket er lavest og temperaturen højest. Yderligere må kogningen optræde først et sted hvor flowet, af tilfældige grunde måske, er lavest.

Hvis der er tale om en effektiv solfanger og forbruget er meget lavt eller nul, kan kogning ikke undgås med mindre rørsystem og sikkerhedsventil er dimensioneret til de tryk der opstår, eller der bruges olie i solfangerkredsen eller tilsvarende. Hvis ikke væsken tømmes ud, vil den koge ud.

Det er muligt at et driftsstop pga. kogning langt hen ad vejen kan undgås hvis den damp der opstår kan udluftes. I et system med åben ekspansion, hvor ekspansionsbeholderen samtidig er udluftningsbeholder, og vandhastighederne er sådan at alt udluftes, så vil hovedparten af dampen slippe ud igennem beholderen, og anlægget vil kunne tåle at koge et stykke tid.

Med lukket ekspansion og automatiske luftudladere sker der ofte det at den øverste del af rørsystemet hurtigt fyldes

med damp, da kapaciteten af den automatiske luftudlader slet ikke slår til. Dampen produceres alt for hurtigt. Når der er tilstrækkelig megen damp øverst i systemet, går cirkulationen helt i stå fordi pumpen ikke kan drive dampen rundt. Trykket stiger nu voldsomt, og sikkerhedsventilen åbner, og der lukkes nu væske ud. Når så kogningen ophører, er der ikke væske nok i rørsystemet, og cirkulationen kommer ikke i gang. Dampen kondenserer, og der suges luft ind.

Måske kan dette forløb undgås hvis:

Kapaciteten af udluftningsventilen er tilstrækkelig stor, og den er anbragt i forbindelse med en beholder til at opsamle en eventuel stor dampplomme der er opstået og pludselig rives igennem rørsystemet.

Eller hvis sikkerhedsventilen er anbragt foroven i systemet således at der lukkes damp ud når den åbner.

Sådanne ting kan forhindre at der opstår et totalt drifts-stop med efterfølgende ny opfyldning og udluftning af rørsystemet pga. kogning i kortere tidsrum enkelte steder i systemet. Er der ikke noget forbrug og er der fuld sol i timevis, vil systemet under alle omstændigheder koge.

5. SOLFANGERES YDELSE

Indledning

Dette kapitel handler om betydningen af en række ting for solfangeres ydelse. Da ydelsen af solfangere først og fremmest er afhængig af temperaturen hvortil varmen skal leveres (lagertemperaturen), er betydningen af andre faktorer (hældning, varmekapacitet mv.) undersøgt for forskellige temperaturniveauer.

Kapitel 6 giver data (ydelser og tab i rørsystemer) for en række forskellige solfangere givet ved en starteffektivitet og en varmetabskoefficient, under forskellige forhold, altså forskellige hældninger mv. Det er hensigten at disse tabeller og kurver skal kunne bruges til en rimelig præcis beregning af et givet anlægs ydelse, uden brug af simuleringsskemaer, som et led i en skitseprojektering og som støtte i systemovervejelser.

I mange tilfælde vil de ydelser der findes på denne måde være tilstrækkelige til en endelig dimensionering af et solvarmeanlæg, især i betragtning af at usikkerheden på forbrugssiden i reglen er langt større.

Det vanskelige består i at bestemme den temperatur hvortil varmen leveres, den er jo afgørende for solvarmeydelsen. For små brugsvandsanlæg vil denne temperatur variere meget, selv over en enkelt dag, derfor er det nødvendigt med en edb-simulering for at bestemme ydelsen. For større solvarmeanlæg i forskellige sammenhænge (opvarmning af returledning i fjernvarmenet, sæsonlagring, anlæg med små dækningsgrader mv.), vil temperaturen hvortil varmen skal leveres ofte være kendt og relativ uafhængig af solvarmetilførslen. Det vil derfor være muligt at bestemme solvarmeydelsen ved opslag i tabeller, suppleret med en beregning af, hvorledes temperaturerne ændrer sig ved den fundne varmetilførsel.

Første del af kapitlet skulle give en forståelse for, hvorledes ydelsen afhænger af forhold som hældning, skyggevirking, jordrefleksion mv. Endvidere undersøges fordelene ved at dreje solfangeren efter solen og fordelene ved at anbringe en refleksskærm foran solfangeren. Endelig bestemmes reduktionen i ydelse som følge af, at solfangerne står i rækker der skygger for hinanden. Kapitel 5 kan således også bruges til at korrigere ydelser fundet i tabellerne der hører til kapitel 6 (findes i Bilag A).

I det følgende præsenteres ydelsen som funktion af temperaturen i lageret. Dette skal forstås sådan at de aflæste ydelser er den ydelse der ville være hvis lagertemperaturen var konstant gennem året. I kapitel 6 fås ydelserne måned for måned.

Beregningerne gælder for en solfanger med en starteffektivitet på 85% og en varmetabskoefficient på $5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$, svarende til en god selektiv solfanger med et lag glas eller andet tilsvarende dæklag. I visse tilfælde er der også angivet værdier for en solfanger med 76% i starteffektivitet og $1,2 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$ i varmetabskoefficient, svarende til fremtidig højeffektiv solfanger med transparent isolering.

I øvrigt fremgår data for solfangerne af figur 5.1.

System, hvori solfangeren indgår

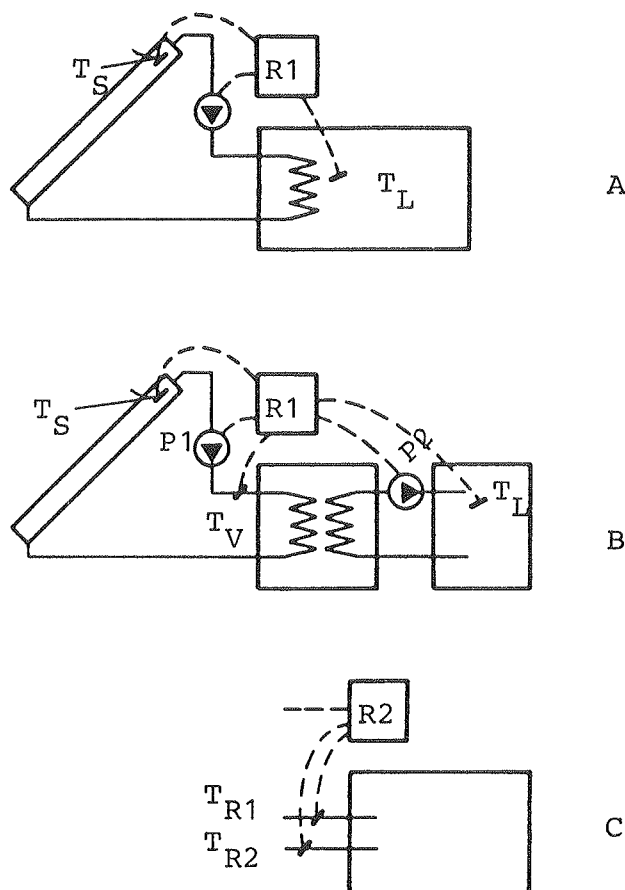
Systemet der betragtes fremgår af figur 5.2. System A og B vil med passende varmevekslerydelse give samme ydelse i denne sammenhæng, men i system B er der mulighed for at P1 starter allerede når solfangerne kan opvarme rørsystemet mellem solfangerne og varmeveksleren, hvorved rørtabet kan mindskes. Dette kan forsåvidt også opnås med et omløb og en trevejsventil i system A.

Solfangerens hældning:	45° med vandret
Solfangerens orientering:	syd
Jordrefleksion, brøkdel af stråling der reflekteres af jorden:	0,2
Varmevekslerkapacitet mellem solfangerkreds og lagersystem:	50 W/°C pr. m ² solfanger, uafhængigt af temperaturen
Væskegennemstrømning i solfangerkredsen	0,5 liter pr. min. pr. m ² solfanger
Varmekapacitet af væske i solfangerkreds:	4000 J/(kg · °C)
Massefylde af væske i solfangerkreds:	1000 kg/m ³
Startdifferens for differenstermostat	5°C
Stopdifferens for differenstermostat:	0°C
Solfangerens varmetabskoefficient: Solfanger A	5,0 W/°C pr m ² solfanger
Solfangerens starteffektivitet: Solfanger A	85%
Højeffektiv solfanger - Solfanger B varmetab/starteffektivitet:	1,2 / 76
Solfangerens varmekapacitet effektiv:	15000 J/°C pr. m ² solfanger
Absorbereffektivitet, F'	0,95
Flowfaktor, F''	0,93
Varmevekslerfaktor, F'''	0,96
Rørsystemets varmetabskoefficient:	0,4 W/°C pr. m ² solfanger
Rørsystemets varmekapacitet:	7000 J/°C pr. m ² solfanger
Rørsystemets placering:	ved udelufttemperaturen fra referenceåret

Figur 5.1. Referenceværdier for solfanger A og B som gælder for beregninger i kap. 5. De anførte værdier gælder når intet andet er anført. Se i øvrigt diagram 1 og 2, bilag A. F', F'' og F''' er antaget ens for solfanger A og B, se herom i kap. 6.

Solfanger A: Selektiv solfanger med et dæklag af glas.

Solfanger B: Fremtidig højeffektiv solfanger med transparent isolering.



Figur 5.2. Systemløsninger for solfangerkredsen vedr. beregningerne i dette kapitel.

- A. Pumpen starter når $T_S - T_L$ er større end startdiffereensen og stopper igen når samme forskel er mindre end stopdiffereensen.
- B. Pumpen P1 starter når $T_S - T_L$ er større end startdiffencen. Pumpen P2 starter når temperaturen T_V er lig eller lidt større end T_L . Der må være en tidsforsinkelse på start af P2, da T_V vil svinge meget i starten og måske kortvarigt blive større end T_L .

Alternativt kan pumpen P1 startes med en lysføler allerede ved lav solindstråling, således at det tidlige solindfald medvirker til at opvarme rørsystemet.

Pumperne stopper når $T_S - T_L$ er lavere end stopdiffereensen.

- C. Start som A eller B. Pumpen stopper når temperaturen T_{R1} er lig temperaturen T_{R2} . Det er da helt givet at der ikke tilføres varme til lageret.

I system C er der to termostater. Pumpen starter på samme måde som i A og B, når temperaturen i solfangeren er højere end temperaturen i lageret. Men pumpen stopper når temperaturerne på rørene umiddelbart ved lageret er ens. Det giver et mere nøjagtigt stop af pumpen, da stopdifferensen ikke skal korrigeres for temperaturtabet i røret fra solfangeren til lageret, der jo vil variere med temperaturniveauet. I et større solvarmesystem, hvor der er mulighed for at trække varme ud af lageret da bunden ikke altid er kold som i et brugsvandsanlæg, har stopdifferensen ret stor betydning, og styringen som i system C må anbefales.

Beregningsmodel og vejrdata

Den anvendte edb-model er en kvasi-stationær type med et tidsskridt på 15 minutter. Den har bl.a. været brugt til valideringer på demonstrationsanlæggene i Greve og Gentofte og er i den sammenhæng grundigt kontrolleret, ref. 5.1. En sammenligning med beregninger foretaget med BSOL-programmet, ref. 5.2, viser god overensstemmelse både hvad angår ydelser og rørtab. Modellen er ikke gyldig ved flow mindre end ca. 0,17 liter pr. minut pr. m² solfanger. Som vejrdata er brugt det danske referenceår, TRY, ref. 5.3. Se figur 5.3.

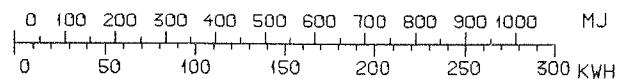
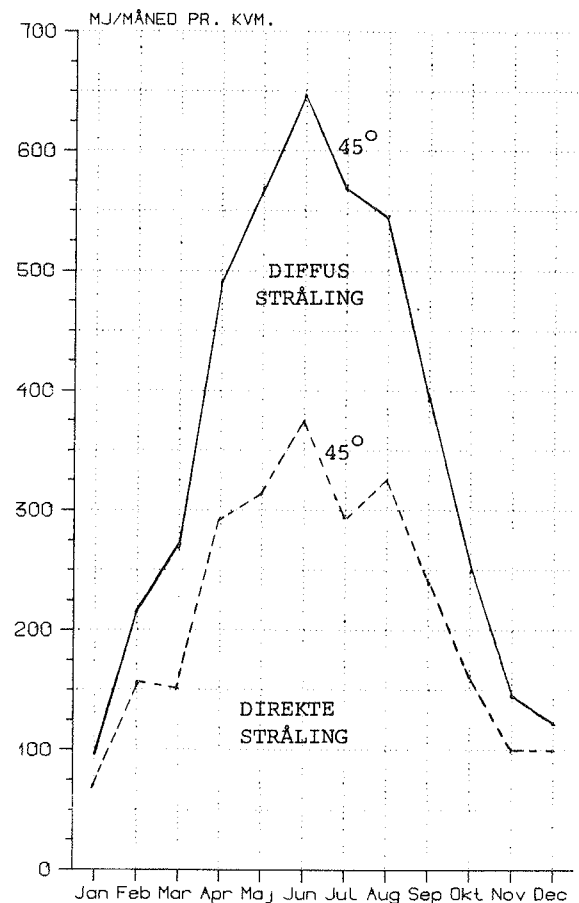
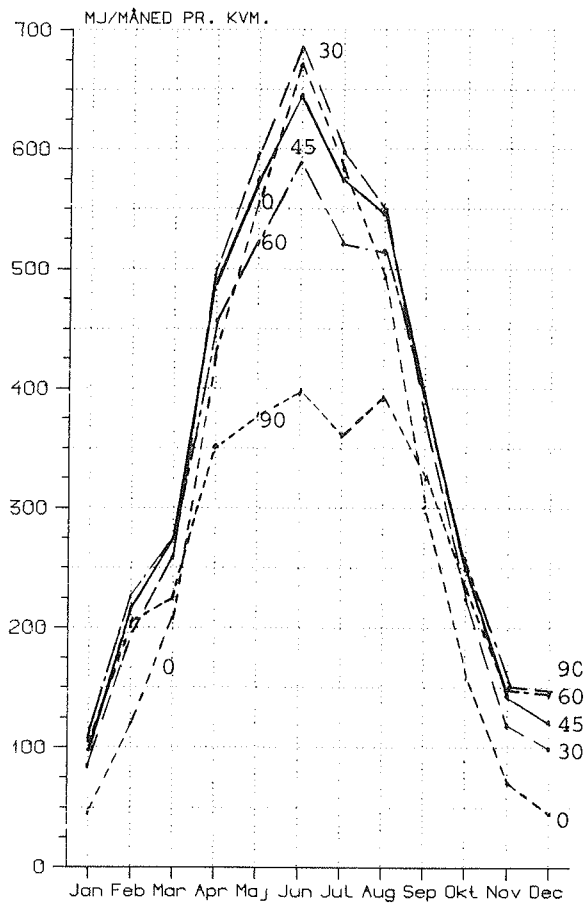
Tilnærmelser og forudsætninger

Af tilnærmelser og forenklinger, som er foretaget og som kan have betydning, må nævnes:

Opvarmning af solfanger

Ved opvarmning af solfangeren (uden flow) regnes temperaturen ens overalt på absorberen, mens den i virkeligheden er højere foroven i solfangeren.

SOLINDFALD



Hældning mod vandret

- 0°
- 30°
- 45°
- 60°
- 90°

Figur 5.3. Solindstråling i Det Danske Referenceår (TRY, ref. 5.3). Til venstre er vist indstråling på forskellige hældninger. Til højre indstrålingen og opdelingen på diffus og direkte stråling på 45° hældning.

Orientering syd. Jordrefleksion 0,2.

Fugt

Der er ikke regnet med fugt i solfangeren. Det kan især have betydning om vinteren, hvor der skal bruges varme til at tørre solfangeren. Hvis solfangeren er helt tæt over for regn, hvad man må forlange, er dette sikkert uden betydning.

Sne

Der er ikke regnet med sne på dæklaget.

Erfaringsmæssigt kan sne på en solfanger med en hældning under 30° med vandret ligge længe, især hvis der fornedes på solfangeren er en kant der forhindrer sneen i at glide af.

Ved hældninger over 30° skulle sneen glide af (hvis der ikke er en kant fornedes), når glastemperaturen kommer over 0°C . Det vil den først komme op på når lufttemperaturen et stykke tid har været over frysepunktet, da glasset er varmeisoleret nedad af solfangeren og opad af sneen, se i øvrigt ref. 5.6.

Hvis absorberen kortvarigt opvarmes ved at der cirkuleres vand igennem den, kan glastemperaturen muligvis hæves så meget at sneen glider af. Hvis den sne der glider af lægger sig i en bunke foran solfangeren, kan den næste sne der falder ikke glide af.

Hvis sneen på en del af solfangeren fjernes, fx den nederste femtedel, vil solfangeren hurtigt blive varm nok til at resten af sneen glider af, når og hvis solen begynder at skinne.

Ved anvendelse af acrylplader eller lignende, der ikke er plane, vil sneen naturligvis have sværere ved at glide af.

Snavs på dæklag

Der er heller ikke taget hensyn til reduceret indstråling som følge af snavs på dæklaget. I almindelighed har dette heller ikke stor betydning, da regnen med jævne mellemrum "renser" glasset.

Ved solfangere med lav hældning kan det dog nok lokalt under særlige forhold have stor betydning, også i Danmark, men jo især i lande hvor klimaet er tørt og præget af sand- og støvfygning. Her er en jævnlig rensning sikkert nødvendig.

Skygger

Et andet forhold af større betydning er skygge fra træer og bygninger i nærheden. Beregningerne svarer, hvor intet andet er anført, til det ideelle, at der overhovedet ingen skygge er. Et afsnit giver en metode, hvorefter man kan korrigere ydelsen for skyggevirksomhed.

Flow

Det er forudsat at der strømmer den samme væskemængde igennem alle solfangerelementer i systemet. Dette er ikke altid tilfældet, og det kan give anledning til en vis reduktion i ydelsen. Problemet er dog især, at det kan ske at der er dele af systemet, hvor der slet ikke strømmer væske igennem. Se i øvrigt afsnit 4.

Refleksion i dæklaget

Der er overalt benyttet en refleksion, der svarer til et dæklag bestående af et lag glas.

For den direkte stråling beregnes refleksionen efter et udtryk, der giver følgende tab ved refleksion i dæklaget. Indfaldsvinklen er vinklen mellem solens stråler og normalen til solfangeren.

Indfaldsvinkel	Refleksionstab
0	0 %
20	1
50	7
60	16
70	34
80	65
85	84
90	100

Den diffuse strålings indfaldsvinkel regnes efter sædvane til at være 60° i gennemsnit, dvs. at 16% af den diffuse stråling regnes tabt ved refleksion i dæklaget.

For solfangere med et andet dæklag kan refleksionsforholdene være anderledes, og beregningerne i rapporten kan ikke anvendes uden forbehold. Så længe der er tale om plane dæklag, vil forskellen ikke være stor.

Transmissionen for dæklaget udtrykkes gennem udtrykket for solfangerens effektivitet, som benyttes ved beregningerne. Man skal dog være opmærksom på, at solfangerens effektivitet måles ved en indfaldsvinkel på 0° .

For de fleste solfangere er transmissionen i dæklaget nogenlunde uafhængig af indfaldsvinklen. Men for eksempel for en polycarbonat ribbeplade er transmissionen afhængig af strålingsretningen i forhold til ribberne. Det betyder at beregningerne her i rapporten ikke uden forbehold kan anvendes. De virkelige ydelser vil være lavere, da der er et ekstra tab i dæklaget ved visse indfaldsvinkler.

Solfangereffektivitet

Beregningerne er baseret på solfangerens starteffektivitet og varmetabskoefficient. Effektiviteten af en solfanger er i reglen angivet ved et udtryk som følger:

$$n = n_o - k_o(T_m - T_l)/E - k_l(T_m - T_l)^2/E$$

hvor n er solfangerens effektivitet ($0 - 1,0$)

T_m er middelvæske temperaturen

T_l er lufttemperaturen

E er solintensiteten (W/m^2) målt i solfangerens plan

n_0 er starteffektiviteten ($0 - 1,0$)

k_0 er varmetabskoefficienten $W/^\circ C \cdot m^2$, 1. orden

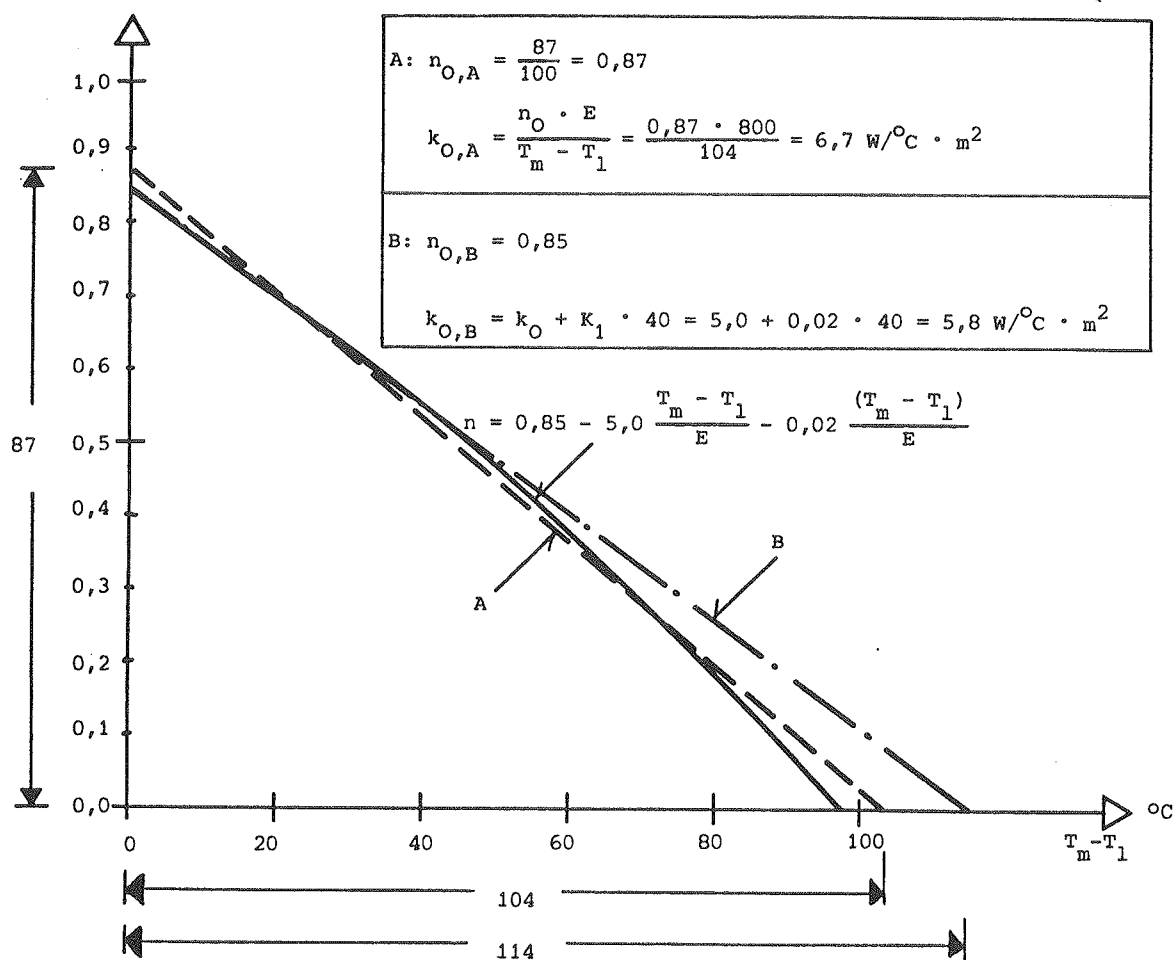
k_1 er varmetabskoefficienten $W/^\circ C^2 \cdot m^2$, 2. orden

Varmetabskoefficienten angives således ved to led hvorefter det sidste angiver effektivitetskurvens krumning. I denne rapport er varmetabet kun angivet ved et tal, svarende til k_0 . Det svarer til at effektivitetskurven er en ret linje. For at kunne sammenligne med effektiviteten af en konkret solfanger, der er effektivitetsprøvet, er det derfor nødvendigt at linearisere effektivitetskurven for solfangeren. Det skal gøres så at udtrykket bliver mest korrekt i det temperaturområde der er relevant. Se figur 5.4.

Hældningen

Varmetabskoefficienten afhænger af solfangerens hældning, således at en lodret solfanger er mere effektiv end den samme solfanger placeret vandret. Det hænger sammen med varmetransporten ved konvektion fra absorber til glas. Effektivitetskurver er normalt gyldige for en hældning på 45° . Er hældningen 90° , vil varmetabskoefficienten aftage med mellem 0,3 og 0,9 $W/(^\circ C \cdot m^2)$, afhængigt af solfangerens konstruktion. For en selektiv solfanger med en varmetabskoefficient på 5,0 svarer dette altså til en forbedring på mellem 6 og 18%. Ved en hældning på 0° (vandret) vil varmetabskoefficienten vokse med en tilsvarende værdi, og effektiviteten altså aftage.

I prøverapporter for solfangere, udgivet fra Prøvestationen for Solvarmeanlæg, er den præcise korrektion for den afprøvede solfanger angivet. Det vil da være muligt ved hjælp af kurverne figur 5.36 til 5.38 at se hvilken betydning dette kan have.



Figur 5.4.

Linearisering af effektivitetskurver.

Effektivitetskurven for solfangeren med $n_O = 0,85$, $k_O = 5,0$ og $k_1 = 0,02$ er vist på to måder.

- A er en ret linje der i hele området ligger tæt ved den krumme kurve. Den maksimale afvigelse er under 5% ved meget høje temperaturer.
- B er en ret linje der skærer den krumme kurve ved $T_m - T_1$ lig 0°C og 40°C (en sekant). Den tilnærmer den krumme kurve ved de lave temperaturer, der er mest relevant ved fx brugsvandsanlæg, men er noget forkert ved høje temperaturer. Den er, som det fremgår, meget let at beregne en varmetabskoefficient for. Et andet punkt end $T_m - T_1 = 40^\circ\text{C}$ kan let vælges.

Vind

En solfangers varmetabskoefficient afhænger af vindhastigheden ved solfangeren. I beregningerne er der regnet med en konstant koefficient uafhængigt af vindhastigheden.

Ifølge ref. 5.4 varierer varmetabskoefficienten mindre end 5% med vindhastigheden for en selektiv solfanger. For en sortmalet solfanger med et lag glas stiger solfangereffektiviteten med ca. 15% ved vindstille i forhold til effektiviteten ved 5 m/s i vindhastighed. Ved større vindhastigheder aftager effektiviteten ikke væsentligt.

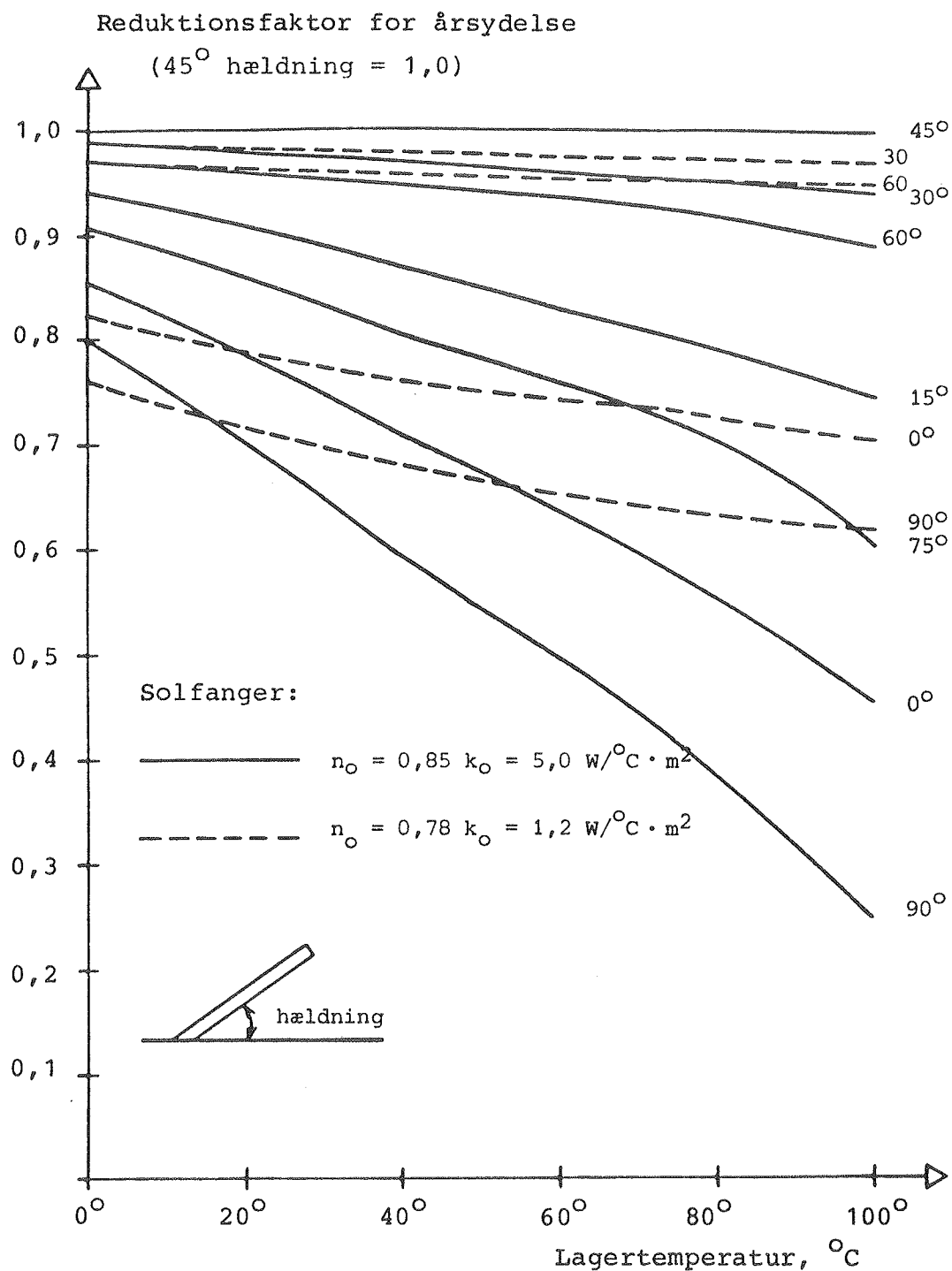
For solfangere uden dæklag er vindhastigheden langs solfangeren helt afgørende for effektiviteten, og det er af stor betydning at solfangeren er anbragt i læ. En nøjagtig beregning af ydelsen vil i de tilfælde kræve hensyn til vindforholdene.

Jordrefleksionen

Refleksionen fra arealet foran solfangeren er sat til 0,2, svarende til en almindeligt antaget gennemsnitsværdi for en blanding af græs og buske og sten. Af figur 5.9 til 5.13 fremgår beregninger for andre refleksionsforhold. For solfangere med stor hældning (næsten lodret) kan jordrefleksionen have stor betydning for ydelsen.

Hældningens betydning for årsydelsen

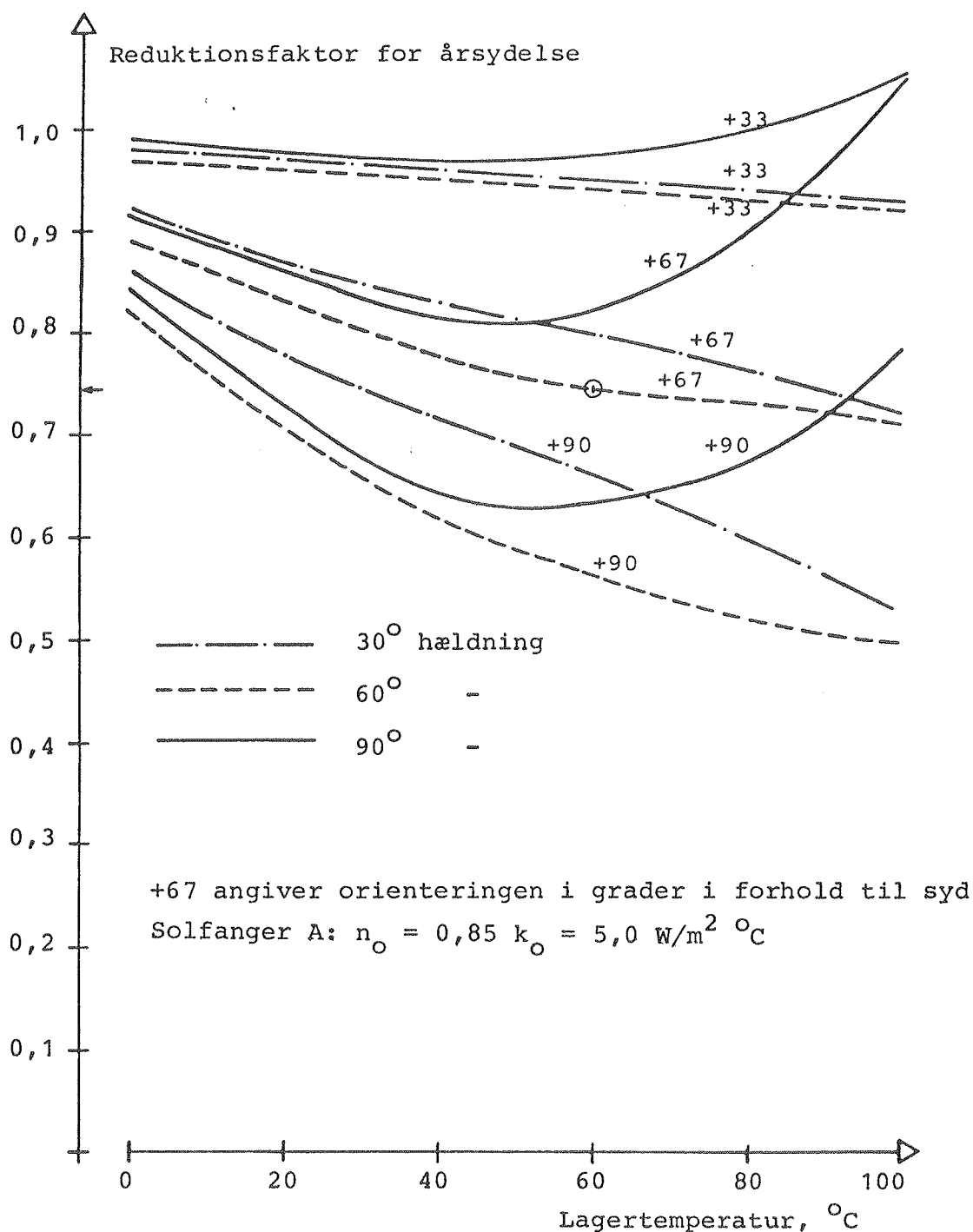
Figur 5.5 viser hældningens betydning for ydelsen ved en reduktionsfaktor i forhold til ydelsen ved en hældning på 45° . Der er vist to solfangere, en god selektiv solfanger med et dæklag og en højisoleret, fremtidig type med transparent isolering, data i øvrigt se figur 5.1.



Figur 5.5.

Hældningens betydning for årsydelsen af solfangeren, som funktion af lagertemperaturen.

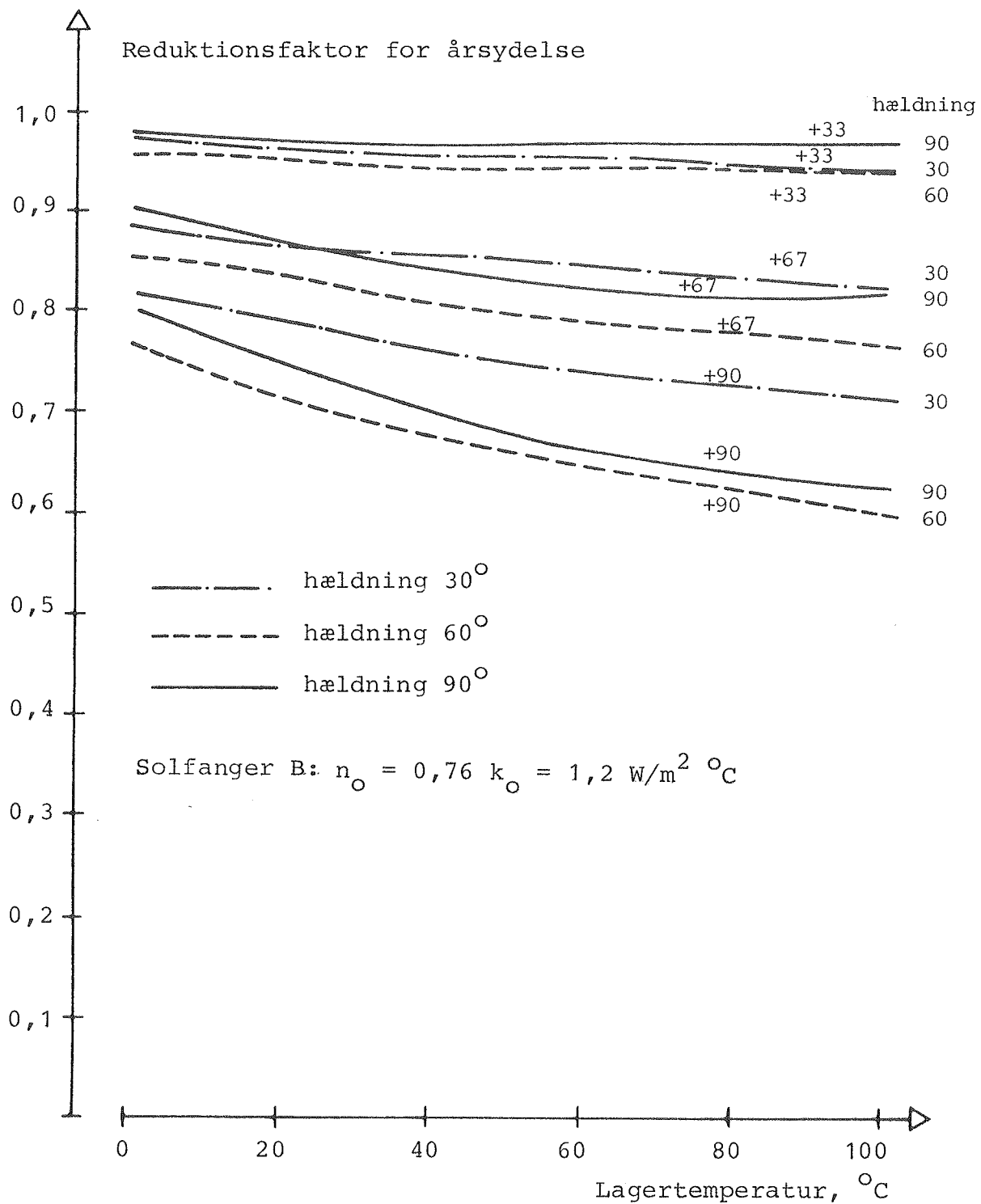
Reduktionsfaktoren sat lig 1,0 ved en hældning på 45° for alle temperaturer. Årsydelsen for andre hældninger fås ved at gange ydelsen ved en hældning på 45° med den aflæste faktor for den pågældende temperatur.



Figur 5.6.

Orienteringens betydning for årsydelsen, som funktion af lagertemperaturen.

Reduktionsfaktoren angiver reduktionen af årsydelsen når solfangeren drejes væk fra syd. +33 angiver en drejning på 33° mod vest. En drejning mod øst giver samme reduktion som en mod vest. Reduktionen er angivet for 3 forskellige hældninger, således at faktoren er lig 1,0 ved alle temperaturer og den aktuelle hældning. Ydelsen for en solfanger med en hældning på 60° drejet 67° mod vest findes ved at gange ydelsen ved en hældning på 60° og orienteringen stik syd med faktoren aflæst for den aktuelle temperatur. For en almindelig, selektiv solfanger fås for disse værdier ved 60°C en faktor på 0,74.



Figur 5.7. Som figur 5.6 for en højeffektiv solfanger, solfanger B.

Det fremgår at ydelsen er højest ved en hældning på 45° , og at ydelsen aftager med mindre end 10% for hældninger mellem 30° og 60° , ved alle temperaturer. For større eller mindre hældninger kan reduktionen blive betragtelig ved høje temperaturer.

For den højeffektive solfanger er temperaturafhængigheden, hvad man kunne forvente, meget mindre.

Orienteringens betydning for årsydelsen

Figur 5.6 og 5.7 viser, tilsvarende som for hældningen, betydningen af orienteringen i forhold til syd. Første figur gælder for en almindelig selektiv solfanger, anden figur for en højeffektiv solfanger.

Det giver stort set samme reduktion om solfangeren drejes mod øst eller vest, idet en drejning mod vest giver en lidt mindre reduktion i ydelsen, uden praktisk betydning.

For begge solfangere gælder det at en drejning på 33° væk fra syd giver en reduktion på under 10%. Ved høje temperaturer stiger ydelsen af en lodret solfanger når den drejes lidt væk fra syd, hvilket må hænge sammen med at bidraget fra den direkte stråling, der giver højest intensitet, derved forøges.

For den højeffektive solfanger er reduktionen relativ uafhængig af temperaturen i lageret. Ved lave temperaturer er reduktionen størst for den højeffektive solfanger, mens det ved høje temperaturer er den almindelige selektive solfanger der giver de største reduktioner.

Jordrefleksionens betydning for årsydelsen

Til disse beregninger og til beregningerne i næste afsnit om refleksskærme er der brugt en beregning af solindstrålingen på absorberen baseret på følgende.

Der regnes ikke med spejlende refleksion. Opstilling af spejle foran en solfanger ville godt nok forøge ydelsen væsentligt, men det er i praksis vanskeligt at vedligeholde en spejlende, næsten vandret flade.

Der er taget hensyn til at en solfanger med en refleksskærm foran selv vil skygge for noget af den diffuse stråling der skulle ramme skærmen.

Endvidere er der specielt korrigeret for indfaldsvinklen for den diffuse stråling fra jorden (refleksskærmen). Denne kan for en lav hældning blive stor, således at den reflekterede stråling fra jorden (skærmen) igen reflekteres i dæklaget. For en lodret solfanger vil indfaldsvinklen for den diffuse reflekterede stråling være mindre end de sædvanligt brugte 60° , således at en traditionel beregning vil give en lavere ydelse.

Figur 5.8 viser jordrefleksionen for forskellige overflader. Det fremgår at for sne og lyse flader kan refleksionen blive stor. Når jordrefleksionen er 1,0 betyder det at den solindstråling der er på vandret (globalstrålingen) reflekteres fuldstændigt, så at solfangeren ser denne stråling. For en lodret solfanger udgør jorden (eller sneen) det halve af det rum solfangeren ser, hvorfor jordrefleksionen her har stor betydning. Det skal erindres at under normale forhold er ca. halvdelen af den stråling der når solfangeren diffus.

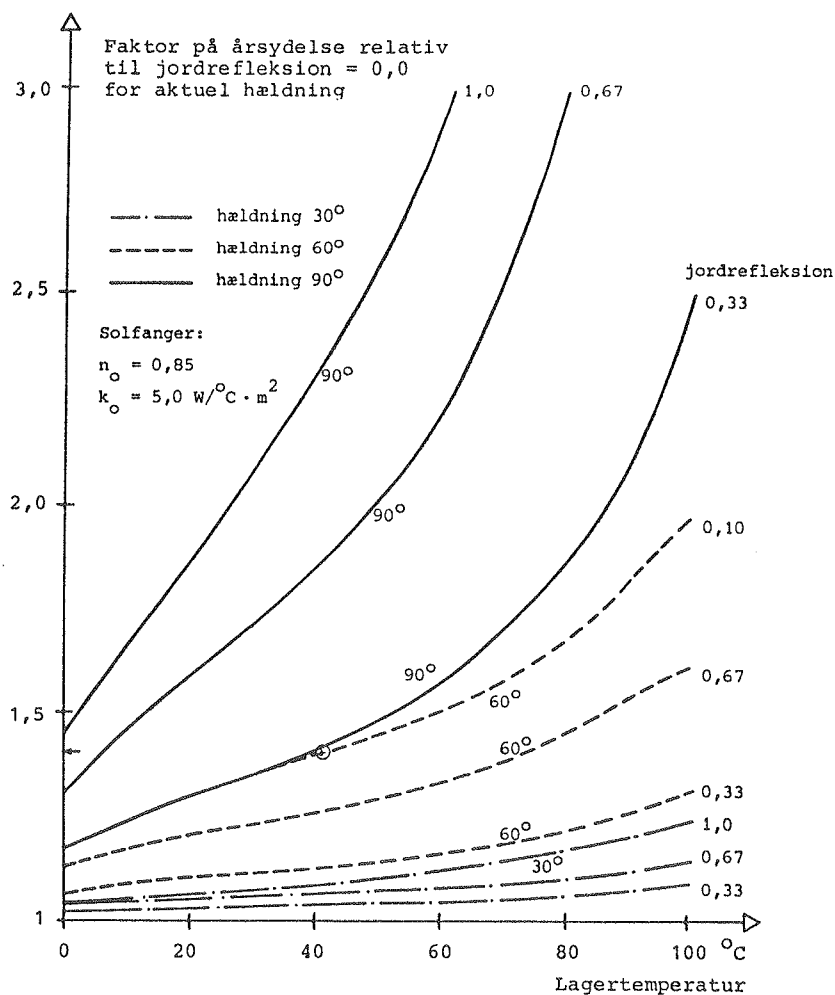
Ny sne	0,85
Gammel sne	0,4-0,7
Kobber, højpoleret	0,82
- , matteret	0,36
Aluminium, 6061 nyt	0,63
- , sandblæst	ca. 0,45
Galvaniseret jern	0,62
Lyse farver, gult, lyst og rødt tegl	0,50
Græs, buske og løvskov, lyst sand	0,25
Røde mursten, beton	0,25-0,3
Sand, makadam, lys skifer	0,20
Nåleskov	0,15
Asfalt, skifer, fugtig ubevokset mark	ca. 0,10

Figur 5.8. Refleksionskoefficient for forskellige overflader. Baseret på: Passiv solvarme - Projekteringsvejledning. Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport 30.

Man kunne tænke sig at en vandoverflade foran solfangeren ville forøge ydelsen. Dette er imidlertid ikke tilfældet, som det fremgår af ref. 5.5. Det hænger sammen med at vandoverfladen kun reflekterer spejlende ved meget store indfaldsvinkler (lav solhøjde, når der ses lysreflekser i vandet), mens vandoverfladen har en dårlig refleksion af diffust lys (0,05), svarende til at en vandoverflade er mørk at se på.

Figur 5.9 viser betydningen af jordrefleksionen for hældninger på 30, 60 og 90°. Figur 5.10 viser ydelserne ved en jordrefleksion på 0,0, som er de ydelser der skal korrigeres med faktoren aflæst i figur 5.9.

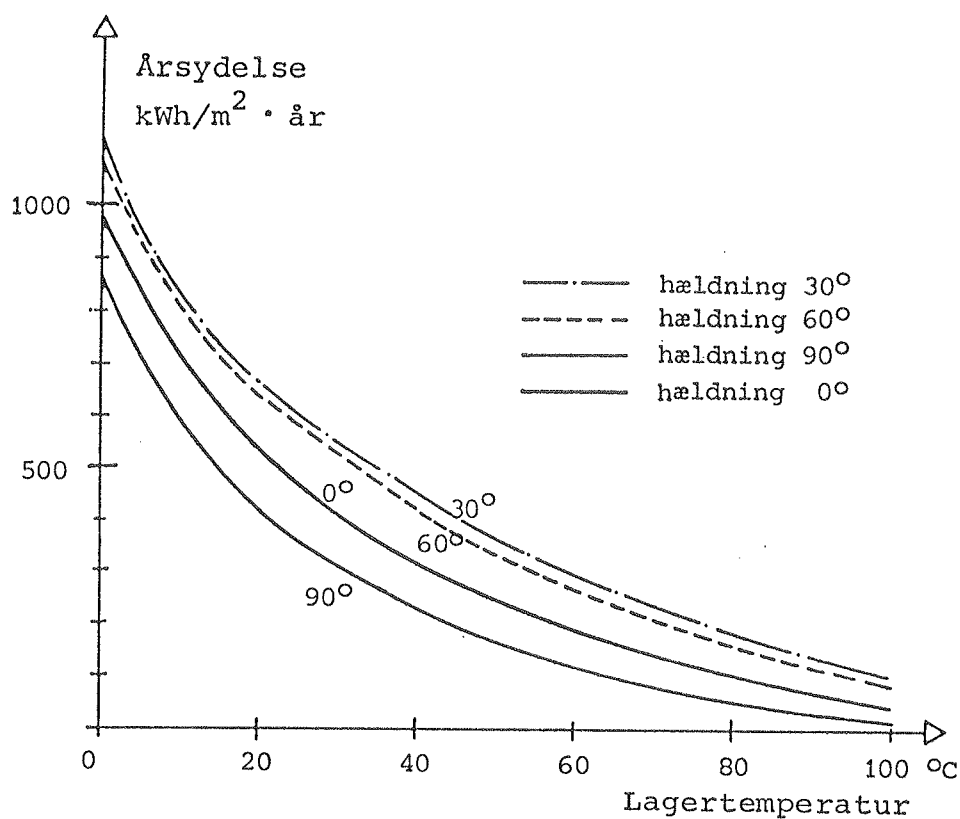
Det fremgår, at især for store hældninger (lodret solfanger) og høje temperaturer i lageret har jordrefleksionen stor betydning for ydelsen. Eksempelvis giver en lodret solfanger med en jordrefleksion på 0,67 samme ydelse som en solfanger ved 30 eller 60° og en jordrefleksion på 0,0.



Figur 5.9.

Jordrefleksionens betydning for årsydelsen, som funktion af lagertemperaturen.

Figuren angiver den faktor, som ydelsen ved en jordrefleksion på 0,0 og den pågældende hældning skal ganges med for at give ydelsen ved den gældende jordrefleksion og lagertemperatur. Eksempelvis fås ydelsen for en lodret solfanger ved en jordrefleksion på 0,33 ved en temperatur i lageret på 40°C ved at gange ydelsen for en lodret solfanger ved 40°C (figur 5.10) med den her aflæste faktor 1,4. Årsydelsen bliver da $230 \times 1,4 = 320 \text{ kWh/m}^2$.



Figur 5.10.

Årsydelsen for solfangeren $n_0 = 0,85$ og $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$ ved en jordrefleksion på 0,0. Til brug i forbindelse med figur 5.9.

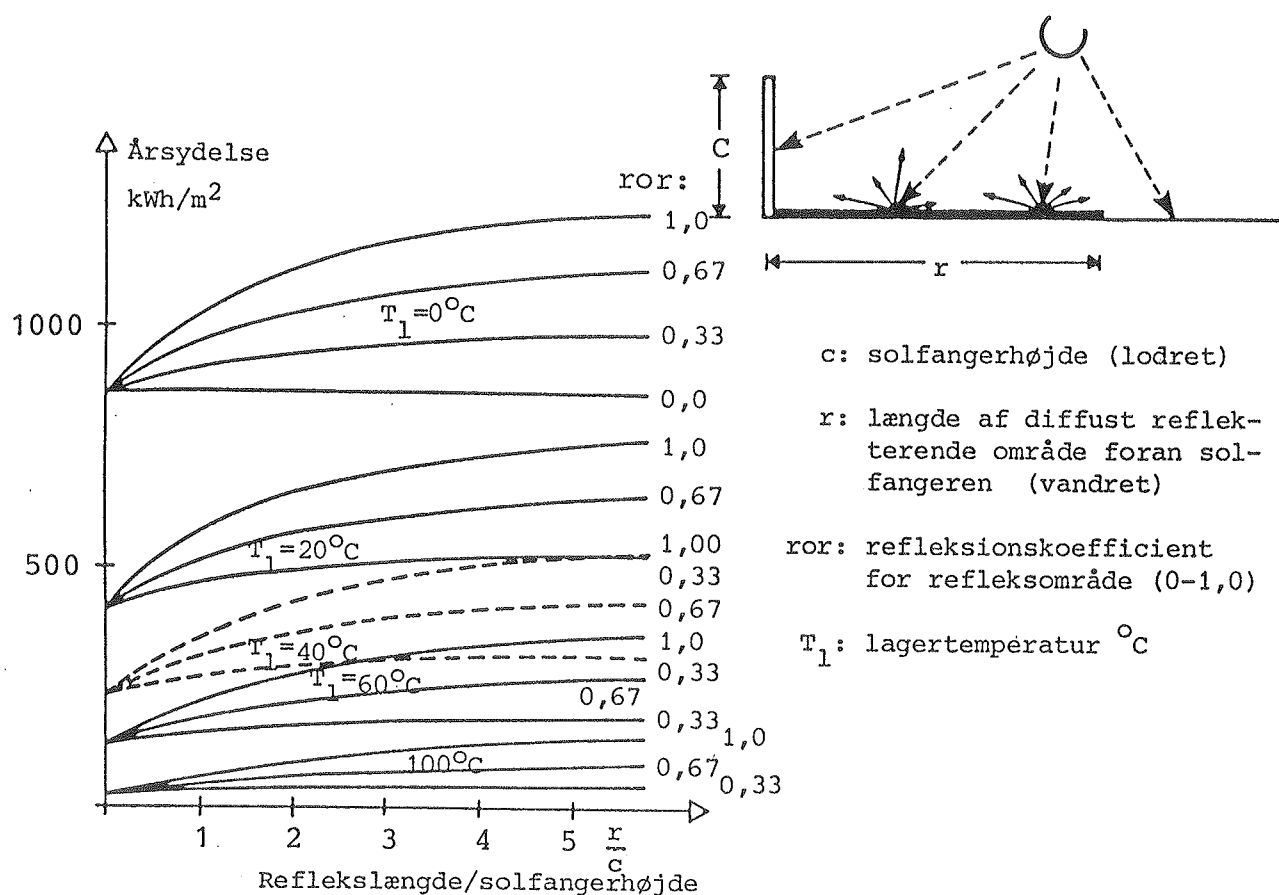
Refleksområde foran solfangeren

Man kunne tænke sig at det var en fordel at forøge solfangerydelsen ved at skaffe et område foran solfangeren med en høj refleksionskoefficient. Om vinteren kan man få det forærende, da der kan ligge sne der har en høj refleksion. I øvrigt kunne der være tale om materialer i lyse farver, der også af andre grunde er attraktive.

Der kan også være tale om at det af praktiske eller af arkitektoniske grunde vil være ønskeligt at anbringe solfangeren lodret, fx på en husfacade. Refleksionsforholdene foran solfangeren er da afgørende for ydelsen, og hvis det er muligt at skaffe en god refleksion, kan ydelsen forbedres så meget at den lodrette placering giver ydelser der nærmer sig ydelserne for de mere optimale skrå hældninger.

Endvidere er der den fordel at en lodret placeret solfanger giver en mere jævn fordeling over året af varmeproduktionen, idet ydelsen er lavere om sommeren og højere om vinteren. Den ekstra ydelse man får med en solfangerhældning på 45° i forhold til en lodret ligger i sommermånederne, og i mange solvarmesystemer er der i denne periode et varmeoverskud som ikke kan udnyttes.

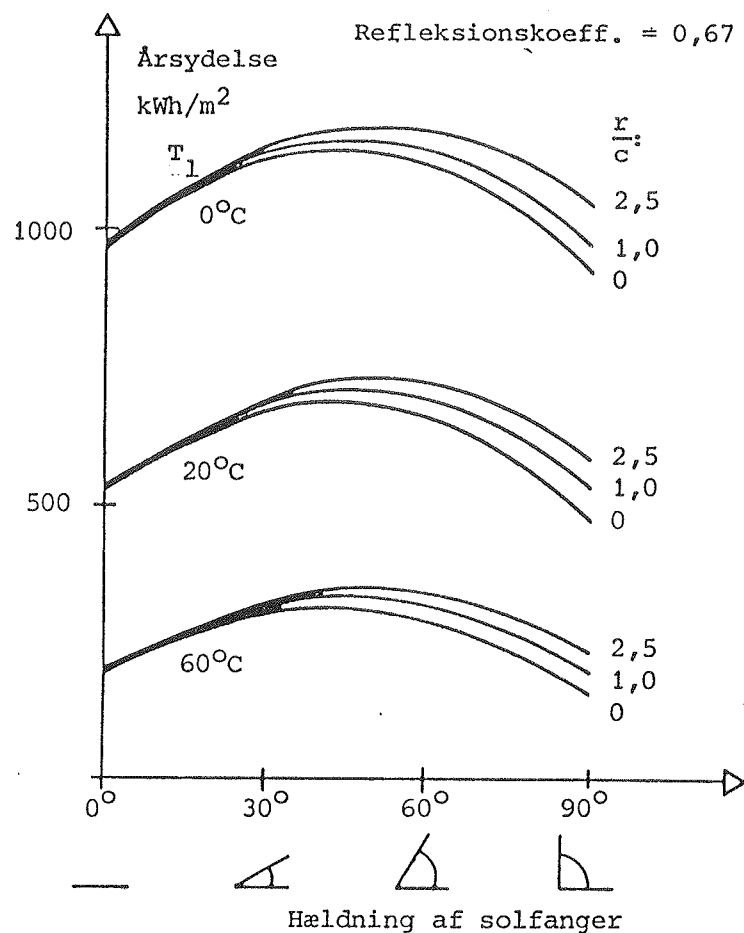
Disse forhold fremgår af figurerne 5.11 til 5.13.



Figur 5.11.

Figuren viser betydningen på årsydelse af et diffust reflekterende område foran solfangeren. Årsydelsen er vist for forskellige lagertemperaturer og refleksionskoefficienter for refleksområdet, som funktion af refleksområdets udstrækning. Refleksionskoefficienten for området uden for refleksområdet er sat til 0,0.

Hældning 90° . Solfanger $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

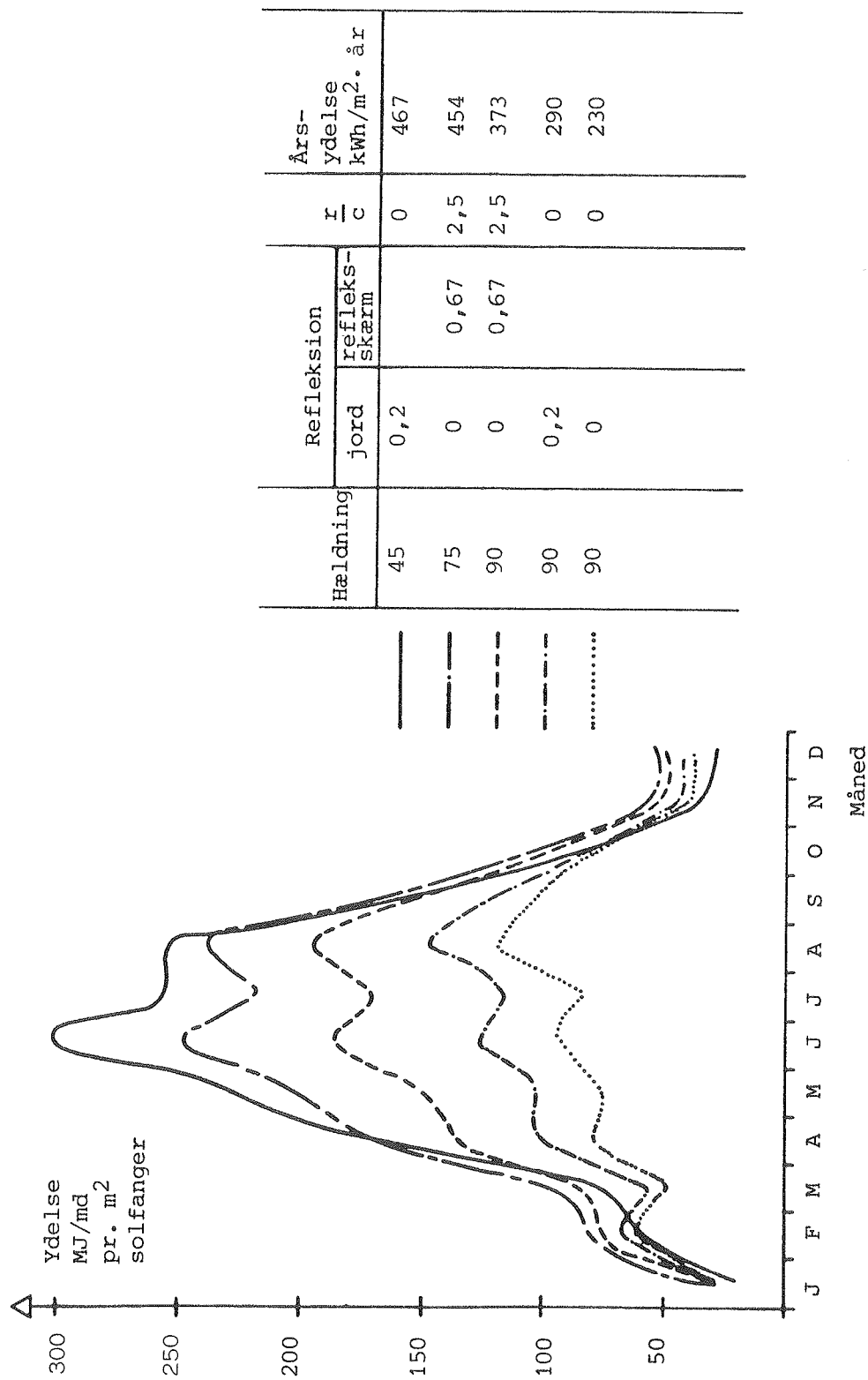


Figur 5.12.

Figuren viser tilsvarende som figur 5.11 betydningen på årsydelsen af et refleksområde (diffust reflekterende refleksion 0,67) foran solfangeren. Årsydelsen for forskellige lagertemperaturer for forskellige reflekslængder er vist som funktion af solfangerens hældning.

For $r/c = 0$, svarende til at der ikke er noget refleksområde, er jordrefleksionen sat til 0,2, svarende til almindelige forhold.

Solfanger $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.



Figur 5.13.
Figuren viser ydelsen måned for måned for forskellige hældninger og refleksionsforhold foran solfangeren som anført.

Solfanger $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

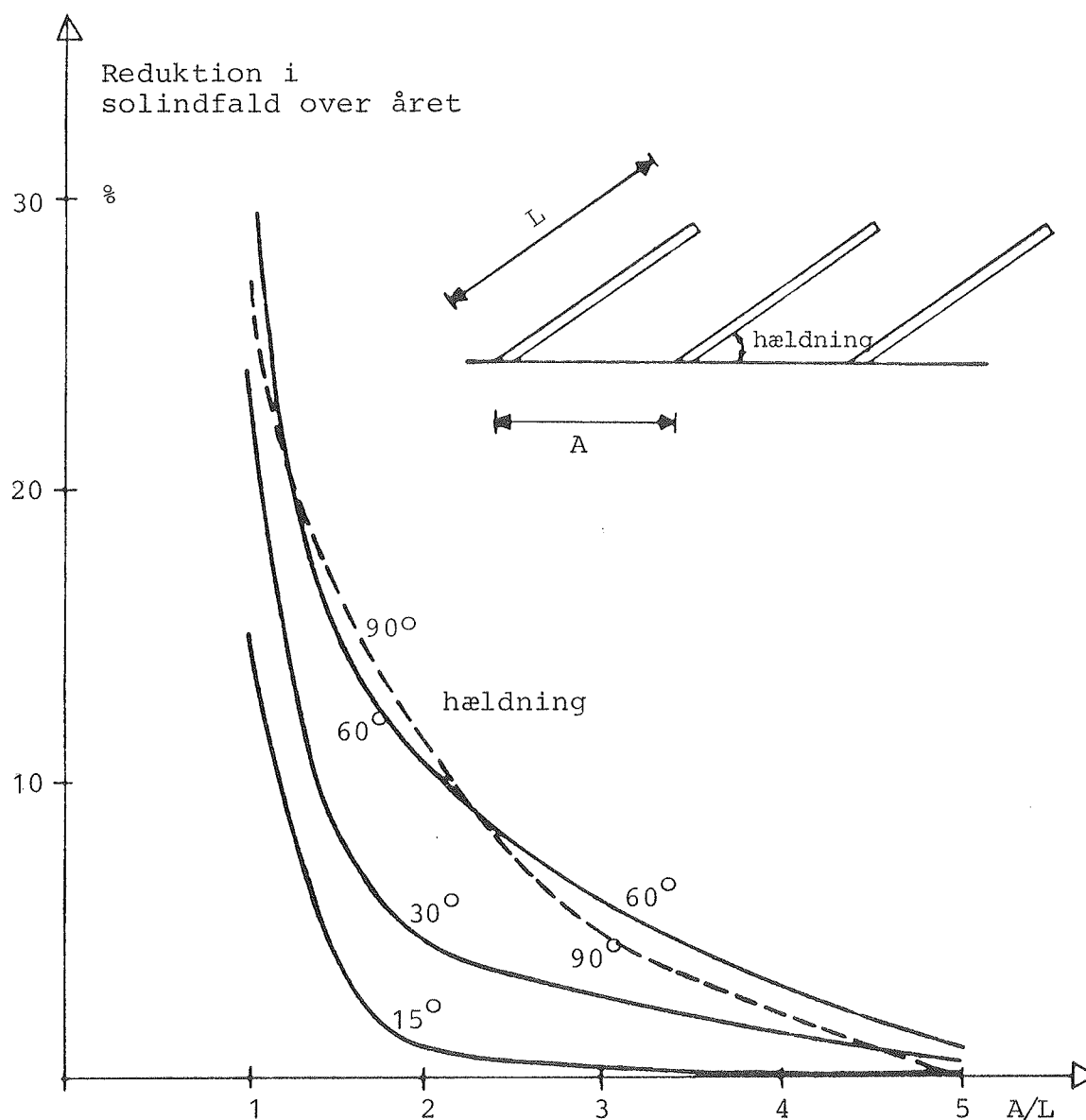
Reduktion i årsydelse for solfangere placeret i rækker efter hinanden

Hvis et stort antal solfangere skal placeres på en flad mark, må de stå i rækker, og de vil derfor skygge for hinanden. Betydningen heraf kan udtrykkes i relation til forholdet mellem rækkeafstand og solfangerhøjde målt i solfangerens plan (A/L).

Beregningsmodellen er baseret på en integration af det diffuse solindfald over solfangeren, det antages at den diffuse stråling fordeler sig jævnt over himlen. Den direkte stråling er reduceret ud fra udstrækningen af den skygge den foranstående solfanger kaster. Beregningerne gælder naturligvis ikke for de forreste og yderste solfangerelementer.

Diffust reflekteret stråling fra jorden mellem rækkerne og fra bagsiden af solfangeren foran er medregnet. Der er ikke taget hensyn til refleksion af det direkte solindfald mellem rækkerne og på bagsiden af solfangeren foran. Det er gjort af beregningsmæssige årsager, idet det skønnes at der her ved almindelige afstande mellem rækkerne og store hældninger, hvor refleksionen betyder noget, ikke vil være ret megen direkte stråling ved orienteringer omkring syd.

Figur 5.14 og 5.15 viser reduktionen i henholdsvis solindfald og ydelse (ved 40°C i lageret) som funktion af forholdet A/L . Reduktionen i ydelsen er større end reduktionen i solindfald, specielt for store hældninger. Reduktionen er set i forhold til et solindfald og en ydelse for en fritstående solfanger med samme hældning og en jordrefleksion på 0,2.



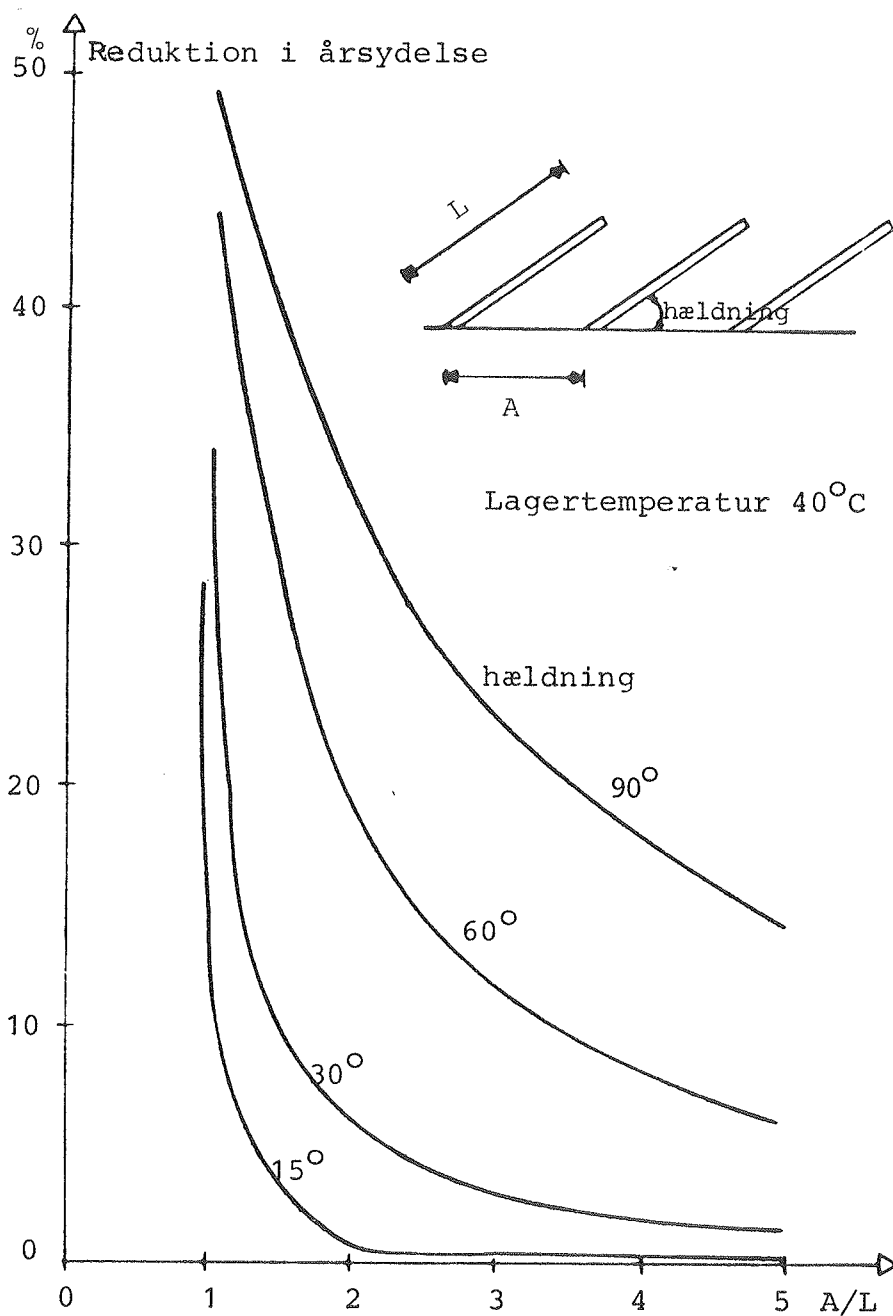
Figur 5.14.

Reduktion i solindfaldet på solfangere placeret i rækker efter hinanden, som funktion af forholdet mellem rækkeafstand og solfangerhøjde.

Refleksionsfaktoren for bagsiden af solfangeren foran i rækken og for jorden mellem rækkerne er sat til 0,2.

Reduktionen er set i forhold til solindfaldet ved samme hældning og ved en jordrefleksion på 0,2.

For store hældninger ændres forholdet mellem diffus og direkte stråling meget, idet den direkte stråling skygges, mens der kommer mere diffus stråling fra solfangeren foran.



Figur 5.15.

Reduktionen i ydelsen svarende til figur 5.14.

Reduktionen er set i forhold til ydelsen af en fritstående solfanger (jordrefleksion 0,2), med samme hældning.

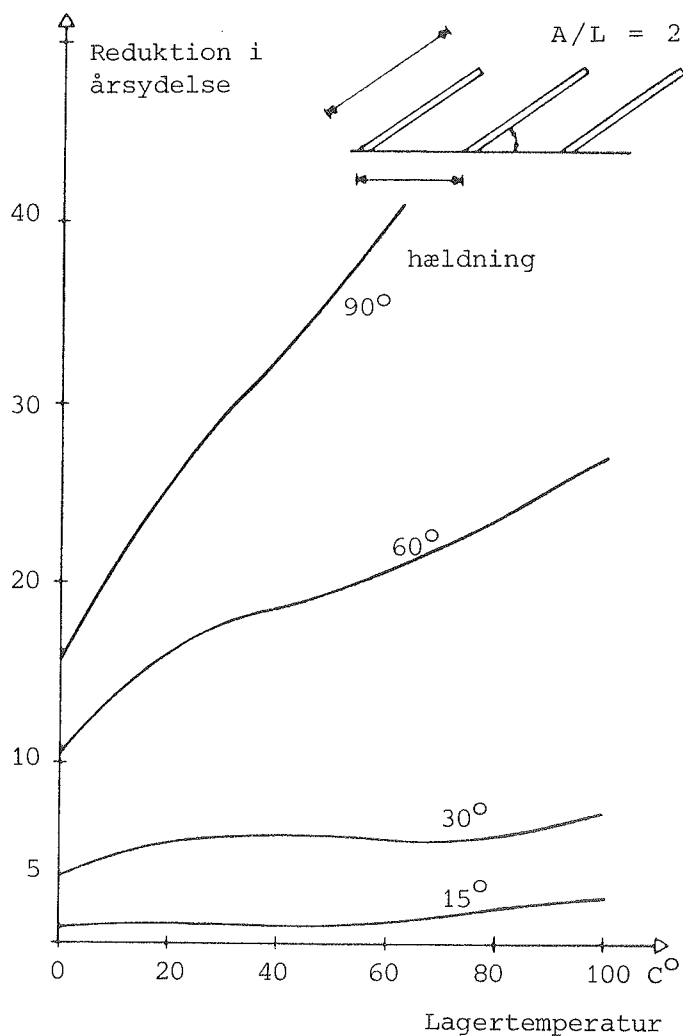
Lagertemperatur 40°C.

Solfanger $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

Det er først og fremmest afskærmningen af det direkte solindfald der giver en reduktion. Ved store hældninger forøges mængden af diffus stråling, idet solfangeren foran re-

flekterer strålingen. Det samlede solindfald reduceres derfor ikke så meget, men ydelsen reduceres da den diffuse stråling alene ofte ikke er tilstrækkelig intens til at varme solfangeren op.

Figur 5.16 viser reduktionens afhængighed af lagertemperaturen. Det fremgår, at for de små hældninger, der er relevante i denne sammenhæng, er reduktionen næsten uafhængig af lagertemperaturen ($A/L=2$).

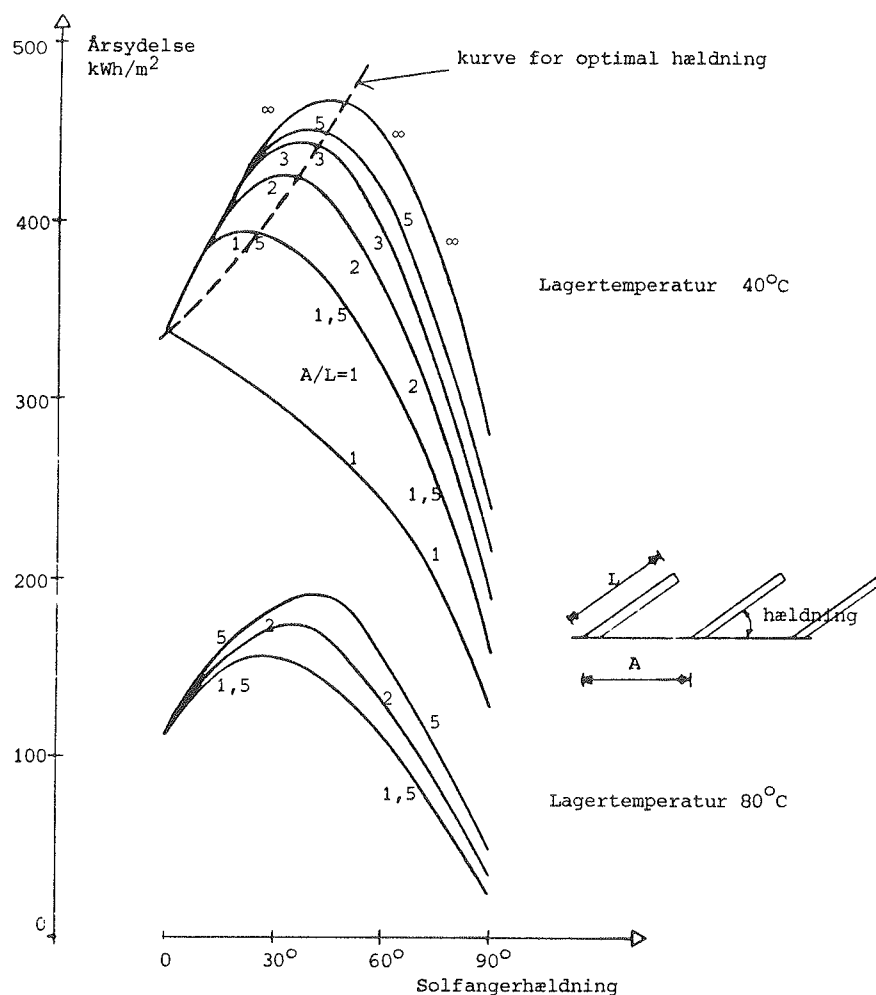


Figur 5.16.

Reduktion i ydelsen for solfangere i række. Som figur 5.15, med reduktionen set i relation til lagertemperaturen.

Rækkeafstand over solfangerhøjde = 2,0.

Figur 5.17 viser årsydelsen som funktion af hældningen for forskellige A/L forhold. Endvidere kan den optimale hældning for forskellige A/L forhold aflæses. For $A/L=2$, der ofte antages for en rimelig værdi, er den optimale hældning 30° med vandret. For større værdier af A/L vokser den optimale hældning, og for A/L lig uendelig, sarendes til en fritstående solfanger, genfindes den optimale hældning på 45° .



Figur 5.17.

Årsydelsen for solfangere placeret i rækker som funktion af solfangerhældningen og for forskellige forhold mellem rækkeafstand og solfangerhøjde.

Lagertemperatur 40 og 80°C .

Solfanger $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

Jordrefleksion som figur 5.15.

I en konkret situation vil den optimale rækkeafstand afhænge af pladsforholdene, og forholdet mellem solfangerpris og jordpris.

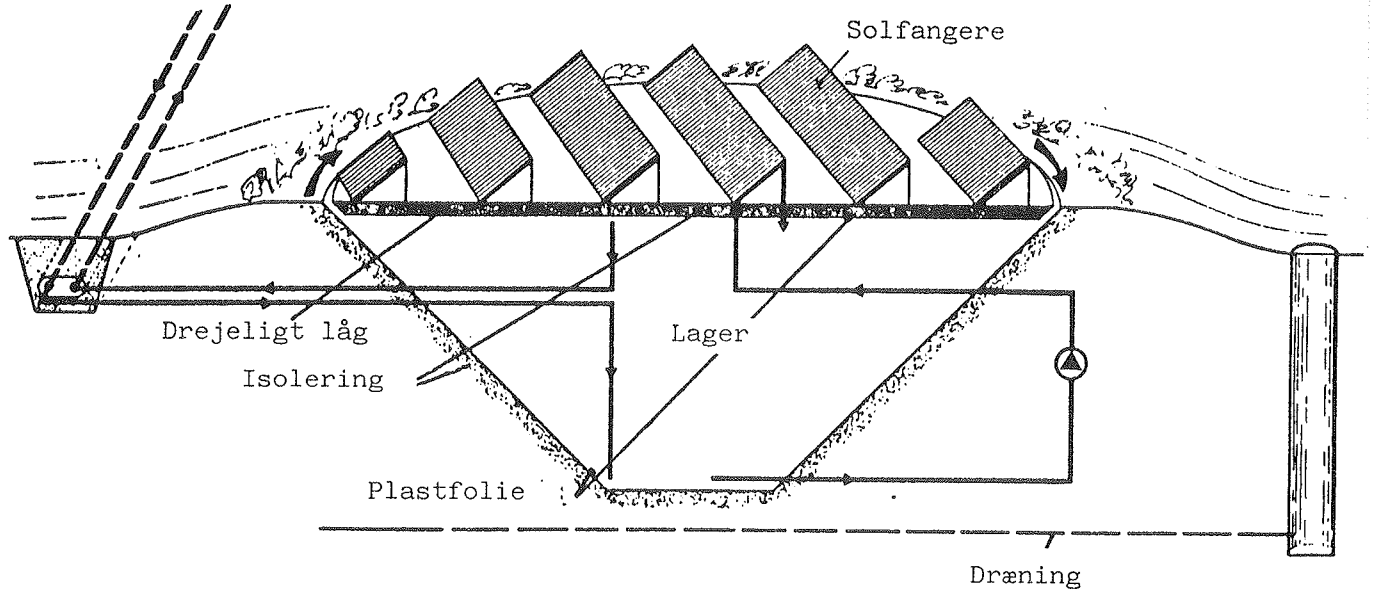
Man kan forøge ydelsen ved store hældninger ved at forbedre refleksionen bag på solfangeren, fx anvendes ofte en aluminiumsplade der vil have en høj refleksion. Imidlertid viser det sig at være næsten uden betydning så længe orienteringen er omkring syd, og solfangeren kun modtager diffus stråling fra himlen. Jordrefleksionen mellem rækkerne har større betydning, men sådan som beregningerne her er lavet, uden hensyn til direkte solindstråling mellem rækkerne, er betydningen af jordrefleksionen også lille. Ved 90° hældning og en rækkeafstand lig to gange solfangerhøjde kan ydelsen forøges henholdsvis med 6 og 14% ved en lagertemperatur på 40°C .

Ydelse med solfangere der drejer efter solen

Det er klart at en solfangers ydelse kan forøges ved at solfangeren drejer efter solen, eller efter det maksimale solindfald. Denne drejning kan ske i det vandrette plan ved at orienteringen ændres, og i det lodrette ved at hældningen ændres.

I det vandrette plan skal orienteringen ændres gennem dagen efter solens vandring, styret efter et ur eller efter solen. Det kan lyde som en dyr foranstaltning, men en realistisk mulighed er et drejeligt låg på et vandlager som vist på figur 5.18. Erfaringerne med dette system har været gode, hvad angår det med låget.

I det lodrette plan, hældningen, er der den mulighed at hældningen ændres konstant dagen igennem. Det kan ikke styres efter solens placering, da den diffuse stråling giver et stort bidrag. Det er som regel sådan at hældningen skal være mindre end svarende til solen, så at solfangeren ser en



Figur 5.18. Solfangerne drejer i det vandrette plan efter solen. Solfangerne er placeret på et isolerende låg der flyder på et vandlager. Studsvik demonstrationsprojekt i Sverige.

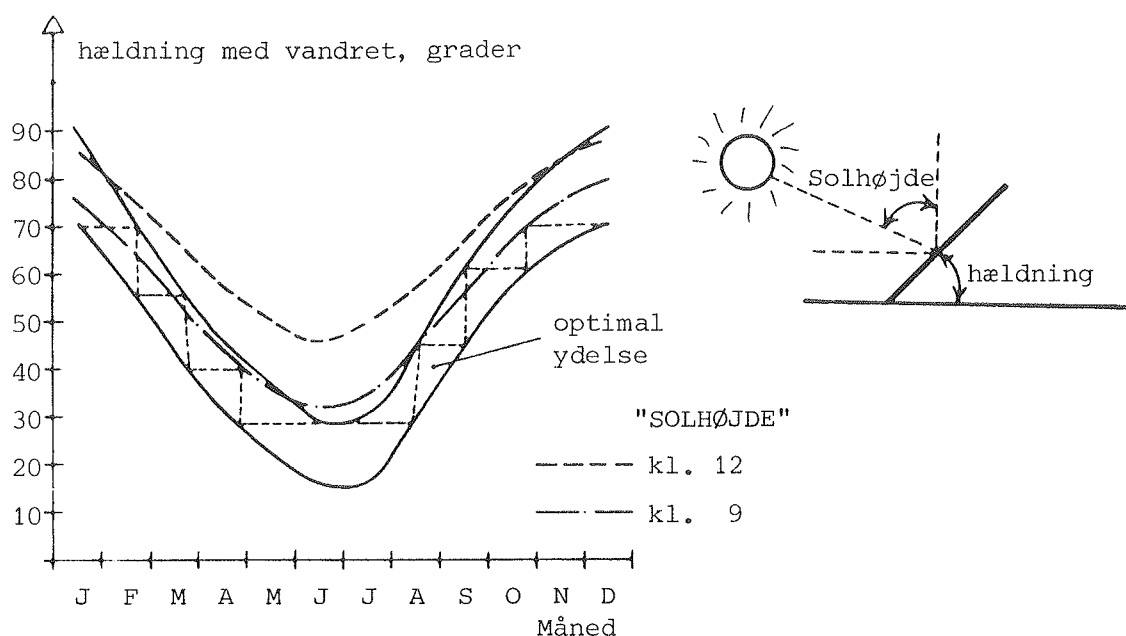
større del af himlen, det gælder specielt ved lave solhøjder. Hvis dette skal realiseres, er det nok nødvendigt med en række solmålere med forskellig hældning som grundlag for valg af den til enhver tid optimale hældning.

Hældningen kan også ændres efter årstiden, således at hældningen ændres et antal gange året igennem efter den hældning der er optimal for årstiden. Det kan ske manuelt med en passende stativkonstruktion.

For mindre solvarmeanlæg er sådanne foranstaltninger urealistiske pga. omkostningerne. Det vil være billigere at forøge arealet. Er der tale om solfangerne placeret på en skrå tagflade, må det nok anbefales at lade solfangerhældningen følge taget af rent æstetiske grunde. Solfangerarealet må så bestemmes ud fra hældningen.

Figur 5.19 viser den optimale hældning over året for en sydvendt solfanger. Det fremgår at den optimale hældning

svarer omtrent til at solen skinner vinkelret på solfangeren kl. 12 (indfaldsvinkel 0°). Ved at ændre hældningen 6 gange om året mellem 30° og 70° , fås den optimale ydelse inden for en procent.



Figur 5.19.

Figuren viser den hældning med vandret som giver den højeste ydelse i årets måneder. Inden for det viste område varierer ydelsen kun lidt, og hvis hældningen ændres efter den viste stiplede linje, er hældningen altid optimal. Endvidere er solens placering kl. 12 og kl. 9 eller 15 vist.

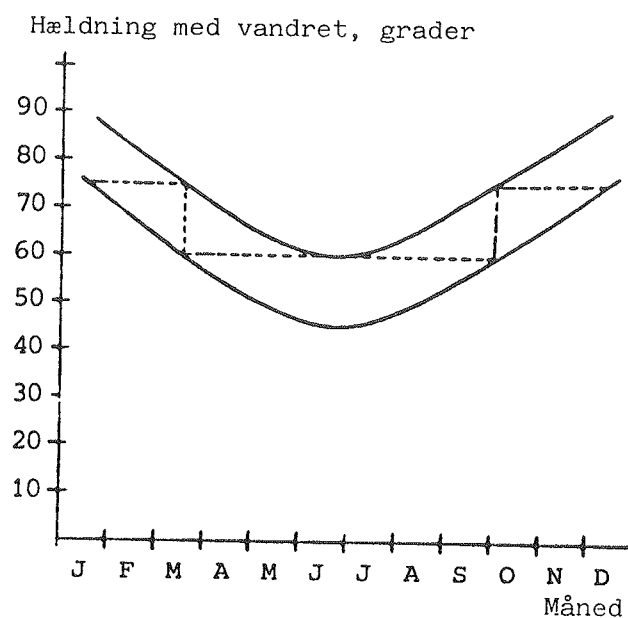
Lagertemperatur 40°C . Sydvendt.

Solfanger $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

I forhold til en fast, sydvendt solfanger med en hældning på 45° kan ydelsen ved dette system forøges med 6% (lagertemperatur 40°C), så det er meget tvivlsomt om systemet er relevant.

Figur 5.20 viser tilsvarende den optimale hældning, når orienteringen samtidig ændres gennem dagen efter solens place-

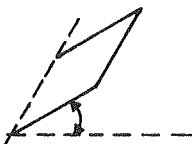
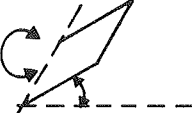
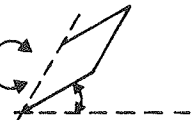
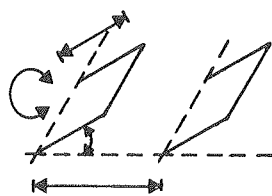
ring. En fast hældning på 60° giver kun en reduktion på 1,4% i forhold til det optimale, det er derfor uden mening at ændre hældningen efter årstiden. De 1,4% gælder for en lagertemperatur på 40°C .



Figur 5.20. Viser tilsvarende som figur 5.19 den optimale hældning. Men her drejer solfangeren vandret efter solen i dagens løb, fx som på figur 5.18.

Lagertemperatur 40°C .

Figur 5.21 viser ydelsen pr. m^2 solfanger for forskellige kombinationer af drejninger. Dels for fritstående solfanger, og dels for solfanger placeret i rækker efter hinanden. For solfanger i rækker er vist ydelsen pr. m^2 af det jordareal solfangerne optager. Ydelserne gælder ved en lagertemperatur på 40°C for en solfanger med et dæklag og selektiv absorber.

	Hældning	Solind- fald kWh/m ² pr. år	Ydelse		$\frac{A_{\text{solf}}}{A_{\text{jord}}}$	Ydelse kWh pr. m ² jord $k_1 = 5$
			$k_1=5$ $n_0=0,85$ kWh/m ²	$k_1=1,2$ $n_0=0,76$ kWh/m ²		
A 	0	1020	335	499	1	335
B 	0	1020	373	553	1	373
C 	30	1180	453	638		
	45	1190	453	638		
	60	1148	442	624		
D 	Drejer vandret og lodret	1597	742	968		
E 	30	1491	600	894		
	45		679			
	60		705			
	75 fig. 5.20		672 715			
F 	fig. 5.19	1235	499	689		
G 	30	45-60	570	0,5		306
	45		611			
	60		607			
	90		458			
	45-60		617			
H	efter årstid fig. 5.19		430		0,5	215
J	30		298		1	298
			409		0,67	274
			426		0,5	213
			440		0,33	147
			446		0,2	89

Figur 5.21

(figurtekst næste side)

Figur 5.21.

Figuren viser de ydelser der kan opnås ved forskellige kombinationer af drejning af solfangere i vandret og lodret plan, og solfangere i rækker. Ydelserne er vist pr. m² solfanger, og for solfangere i række er ydelsen også vist pr. m² jord, altså i forhold til det areal solfangeren optager.

Lagertemperatur 40°C.

Solfanger: almindelig, selektiv og højeffektiv.

- A: Solfanger vandret.
- B: Solfanger vandret. Ingen reflektionstab ved dæklag, svarende til fx et stort solfangerareal med et kuppelformet dæklag.
- C: Solfanger almindeligt hældende.
- D: Solfanger drejer både vandret og lodret. Vandret følger solfangeren solen. Lodret drejer den så at solindfaldet er maksimalt. Det er kun sjældent vinkelret på solen da den diffuse stråling skal regnes med.
- E: Solfangeren drejer i det vandrette plan efter solen. Hældningen er fast, eller varieres efter årstiden ifølge figur 5.19.
- F: Solfangeren er fast orienteret mod syd. I det lodrette plan stilles hældningen efter årstiden ifølge figur 5.20.
- G: Som E, men solfangerne står i række. Hældning 45°. A/L=2. En hældning på 45° er i denne situation optimal.
- H: Som F, men solfangerne står i række. A/L=2.
- J: Solfanger fast i række. Hældning 30°. A/L = 1-5.

Langt den største effekt fås ved at dreje solfangeren i det vandrette plan efter solens placering. Den optimale hældning er da omkring 60° med vandret. Ydelsen hermed er 50% større end ydelsen med en sydvendt solfanger og en hældning på 45°.

For solfangere i rækker gælder det ved en fast orientering mod syd, at den optimale hældning er 30° (rækkeafstand/solfangerhøjde = 2,0). Drejes solfangerne efter solen i det vandrette plan, er den optimale hældning 45-60°, og ydelsen forøges med 43% i forhold til fast orientering mod syd og 30° hældning.

Set i forhold til det jordareal som en solfangerpark opfylder, fås den højeste ydelse med en vandret solfanger, en såkaldt marksolfanger. Der ses her bort fra at der skal

være plads til pasning og vedligeholdelse. Hvis det kan lade sig gøre at opbygge en sådan solfanger så refleksions-tabet i dæklaget elimineres, svarende til at indfaldsvinklen for den direkte stråling altid er mindre end ca. 60° , kan der opnås en forøgelse af ydelsen på 11%. Dette vil næsten være tilfældet, hvis dæklaget er en halvkugle der dækker hele arealet, holdt oppe af et overtryk, som det har været foreslået.

Ydelsen med en vandret solfanger og almindeligt plant dæklag er kun 21% mindre end ydelsen for solfangere i række (syd, $A/L=2$, 30° hældning, 40°C), set i relation til absorberarealet. Da man med den vandrette solfanger sparer udgiften til stativer, og ydermere får en bedre udnyttelse af arealet (60% højere ydelse pr. m^2 jord, 40°C i lageret), er det muligt at dette vil være at foretrække frem for solfangere på stativer.

Det skal tages i betragtning at den vandrette solfanger giver en relativ lav ydelse om vinteren, og at der her ikke er regnet med at den i perioder vil være dækket af sne, hvis ikke sneen fejes væk.

Til fordel for marksolfangeren taler at den vil skæmme landskabet mindre end disse stativer på række. På den anden side kan arealet mellem rækkerne udnyttes til andre formål (champignoner). Især hvis stativet hæves op så solfangerne sidder 2 m over jorden som det er foreslået. Ref. 3.2.

Reduktion i ydelsen som følge af varmekapaciteten i solfangeren

Solfangerens varmekapacitet vil bevirke en forsinkelse i opstart af pumpen, idet solfangeren først skal varmes op inden der kan indvindes varmeenergi. Det betyder at driftstiden af pumpen vil aftage med stigende varmekapacitet. Solindfaldet i de tidlige morgentimer vil bidrage til op-

varmningen af solfangeren, og det gælder at for normale varmekapaciteter er reduktionen i ydelsen ikke nævneværdig. En varmekapacitet på $15 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 solfanger er almindelig.

Det fremgår af figur 5.22, at reduktionen i ydelser, i forhold til ingen varmekapacitet, udgør under 5%, mest for høje temperaturer i lageret. Driftstiden vil tilsvarende aftage med 7%. For større varmekapaciteter kan reduktionen som det fremgår blive betragtelig, især ved høje temperaturer.

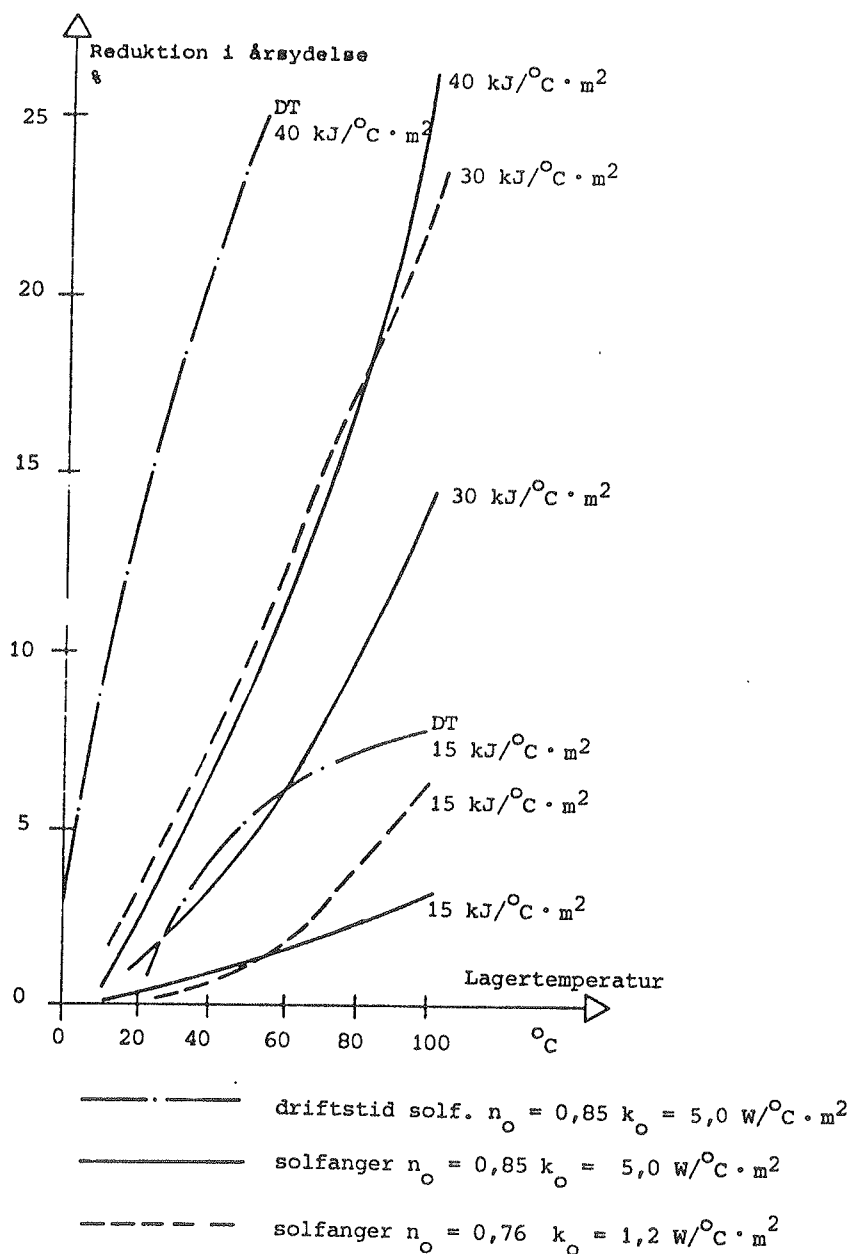
For en højeffektiv solfanger er reduktionen i ydelse noget større end for en almindelig selektiv solfanger.

Reduktion i ydelse som følge af rørsystemet mellem solfanger og lagerbeholder

For at gøre tingene lettere at forstå og beregne kan tabet i rørsystemet deles i to bidrag.

Det første er varmetabet fra rørsystemet under drift ved transmission til omgivelserne. Det kaldes transmissionstab (TT). Dette tab afhænger af varmetabskoefficienten for rørsystemet, inkl. tab fra uisolerede ventiler mv., og af temperaturforskellen mellem væsken i rørene og rørsystemets omgivelser samt af driftstiden af pumpen. Det betyder at tabet, foruden af lagertemperaturen, vil afhænge af den gennemstrømmende vandmængde, idet denne bestemmer temperaturstigningen over solfangeren. Endvidere vil det afhænge af solfangerens varmekapacitet og af start- og stopdifferensen, idet disse har betydning for driftstiden.

Det andet tab er tabet som følge af varmekapaciteten i rørsystemet. Når pumpen starter, vil rørsystemet oftest være koldt, og der skal bruges varmeenergi fra lageret og solfangeren til at opvarme rørsystemet, inden der kan fås et positivt udbytte af systemet. Når pumpen stopper, er rørsyste-



Figur 5.22.

Reduktion i årlig ydelse som følge af varmekapacitet i solfangeren som funktion af lagertemperaturen. Reduktionen er vist for to forskellige solfangere. Desuden er vist reduktionen i driftstid for den selektive solfanger.

Varmekapaciteten er den effektive varmekapacitet, der indeholder et bidrag fra glas og isolering, foruden absorberen. Væskeindholdet i absorberen skal inkluderes i varmekapaciteten, med mindre der er tale om et tømme-system.

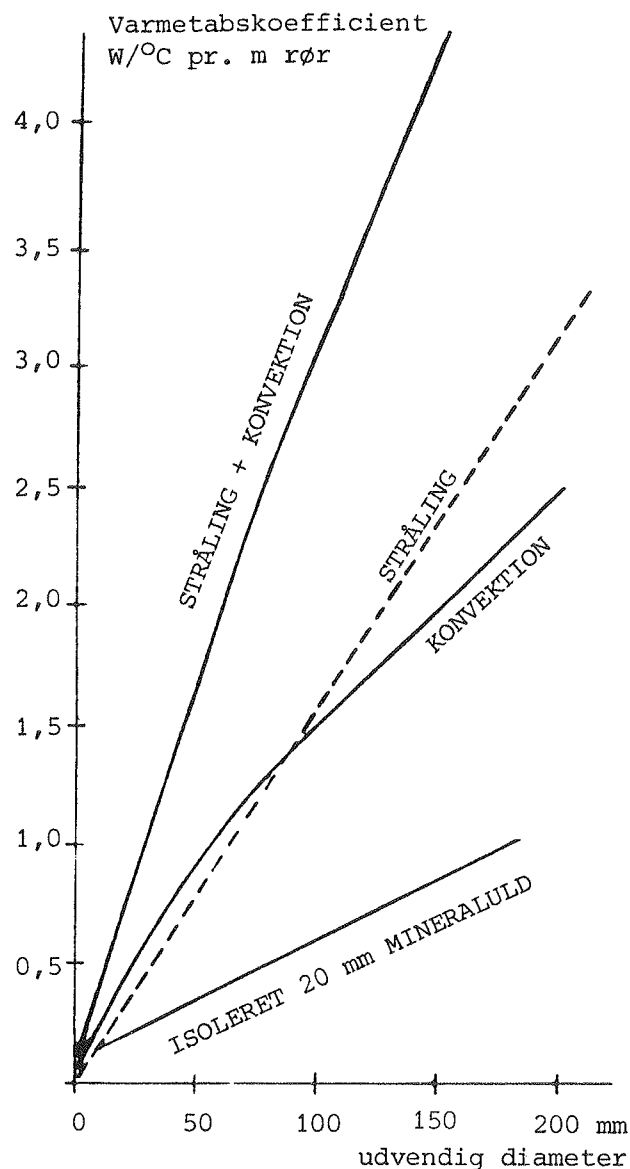
Reduktionen er set i forhold til en solfanger uden varmekapacitet. For driftstiden er der vist reduktionen i antal driftstimer pr. år, i forhold til ingen varmekapacitet. (Baseret på ref. 5.6).

met varmt, og den varmeenergi vil i reglen gå tabt. Varmekapaciteten ligger hovedsagelig i væsken i rørene, men rørene og principielt en del af isoleringen giver et bidrag. Dette tab, kapacitetstabet (KT), afhænger hovedsagelig af varmekapaciteten i rørsystemet, og af antallet af driftsperioder, hvorimellem rørsystemet når at blive koldt, snarere end af driftstiden. Desuden afhænger det af omgivelsestemperaturen, og på tilsvarende måde som TT, af den gennemstrømmende væskemængde.

Kapacitetstabet vil afhænge noget af rørsystemets varmetabskoefficient, idet denne vil bestemme hvor meget rørsystemet køles imellem driftsperioderne. Imidlertid er det oftest sådan at der kun er en driftsperiode pr. dag, eller meget kort tid imellem driftsperioderne, så rørsystemet ikke når at køles.

Om morgenen, når rørsystemet har stået uden cirkulation natten over, vil rørsystemet være helt afkølet. Beregningerne viser da også, at for alle realistiske værdier af varmetabskoefficienter, er de to varmetab uafhængige af hinanden. Det betyder at de to varmetab kan beregnes hver for sig. Figur 5.23-5.26 viser varmetabskoefficienter for rør og armaturer og varmekapaciteter for rør, til brug ved beregning af tabene.

Transmissionstabet kan egentlig kun nedsættes væsentligt ved at øge isoleringstykkelsen, men det er begrænset hvad der opnås ved det, fordi overfladen samtidig øges, figur 5.23 og 5.24. Det vil ofte, og især for mindre systemer, være sådan at der er store varmetab fra uisolerede bøjninger, ventiler mv., og det vil være mere fordelagtigt at isolere sådanne end at øge isoleringstykkelsen generelt, figur 5.25. Rørdimensionen har stor betydning for varmetabet, figur 5.24, en minimering af rørdimensionen er derfor vigtig, også af hensyn til varmetabet.



Figur 5.23.

Varmetabskoefficient for uisolerede rør som funktion af den udvendige diameter ved naturlig konvektion og ved stråling.

Naturlig konvektion: Koefficienten afhænger af temperatur-differensen (her 40°C), det er dog uden betydning i denne sammenhæng. Kurven gælder for vandrette rør, for lodrette rør af stor udstrækning er varmetabet i reglen mindre.

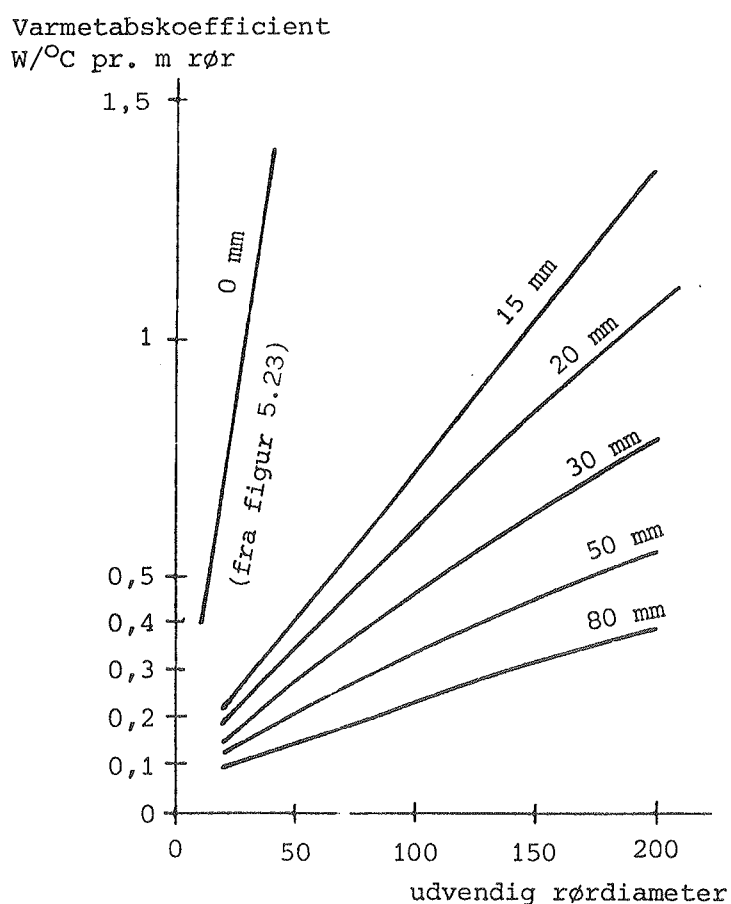
Stråling: Kurven gælder for et mørkt rør, svarende til et rustent jernrør. For et galvaniseret rør og for et Cu-rør vil strålingstabet være mindre, omkring halvdelen eller mindre.

Til sammenligning er vist varmetabet for et rør isoleret med 20 mm mineraluld. Det fremgår at meget små, blanke rør har et varmetab tæt ved små isolerede rør.

Kilde ref. 4.8.

Ved styring efter A og B, figur 5.2, kan transmissionstabet blive større end ydelsen, altså udbyttet negativt, hvis stopdifferensen er mindre end afkølingen i røret fra solfanger til lager. Dette kan ikke ske med styring efter system C.

Kapacitetstabet kan tilsvarende nedsættes ved at mindske varmekapaciteten, først og fremmest ved at vælge så små rør som muligt, men også ved at vælge et hensigtsmæssigt rør-system med så korte rør som muligt. I den sammenhæng er det hensigtsmæssigt at fordelerrør er indbygget i solfangeren, da varmekapaciteten her har mindre betydning.

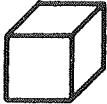
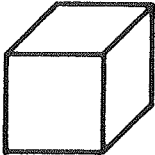
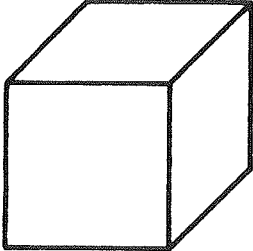
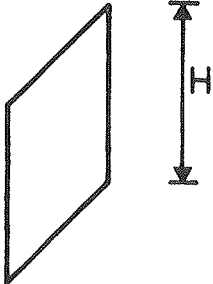
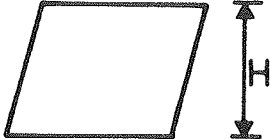


Figur 5.24.

Varmetabskoefficient for rør isoleret med mineraluld som funktion af den udvendige rørdiameter.

Til sammenligning er vist varmetabet fra et rør uden isolering, fra figur 5.23.

Kilde: Superfos Glasuld.

		Temperatur- different		Varmetabskoefficient W/°C pr. m ² overflade
		10°C	100°C	
ca. 1x1 cm		10	15	
ca. 5x5 cm		6	9	
ca. 10x10 cm		4	7	
ca. 30x30 cm		3	6	
<u>Lodret</u> H > 0,3 m		3	7	
<u>Vandret</u> H > 0,3 m gælder kun på oversiden. På undersiden er tabet mindre.		3	7	

Figur 5.25
(figurtekst næste side)

Figur 5.25.

Varmetab ved naturlig konvektion til omgivelsernes luft fra forskellige overflader.

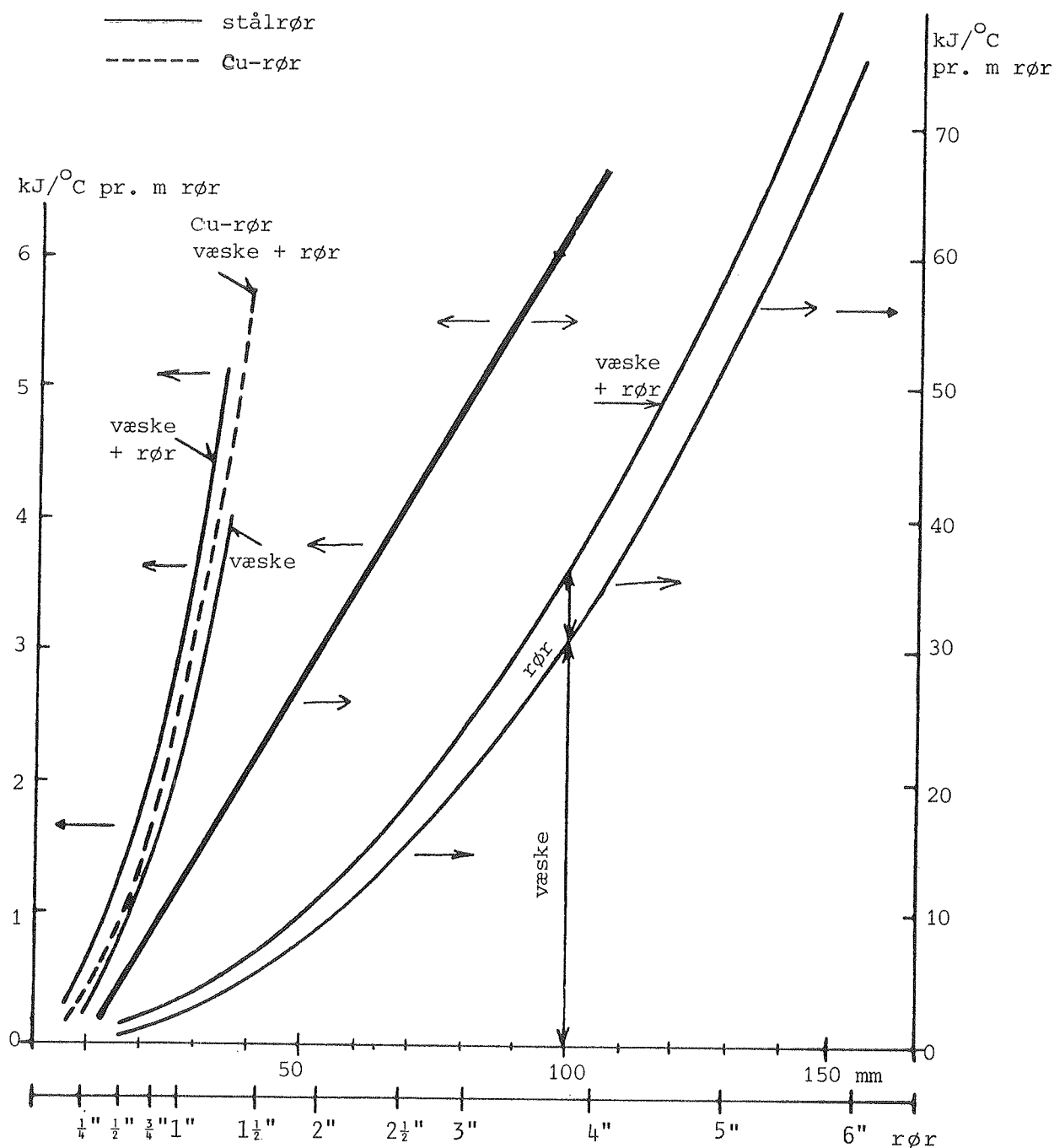
Figuren viser varmetabskoefficienten ($W/^{\circ}C$ pr. m^2 overflade) for legemer af forskellig udstrækning. Koefficienten er vist for to forskellige temperaturdifferenser. Varmetabet findes ved at gange koefficienten med temperaturdifferensen mellem overfladen og omgivelsestemperaturen og med overfladearealet.

Tiltænkt til overslagsmæssig beregning af varmetab fra uisolerede dele af et rørsystem, ventiler mv. Overfladetemperaturen vil oftest være tæt ved væsketemperaturen.

Det areal hvorfra varmetabet sker er det samlede areal med alle afkroge.

Varmetabskoefficienterne gælder for terninger af den viste udstrækning. Uregulære ting, fx ventiler, må betragtes som opbygget af mindre dele, hvilket vil give en større koefficient.

Hertil skal lægges varmetabet ved stråling. På basis af figur 5.23 fås et varmetab ved stråling på ca. $4,5 W/^{\circ}C \cdot m^2$ gældende for $t = 40^{\circ}C$ og for en mørk overflade. Baseret på ref. 4.8.



Figur 5.26.

Varmekapaciteten af galvaniserede stålrør (middelsvære DS540) og af koberrør (DS2110).

Kapaciteten er angivet for væskeindhold og rør.

Varmekapacitet af væske $4,0 \text{ kJ}/(\text{kg } ^{\circ}\text{C})$. Massefylde af væske $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Varmekapacitet af stål $0,46 \text{ kJ}/(\text{kg } ^{\circ}\text{C})$, kobber $0,39 \text{ kJ}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$.

Den vandrette akse angiver den indvendige diameter og kan derfor anvendes til andre rørtyper. Endvidere er angivet rørbetegnelse i tommer.

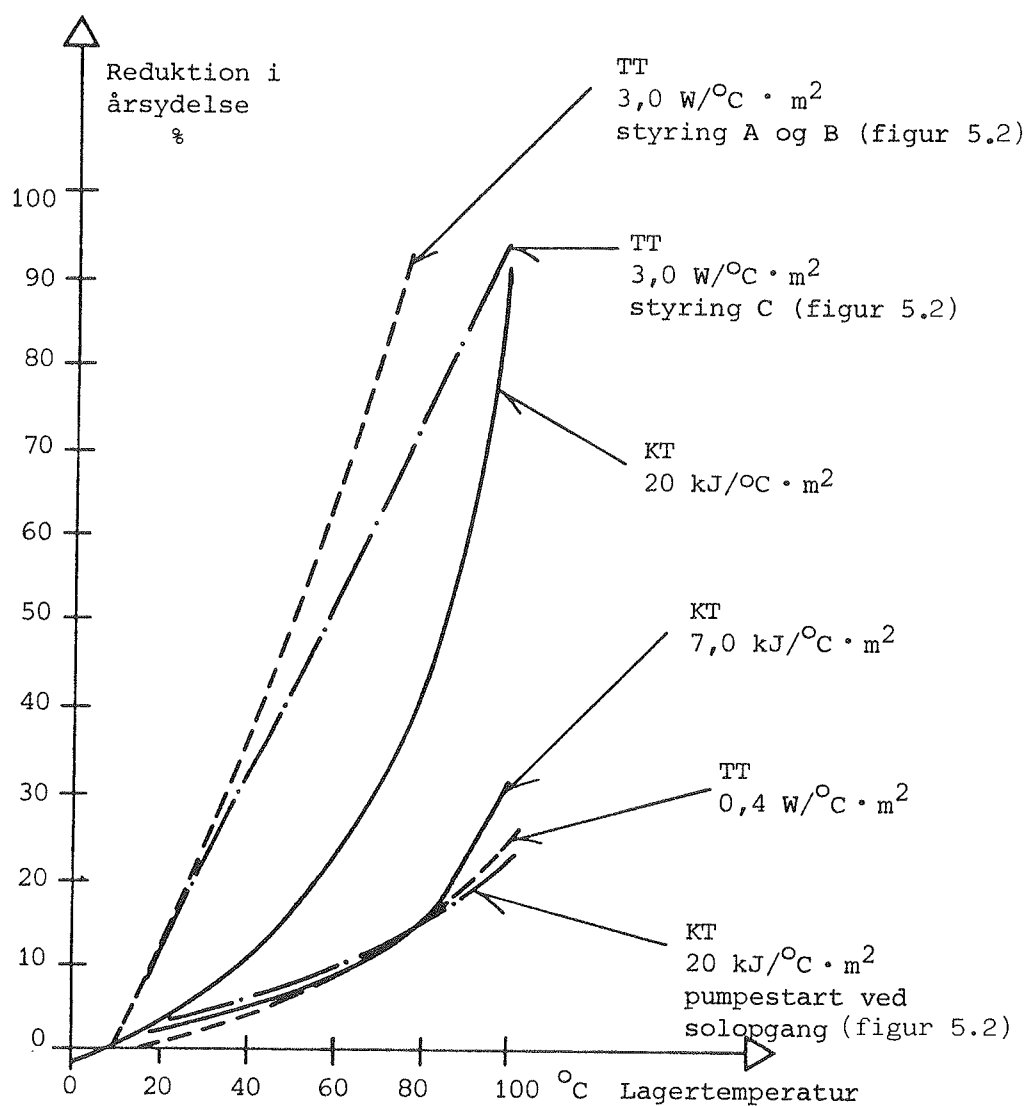
Pilene fører til den akse der skal aflæses på.

I et tømmesystem, hvor væsken i rørene løber tilbage i lageret når pumpen stopper, vil varmekapaciteten være lav da væsken så ikke skal regnes med, og kapacitetstabet vil tilsvarende være lavt.

En anden måde at nedsætte kapacitetstabet på er at benytte systemet som forklaret i kapitel 2 eller figur 5.2. Her starter pumpen allerede når solintensiteten er høj nok til at opvarme rørsystemet, væsken pumpes altså rundt gennem solfangerne og rørsystemet, men ikke gennem lageret. Først når væsketemperaturen overstiger lagertemperaturen, cirkuleres væsken igennem varmeveksleren i lageret, eller hvis der er separat varmeveksler startes sekundærkredsen, figur 5.2 B. Derved udnyttes det tidlige solindfald til at opvarme rørsystemet, og varmekapaciteten i rørsystemet får principielt samme betydning som varmekapaciteten i solfangeren. Styringen af dette system kan foregå efter en lysføler der starter pumpen, evt. på et lavere trin, når solintensiteten kommer over fx 50 W/m^2 . Omstyring til cirkulation gennem varmeveksleren må ske med en differenstermostat. Se i øvrigt figur 2.2.

Figur 5.27 viser kapacitetstabet og transmissionstabet for forskellige rørsystemer. Varmekapacitet 7 og $20 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ pr. m^2 solfanger, og varmetabskoefficienter på 0,4 og $3 \text{ W/}^\circ\text{C}$ pr. m^2 solfanger.

De små værdier svarer godt til et gennemsnitligt mindre solvarmesystem, idet dog værdierne kan blive meget mindre hvis solfangerne ligger lige oven over lageret. Det fremgår at reduktionen i ydelse er ret temperaturafhængig og andrager over 20% ved 100°C i lageret, mens der intet tab er ved lave temperaturer.



Figur 5.27.

Reduktion i årsydelse som følge af rørsystemet mellem solfanger og lager/varmeveksler som funktion af lagertemperaturen.

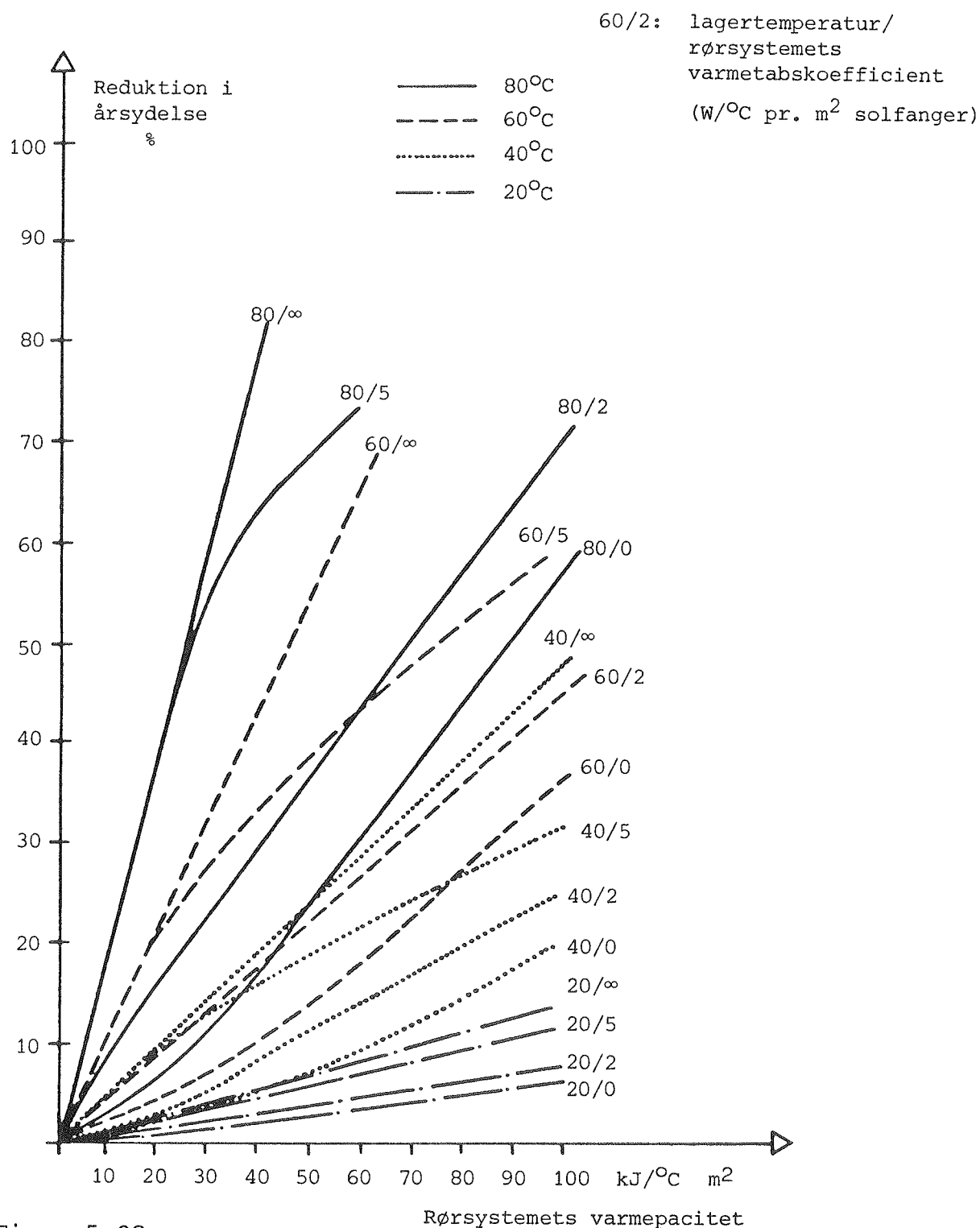
Varmekapaciteten er kapaciteten af rør og væske i rør, samt principielt en del af isoleringen, ventiler, ekspansionsbeholder mv. Varmetabet udtrykkes ved varmetabskoefficienten for rørsystemet, inkl. tab fra uisolerede dele. Omgivelsestemperaturen er udelufttemperaturen.

Solfanger: $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

TT - reduktion som følge af transmissionstab.

KT - reduktion som følge af kapacitetstab.

Baseret på ref. 5.6.



Figur 5.28.

Reduktion i årsydelse som funktion af rørsystemets varmekapacitet. Beregningerne gælder for det system hvor pumpen i solfangerkredsen startes ved solopgang, mens væsken by-passes lageret med den hensigt at opvarme rørsystemet.

Varmetabskoefficient uendelig svarer til at systemet med tidlig start ikke benyttes.

Solfanger: $n_0 = 0,85$, $k_0 = 5,0 \text{ W/(}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2\text{)}$.

For de store værdier bliver tabene betragtelige, og for høje temperaturer katastrofale. En varmekapacitet på $7 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 solfanger svarer til, at der pr. m^2 solfanger er ca. 5m $\varnothing 22 \text{ mm}$ Cu-rør, mens de $20 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 solfanger svarer til ca. 8m $\varnothing 28 \text{ mm}$ Cu-rør, figur 5.26. Isoleres disse rør med 20 mm mineraluld, fås tilsvarende en varmetabskoefficient på 1,2 og 2,2 $\text{W/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 solfanger. Dertil skal lægges tab fra uisolerede dele af rørsystemet, ventiler mv.

Det fremgår at varmetabene kan blive store, specielt ved høje temperaturer. Som regel er det dog muligt at udforme rørsystemet fornuftigt og begrænse tabene. Kun hvis afstandene er meget store, kan det være svært. En mulighed er da at anvende systemet med tidlig opstart af pumpen som omtalt, figur 5.2. Det fremgår af figur 5.27 at kapacitetstabet derved kan reduceres betragteligt, således at en varmekapacitet på $20 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 solfanger giver et tab svarende til en kapacitet på $7 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ uden by-pass og tidlig start af pumpen.

Figur 5.27 viser endvidere at transmissionstabet kan begrænses noget ved styring efter C, figur 5.2, hvor der er anbragt to følere umiddelbart ved lageret til at stoppe pumpen. Effekten er dog ikke så stor, men systemet må alligevel anbefales til større anlæg da det giver en sikrere styring, især hvis der er tale om sektionsopdelte anlæg.

Figur 5.28 viser mere generelt betydningen af systemet med at starte pumpen tidligt og by-passe flowet til temperaturen er høj nok. Reduktionen i ydelse er vist som funktion af rørsystemets varmekapacitet, for forskellige lagertemperaturer og for forskellige varmetabskoefficienter for rørsystemet. Varmetabskoefficienten har her en særlig betydning, idet der vil være et varmetab fra rørsystemet i opvarmningsperioden, hvilket der ikke er taget højde for i figur 5.27. Figuren viser reduktionen som følge af varmekapaciteten. Reduktionen som følge af varmetabet under drift er ikke indregnet. Det fremgår at varmetabet fra rørsystemet ikke er

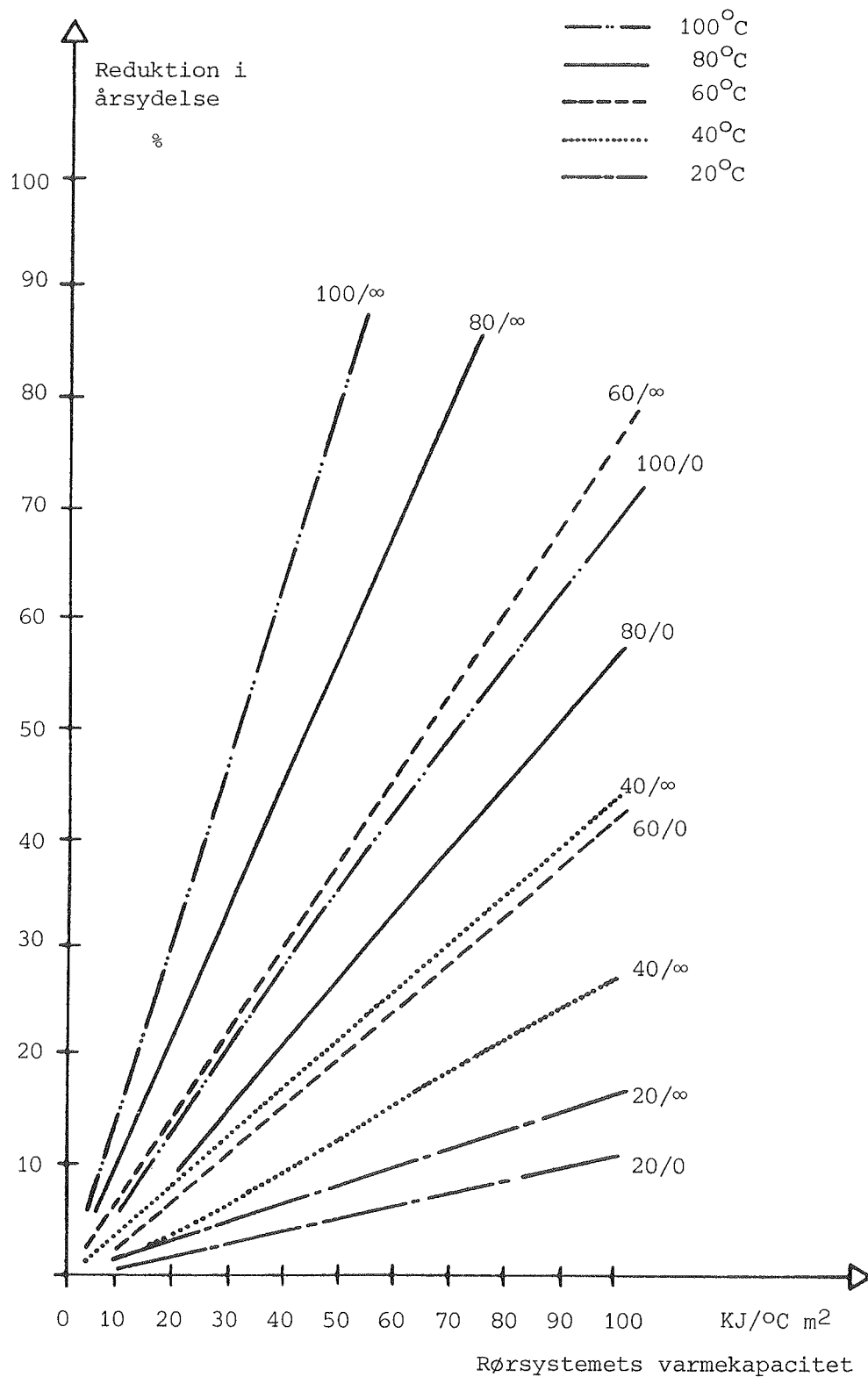
helt uden betydning for den reduktion kapaciteten giver. Som et specialtilfælde viser figuren også kapacitetstab når systemet med tidlig start af pumpen ikke anvendes, svarende til at varmetabskoefficienten i startperidoen er uendelig, der jo vil betyde at rørsystemet slet ikke opvarmes. Figuren gælder for varmekapaciteter op til $100 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$, hvilket nok er urealistisk meget.

Figur 5.29 viser tilsvarende kapacitetstab med en højeffektiv solfanger med transparent isolering. Varmetabene er her noget mindre, til gengæld vil man måske anvende en sådan solfanger ved højere temperaturer, hvilket har større betydning. Når reduktionen er mindre, skyldes det at ydelsen pr. m^2 solfanger er højere - rørsystemet er jo det samme. Tilsvarende vil transmissionstab udtrykt i forhold til solfangerarealet være noget mindre.

Ved temperaturer over 100°C (den højeffektive solfanger har en stagnationstemperatur på i nærheden af 500°C) vil rørta-bene med denne solfanger kunne blive ganske betragtelige, hvilket der må tages særligt hensyn til. Det er for så vidt klart at det er kritisk hvis solfangeren har et varmetab på $1,2 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 , og at der hertil hører et rørsystem med et varmetab på $2 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$ pr. m^2 solfanger.

Reduktion i ydelse som følge af rørsystemet for systemer med varierende lagertemperatur

For et almindeligt solvarmesystem hvor lagertemperaturen varierer meget over blot en enkelt dag, fx et brugsvandsanlæg eller et rumopvarmningsanlæg, vil betydningen af rørsystemet være en del mindre end forventet ud fra forrige afsnit. Det skyldes den effekt, som altid gælder for sådanne anlæg, at et varmetab vil bevirke at lagertemperaturen falder, hvorved solfangerens effektivitet forøges. Det betyder så at sige, at noget af det tabte hentes igen i en højere effektivitet. Det er klart at denne effekt ikke gør

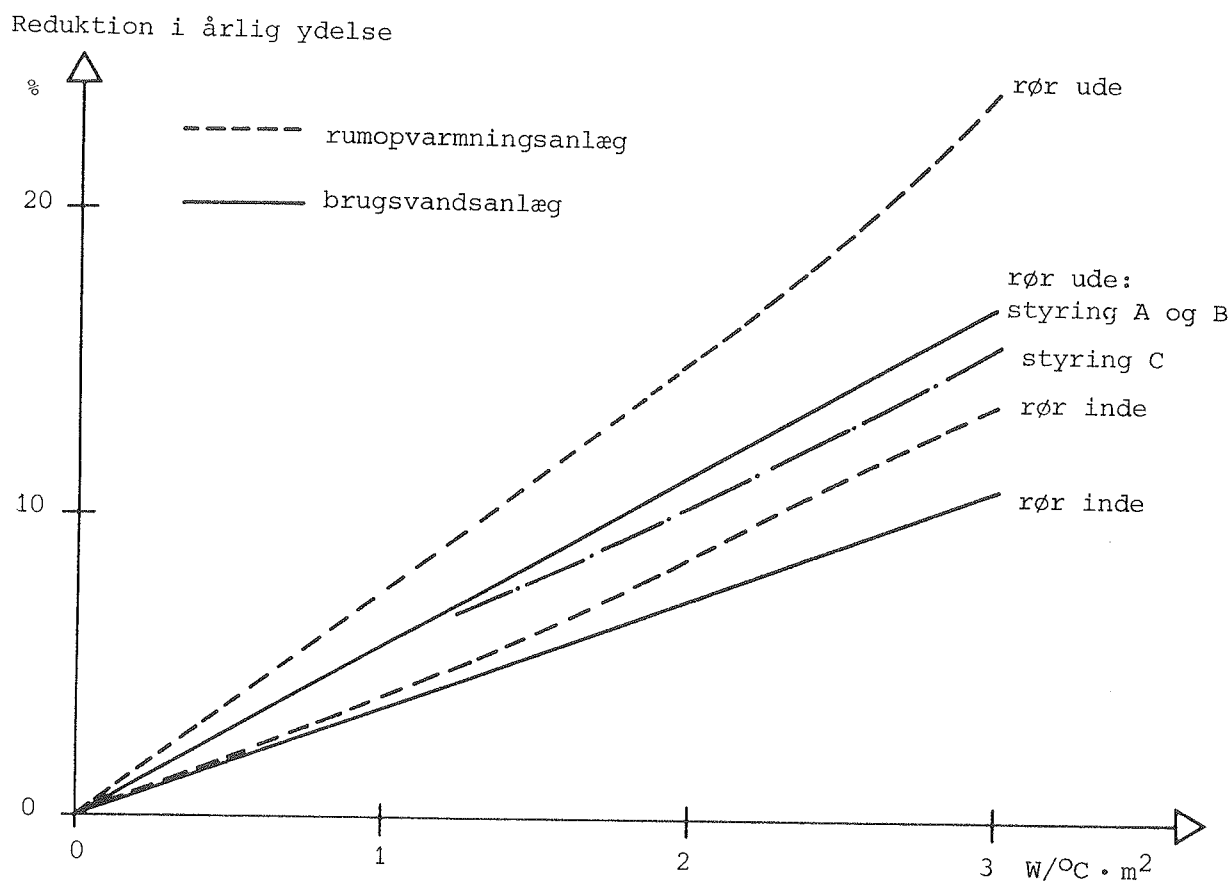


Figur 5.29. Som figur 5.28, gældende for en højeffektiv solfanger.

Solfanger: $n_0 = 0,76$, $k_0 = 1,2 \text{ W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$.

sig gældende i et system hvor solvarmen opvarmer returledningen i et fjernvarmesystem.

Figur 5.30 og 5.31 viser betydningen af rørsystemet og af solfangerens varmekapacitet for to solvarmesystemer:



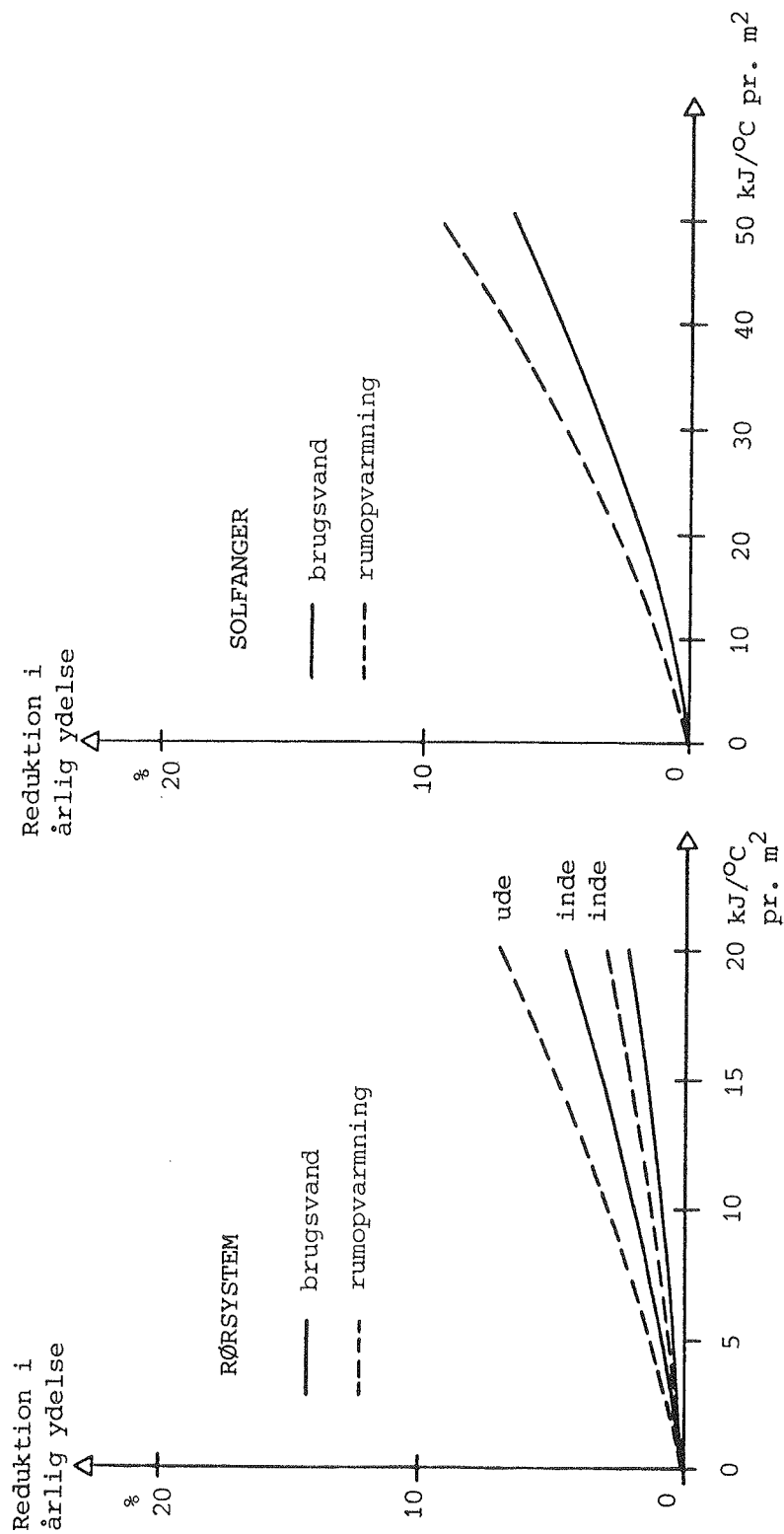
Figur 5.30.

Reduktion i årlig ydelse for solvarmesystemer med varierende lagertemperatur som følge af transmissionstab fra rørsystemet.

Der er vist reduktionen med rørsystemet placeret inde i huset ($20^\circ C$) og udenfor ved lufttemperaturen.

System - se tekst. Styring A, B og C if. figur 5.2.

Baseret på ref. 5.6.



Figur 5.31.

Reduktion i årlig ydelse for solvarmesystemer med varierende lagertemperatur som følge af varmekapaciteten i rørsystemet og i solfangeren. Vedr. rørsystemet er der vist reduktionen med rørsystemet placeret uendørs og indendørs ved 20°C. Oftest vil en del være inde og en del ude.

System - se teksten.

Et brugsvandsanlæg. 5,4 m² solfanger, 300 liter lagertank. Forbrug 3100 kWh pr. år. Ydelse 380 kWh/år pr. m² solfanger.

Et anlæg til brugsvand og rumopvarmning. 25 m² solfanger, 2000 liter lager. Forbrug 3100 kWh til brugsvand og 14000 kWh pr. år til rumopvarmning. Ydelse 240 kWh pr. år pr. m² solfanger.

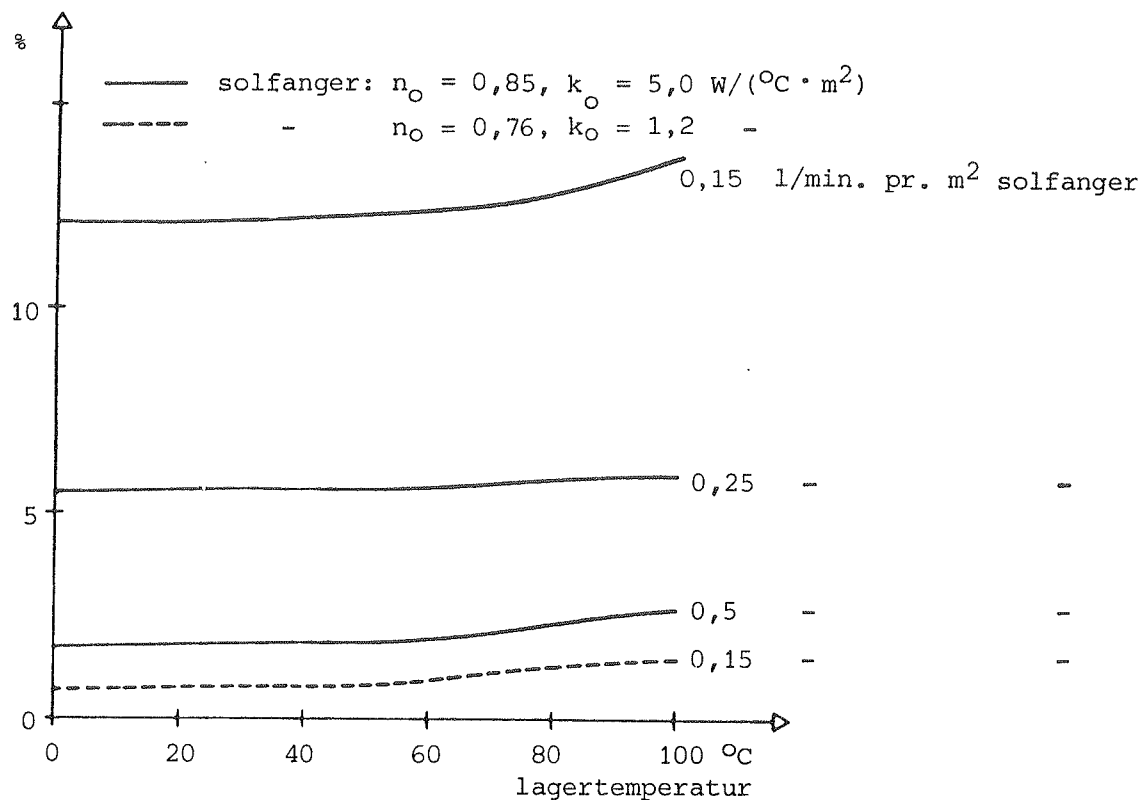
Det fremgår at reduktionen er mindre end når lagertemperaturen holdes konstant. Reduktionen er størst for rumopvarmningsanlægget. Dette skyldes at brugsvandsanlægget kan anvende varmen ned til en temperatur på 10°C, svarende til det kolde brugsvand, mens anlægget til rumopvarmning kræver en højere temperatur til rumopvarmning.

Betydningen af den gennemstrømmende væskemængde

Det fremgår af figur 5.32 at ydelsen med en almindelig selektiv solfanger først reduceres væsentligt når den gennemstrømmende væskemængde kommer under 0,25 liter pr. min. pr. m² solfanger. Med en højeffektiv solfanger med transparent isolering kan der ikke ses nogen væsentlig reduktion ved et flow på 0,15, som er nedre grænse for beregningsmodellen.

I et større solfangerareal vil der ikke strømme den samme væskemængde igennem alle elementer, ligesom der kan være forskelligt flow igennem de enkelte rør i en absorber. Det er derfor ikke hensigtsmæssigt at anvende det laveste flow. Det synes rimeligt at dimensionere efter et flow på 0,5 liter pr. min. pr. m² solfanger i almindelige systemer hvor energimængden er det væsentlige. For systemer hvor en vis høj opvarmning er ønskelig kan strømningsmængden nedsættes så den høje temperatur opnås. Systemet skal da opbygges så kogning undgås.

Reduktion i årsydelse



Figur 5.32.

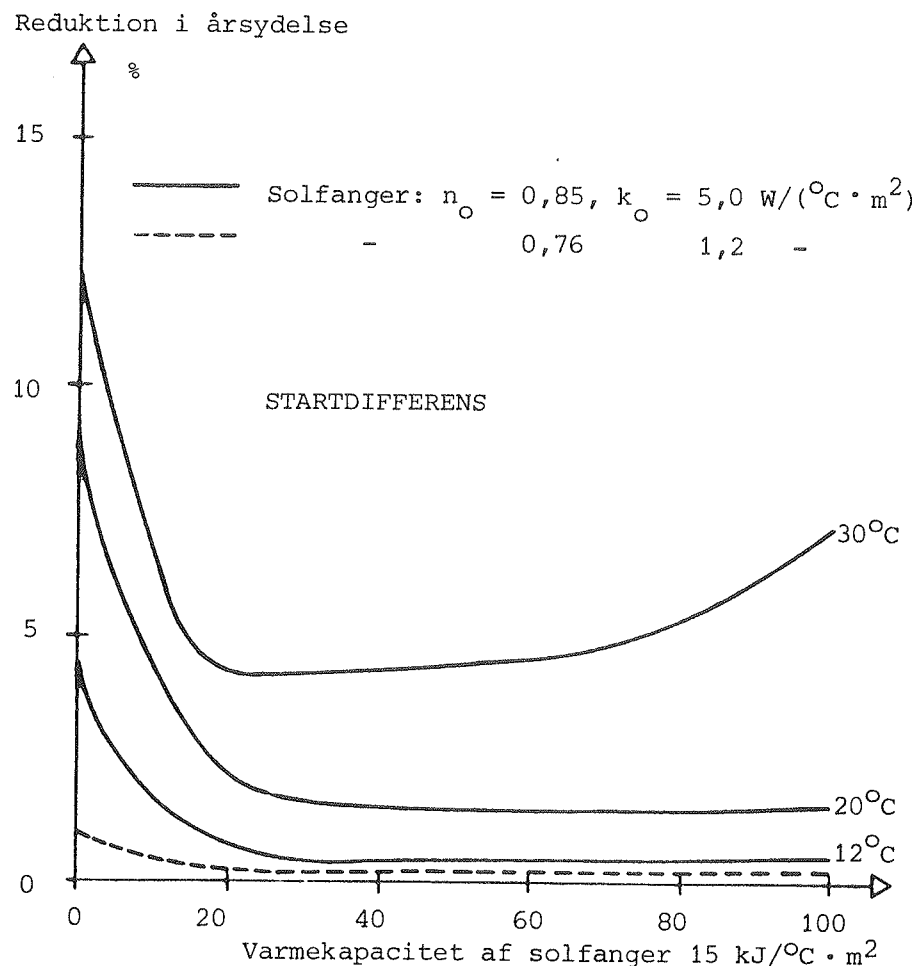
Reduktion i årsydelse som følge af gennemstrømningsmængden i solfangerne som funktion af lagertemperaturen.

Reduktionen er vist i forhold til en uendelig stor væskestrøm, for to forskellige solfangere.

Betydning af start- og stopdifferensen

Figur 5.33 viser betydningen af startdifferensen som funktion af temperaturen i lageret.

En høj startdifferens vil bevirke at pumpen vil starte senere. Når pumpen så starter, vil solfangeren have en overtemperatur, og den energi der svarer hertil vil blive overført til lageret. Er startdifferensen meget stor, kan det ske at pumpen ikke når at starte.



Figur 5.33.

Reduktionen i årsydelse som følge af startdifferensen for differenstermostaten til solfangerkredsen som funktion af lagertemperaturen.

Reduktionen er set i forhold til en startdifferens på 0°C, og vist for to forskellige solfangere.

Stopdifferens 0°C. Solfangerens varmekapacitet 15 kJ/°C · m², stadig if. 5.1.

Det fremgår at med en almindelig selektiv solfanger begynder ydelsen at falde væsentligt for lave temperaturer når startdifferensen overstiger 20°C. Med den højeffektive solfanger kan der ikke ses nogen betydning af startdifferensen, da den hurtigt stiger i temperatur med den anvendte varmekapacitet.

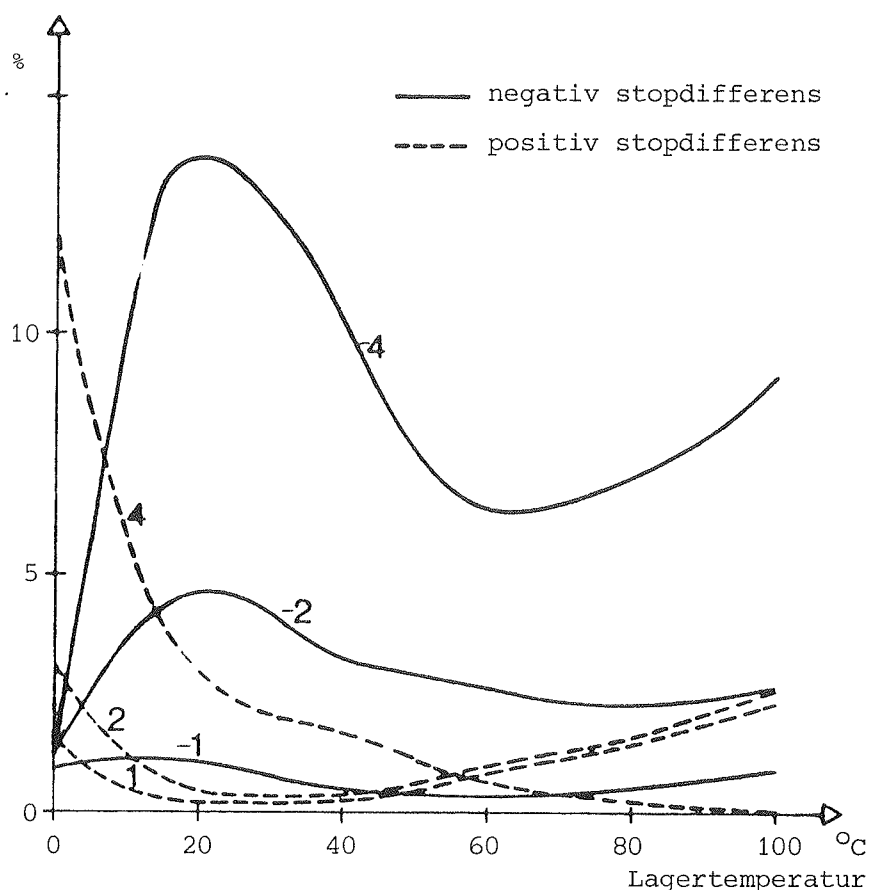
Der er i disse beregninger regnet med at solfangeren opvarmes jævnt, således at absorbertemperaturen er ens overalt på absorberen. Dette er imidlertid ikke tilfældet, idet solfangeren, når der ikke strømmer væske igennem den, vil være varmest foroven. Startdifferensen, temperaturforskellen mellem toppen af absorberen og lageret kompenserer herfor. En startdifferens på 5 til 10°C er derfor rimelig.

Figur 5.34 viser betydningen af stopdifferensen. En positiv stopdifferens vil betyde at pumpen stopper for tidligt for eventuelt at starte igen, hvis temperaturen når at stige, afhængigt af startdifferensen. Det betyder at de to differenser ikke er uafhængige, og at startdifferensen ikke må være større end nødvendigt. Hvis stopdifferensen er negativ, vil pumpen køre videre indtil afkølingen i solfangeren bliver større end svarende til stopdifferensen.

Det fremgår at for anlæg der arbejder ved lagertemperaturer på over 20°C , vil reduktionen være under omkring 2% ved stopdifferenser mellem $-1,5$ og $+4^{\circ}\text{C}$. Dette gælder kun for referenceværdierne fra tabel 5.1. Hvis startdifferensen og/eller varmekapaciteten og/eller flowet i kredsen er større end i figur 5.1, så kan reduktionen blive større, afhængigt af den pågældende kombination.

Beregningerne her gælder kun for systemer med konstant lagertemperatur, og det forudsættes ved beregninger over stopdifferensen at varmeveksleren kan køle lageret. Er der fx tale om en varmeveksler placeret helt i bunden af et højt slankt lager, gælder det at pumpen for så vidt kan køre hele tiden, idet det kun er bunden af lageret der kan køles, og varmeledningen fra de øvre dele af lageret til bunden er lav.

Reduktion i årsydelse



Figur 5.34.

Reduktionen i årsydelse som følge af stopdifferensen for differenstermostaten til solfangerkredsen som funktion af lagertemperaturen.

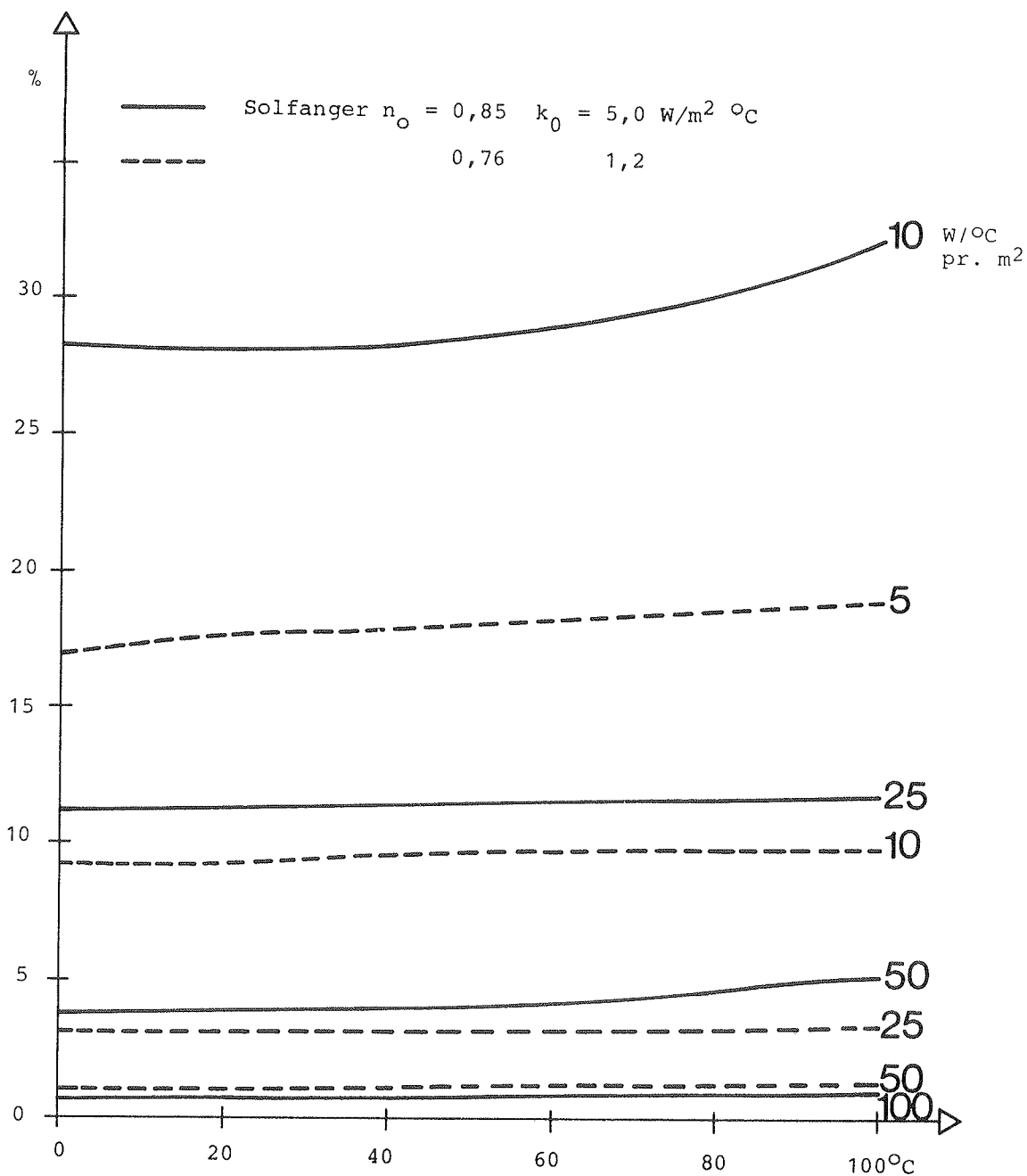
Reduktionen er set i forhold til en stopdifferens på 0°C .

Startdifferens 5°C .

Betydning af varmevekslerstørrelsen

Betydningen af varmeveksleren på ydelsen ses af figur 5.35. Det fremgår at det som for strømningsmængden, figur 5.32, gælder at betydningen stort set er temperaturuafhængig. Endvidere skal man bemærke at varmeveksleren kan gøres mindre med en højeffektiv solfanger, hvilket jo hænger sammen med at en temperaturstigning her ikke har så stor betydning.

Reduktion i årsydelse



Figur 5.35.

Betydningen af varmevekslerens varmeoverføringssevne for årsydelsen. Reduktion i procent i forhold til en uendelig stor varmeveksler eller et tømme-system. Varmeoverføringssevnen er regnet konstant uafhængig af temperaturerne. Enhed $\text{W/}^\circ\text{C pr. m}^2$ solfanger.

Man skal dog være opmærksom på at temperaturen i kredsen stiger, hvorved tabene i rørsystemet stiger, og risikoen for kogning mv. forøges.

Strømningsmængden og varmevekslerens betydning i sammenhæng

Den reduktion der fås som følge af disse ting udtrykkes direkte ved størrelserne F'' og F''' , og som nævnt er reduktionen næsten temperaturuafhængig. Det betyder at det er let at overskue betydningen af forskellige kombinationer af flow og varmevekslerstørrelser. Se herom i kap. 6.

Ydelsens afhængighed af solfangerens effektivitet

Figur 5.36-5.38 viser årsydelsen ved 3 forskellige temperaturer (20°C , 40°C og 80°C) som funktion af starteffektiviteten og varmetabskoefficienten for solfangeren. Hældningen er 56° med vandret.

Det fremgår tydeligt at det, for solfangere der arbejder ved lav temperatur, er ret afgørende hvad starteffektiviteten (dvs. dæklagets gennemskinnelighed og absorberens evne til at overføre varmen til væsken) er, mens varmetabskoefficienten betyder mindre. For solfangere der arbejder ved høj temperatur er det omvendt.

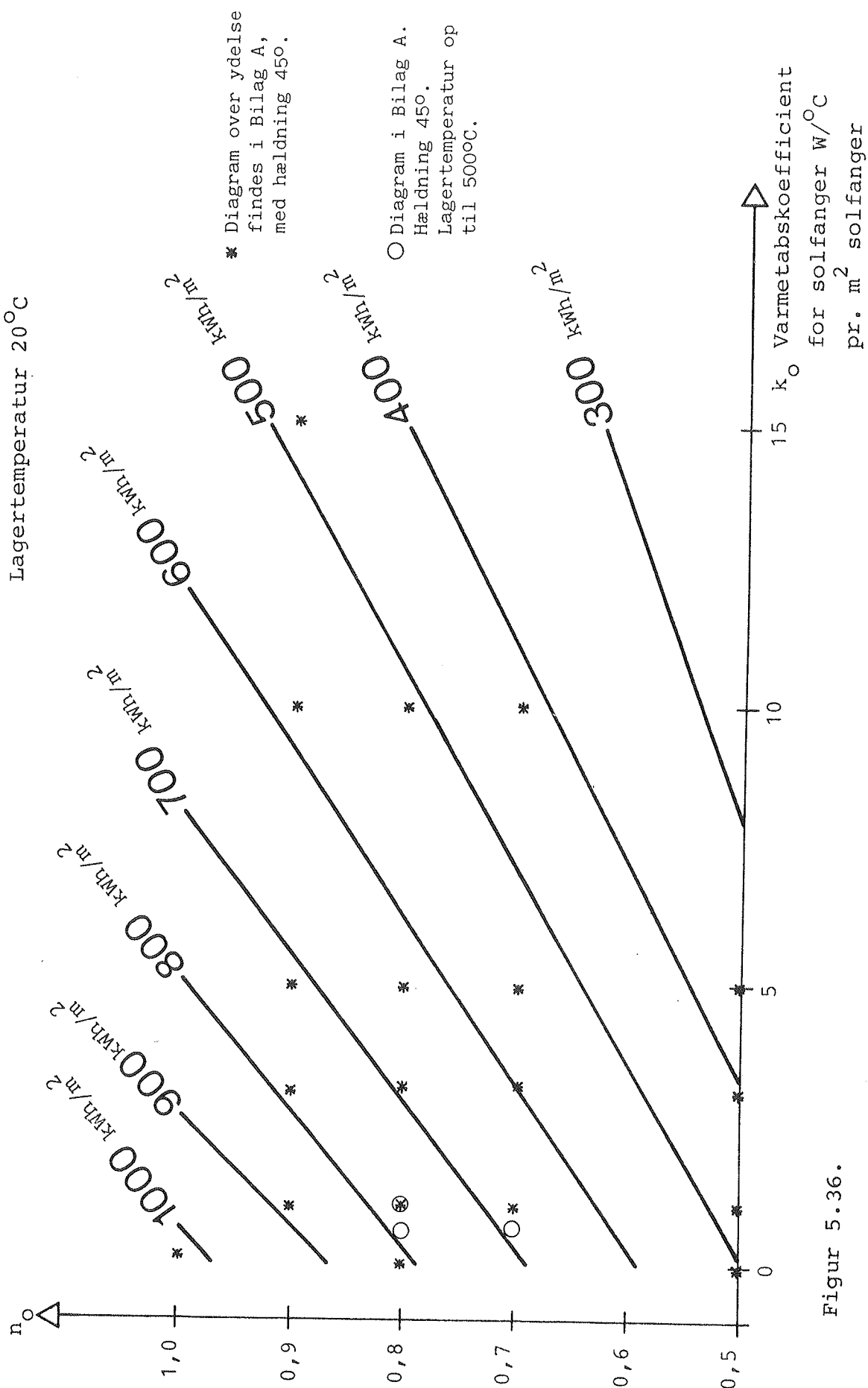
Reduktion i ydelsen som følge af skygge fra foranstående bygninger mv.

Bygninger og beplantning foran en solfanger vil reducere ydelsen. Specielt om vinteren når solen står lavt kan dette have stor betydning. I november-februar hæver solen sig maksimalt 15° over horisonten.

Starteffektivitet for solfanger

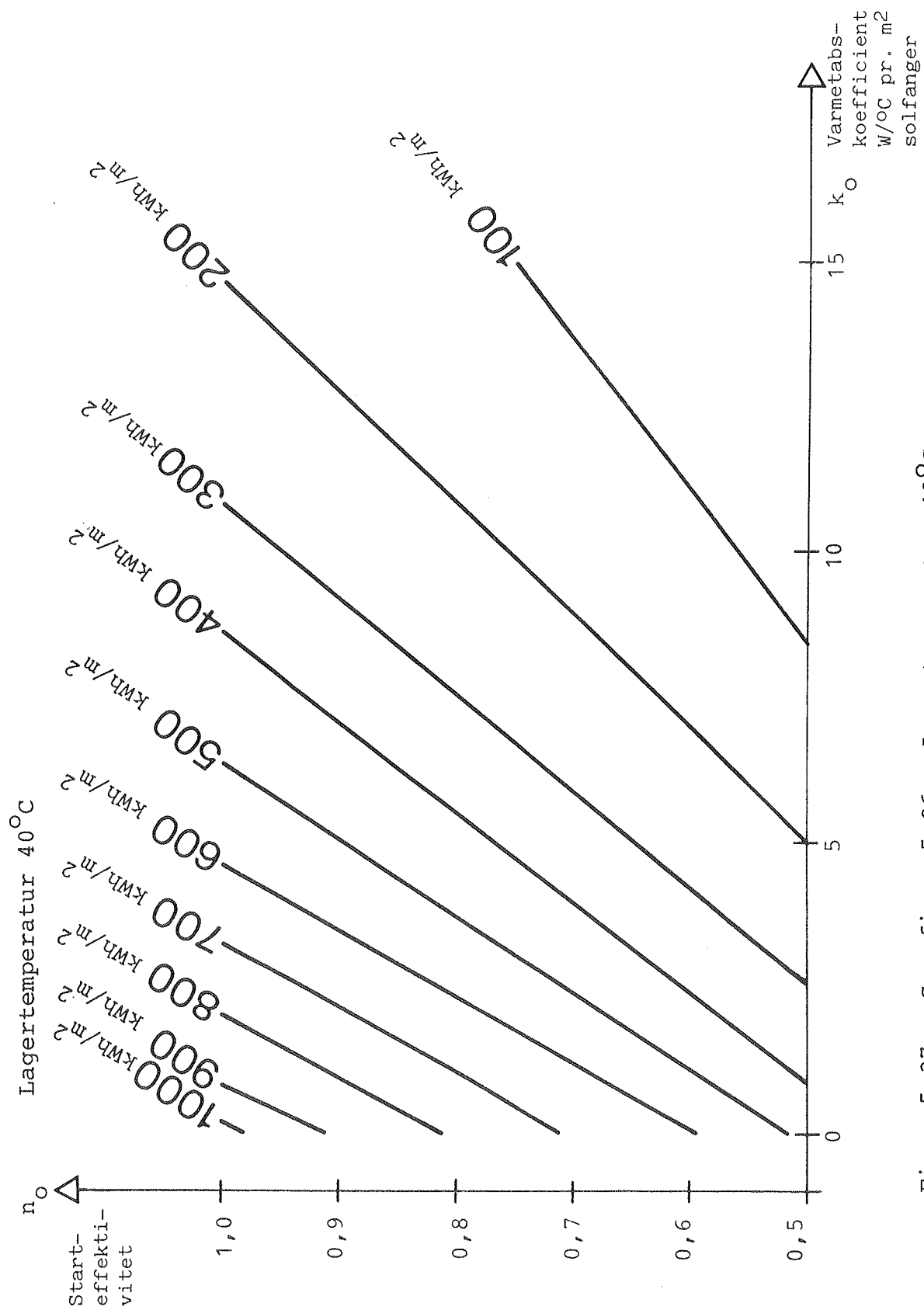
Hældning 56°

Lagertemperatur 20°C

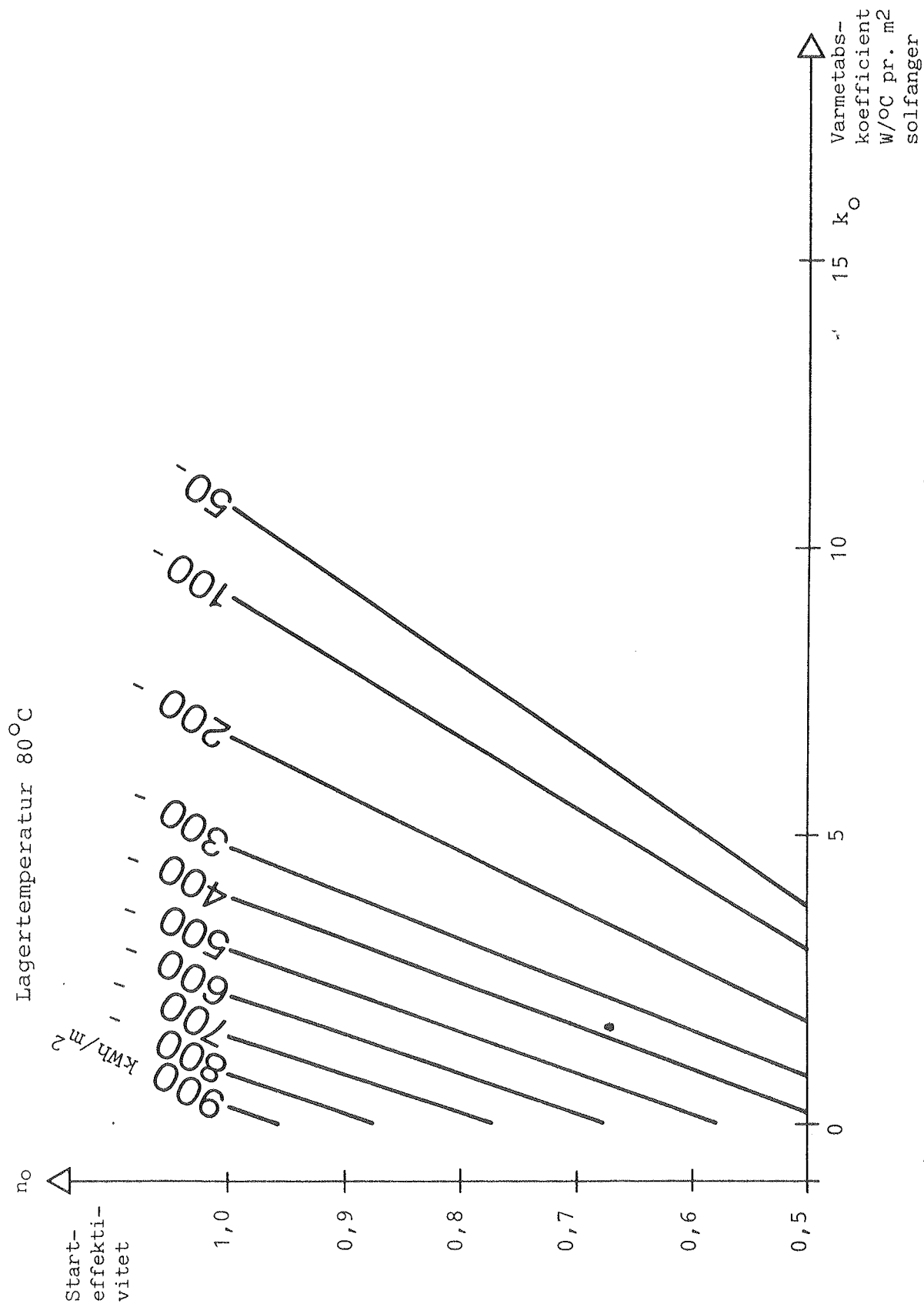


Figur 5.36.

Ydelsens afhængighed af solfangerens effektivitet.
 Bemærk at hældningen er 56° med vandret.
 Lagertemperatur 20°C.
 Data i øvrigt som figur 5.1.



Figur 5.37. Som figur 5.36. Lagertemperatur 40°C.



Figur 5.38. Som figur 5.36. Lagertemperatur 80°C.

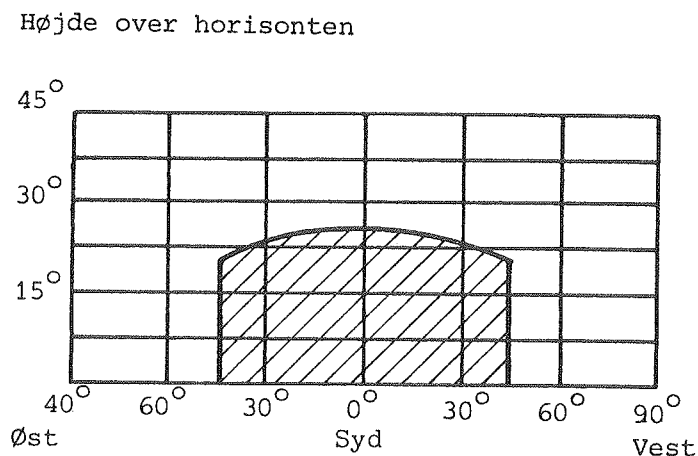
I det følgende angives en metode til at vurdere betydningen af skygge foran solfangeren.

I den benyttede beregningsmodel korrigeres solindstrålingen for skygge af diffus og direkte indstråling. Den direkte stråling sættes lig nul hvis der til det pågældende tidspunkt er noget der står i vejen, simpelthen. Den diffuse stråling er knap så enkel at beregne. Det er antaget at den diffuse stråling fordeler sig jævnt over himlen, men der er korrigeret for indfaldsvinklen til solfangeren således at en afskygning af en diffus stråling, der ville have haft en stor indfaldsvinkel til solfangeren, tæller mindre end en tilsvarende skygge lige i front af solfangeren.

Beregningerne gælder for en sydvendt solfanger, og det er antaget at der er symmetri omkring syd, således at beregningsarbejdet er halveret.

Diagrammet

Diagrammet til beregning af skyggens betydning er som det ses (figur 5.39) en kasse der skal forestille himlen set fra solfangeren. Den vandrette kant er horisonten fra øst over syd til vest. Den lodrette er højden angivet som en vinkel mellem linjen til himlen og linjen til horisonten. Et punkt er altså givet ved en vinkelmåling i forhold til syd (orienteringen), og en vinkelmåling i forhold til horisonten (højden). Man kan sige at kassen er fortegnet idet fx et hus der ligger 100 m væk og er 50 m højt og 200 m langt, parallelt med solfangeren, vil se ud på figur 5.39.



Figur 5.39.

Kasse til beregning af skyggens betydning. Kassen dækker himlen fra øst over syd til vest og op til 45° over horisonten. Et hus der ligger 100 m væk, som er 50 m højt og 200 m langt parallelt med solfangeren, er indtegnet.

Hvordan gør man?

Fremgangsmåden er da den at man indtegner terrænet foran solfangeren på det relevante diagram. De tal der står, angiver hvor mange procent ydelsen reduceres hvis det pågældende område hvor tallet står er dækket. Man summerer altså tallene der er dækket (det halve hvis feltet er halvt dækket), og får den samlede procentdel som ydelsen reduceres.

Figur 5.40 viser diagrammer gældende for solfangerorientering mod syd. Reduktionen er følgende:

Solfanger A, lagertemp. 0°C , hældning 0, 45, 90°
lagertemp. 40°C , hældning 0, 20, 45, 70, 90°
lagertemp. 80°C , hældning 0, 45, 90°

Solfanger B, lagertemp. 0, 40, 80°C , hældning 45°

Bemærk at summen af tallene kan blive større end 100, svarende til at ydelsen for solfanger A kunne reduceres til ingenting med mindre skygge. For solfanger B er reduktionen (i %) relativt uafhængig af temperaturen.

Der er diagrammer der gælder for sommerperioden, for vinterperioden og for året som helhed. Figur 5.41 viser et eksempel på anvendelsen af diagrammerne. Da der er diagrammer både for sommer- og for vinterperioden, er der mulighed for at tage hensyn til at løvfældende beplantning giver mindre skygge om vinteren. Sommer er april-september, vinter er oktober-marts.

Hvis solfangerarealet er stort, kan det være nødvendigt at vurdere skyggeforholdene fx for den øverste og den nederste solfanger for at få en rimelig vurdering.

Er der tale om skyggegivende ting der er meget tæt på solfangeren, er det måske nødvendigt med flere skyggeberegninger for et enkelt solfangerelement.

Det er ikke muligt med denne metode at tage hensyn til skygge der befinder sig over 45° over horisonten. Hvis fx en solfanger står på jorden ved en hældning på 45° lige foran et hus, vil huset delvis skygge for den diffuse stråling til solfangeren, figur 5.42. Dette er ikke uden betydning.

Det viser sig, ved sammenligning med eksakt simulering, at metoden i de fleste tilfælde giver en god beregning. Ved 0°C og 20°C er der næsten perfekt overensstemmelse, uanset om man summerer over alle 36 tern.

SOMMER

1,8	2,2	1,6	1,6	2,2	2,2
1,8	1,2	0,9	0,9	1,2	1,8
1,4	0,6	0,3	0,3	0,6	1,4
0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5
0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

VINTER

0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5
0,5	0,9	2,2	2,2	0,9	0,5
0,3	2,1	2,7	2,7	2,1	0,3
0,5	1,5	1,7	1,7	1,5	0,5
0,3	0,7	1,2	1,2	0,7	0,3
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Solfanger A, 0°C



 Hældning 0°

ÅR

1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6
1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,6
1,2	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

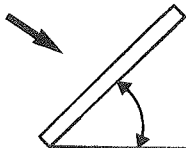
SOMMER

1,8	2,8	2,3	2,3	2,8	1,8
1,6	1,7	1,4	1,4	1,7	1,6
1,5	1,0	0,5	0,5	1,0	1,5
0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7
0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2

VINTER

0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3
0,3	0,7	2,5	2,5	0,7	0,3
0,3	2,8	4,5	4,5	2,8	0,3
0,7	3,0	4,2	4,2	3,0	0,7
0,7	2,6	6,7	6,7	2,6	0,7
0,4	1,5	0,6	0,6	1,5	0,4

Solfanger A, 0°C



Hældning 45°

ÅR

1,4	2,2	1,8	1,8	2,2	1,4
1,4	1,4	1,7	1,7	1,4	1,4
1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2
0,7	1,1	1,3	1,3	1,1	0,7
0,4	0,9	1,9	1,9	0,9	0,4
0,2	0,6	0,4	0,4	0,6	0,2

SOMMER

0,7	2,3	2,4	2,4	2,3	0,7
0,6	1,6	1,7	1,7	1,6	0,6
0,8	1,2	0,7	0,7	1,6	0,6
0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3

VINTER

0,1	0,4	0,6	0,6	0,4	0,1
0,1	0,7	2,2	2,2	0,7	0,1
0,2	2,5	4,3	4,3	2,5	0,2
0,5	3,0	4,5	4,5	3,0	0,5
0,6	3,0	8,2	8,2	3,0	0,6
0,5	2,2	0,8	0,8	2,2	0,5

Solfanger A, 0°C



 Hældning 90°

ÅR

0,5	1,8	1,8	1,8	1,8	0,1
0,5	1,3	1,8	1,8	1,3	0,5
0,6	1,6	1,8	1,8	1,6	0,6
0,5	1,4	1,8	1,8	1,4	0,5
0,5	1,3	2,8	2,8	1,3	0,5
0,4	1,0	0,7	0,7	1,0	0,4

Figur 5.40 side 1.

SOMMER

4,2	5,1	3,7	3,7	5,1	4,2
3,9	2,6	1,9	1,9	2,6	3,9
2,5	1,1	0,5	0,5	1,1	2,5
0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7
0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

VINTER

	YDELSE				
	MEGET	LILLE			

Solfanger A, 40°C



Hældning 0°

ÅR

4,0	5,0	3,7	3,7	5,0	4,0
3,8	2,7	2,6	2,6	2,7	3,8
2,4	1,6	1,2	1,2	1,6	2,4
0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

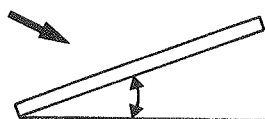
SOMMER

3,9	5,4	4,2	4,2	5,4	3,9
3,6	2,9	2,4	2,4	2,9	3,6
2,6	1,5	0,7	0,7	1,5	2,6
0,9	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9
0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2
0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1

VINTER

0,6	0,6	1,9	1,9	0,6	0,6
0,6	2,5	10	10	2,5	0,6
0,6	9,5	15	15	9,5	0,6
1,3	7,0	10	10	7,0	1,3
0,6	2,5	5,7	5,7	2,5	0,6
0	0,6	0,6	0,6	0,6	0

Solfanger A, 40°C



Hældning 20°

ÅR

3,5	4,9	3,9	3,9	4,9	3,5
3,5	2,9	3,1	3,1	2,9	3,3
2,4	2,3	2,2	2,2	2,3	2,4
0,9	1,3	1,6	1,6	1,3	0,9
0,3	0,6	0,9	0,9	0,6	0,3
0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1

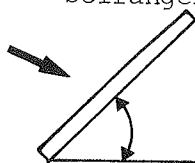
SOMMER

3,6	5,7	4,8	4,8	5,7	3,6
3,2	3,2	2,9	2,9	3,2	3,2
2,3	1,9	0,9	0,9	1,9	2,3
0,9	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4

VINTER

0,3	0,6	1,0	1,0	0,6	0,3
0,3	1,6	6,6	6,6	1,6	0,3
0,3	6,6	12	12	6,6	0,3
1,3	7,0	10	10	7,0	1,3
0,7	3,6	12	12	3,6	0,7
0,4	1,6	1,0	1,0	1,6	0,4

Solfanger A, 40°C



Hældning 45°

ÅR

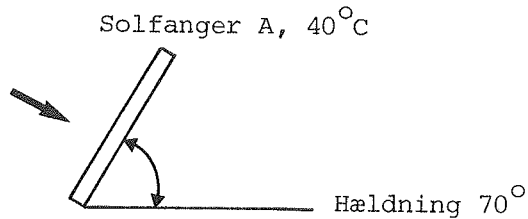
3,1	4,8	4,2	4,2	4,8	3,1
2,7	2,9	3,6	3,6	2,9	2,7
2,0	2,7	2,8	2,8	2,7	2,0
1,0	2,0	2,3	2,3	2,0	1,0
0,5	1,1	2,7	2,7	1,1	0,5
0,4	1,0	0,7	0,7	1,0	0,4

SOMMER

3,3	6,2	5,6	5,6	6,2	3,3
2,5	3,6	3,5	3,5	3,6	2,5
1,8	2,4	1,1	1,1	2,4	1,8
0,9	1,2	0,9	0,9	1,2	0,9
0,6	1,0	0,9	0,9	1,0	0,6
0,5	0,8	0,9	0,9	0,8	0,5

VINTER

0,6	0,6	1,1	1,1	0,6	0,6
0,6	1,4	5,6	5,6	1,4	0,6
0,6	5,9	10	10	5,9	0,6
1,1	6,5	9,3	9,3	6,5	1,1
0,8	4,0	15	15	4,0	0,8
0,6	2,3	1,4	1,4	2,3	0,6



ÅR

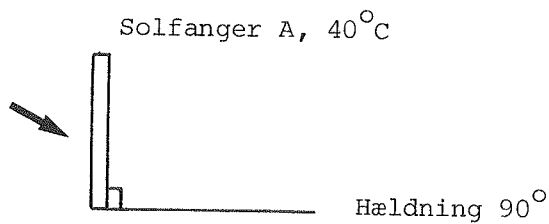
2,6	4,9	4,5	4,5	4,9	2,6
2,0	3,1	4,1	4,1	3,1	2,0
1,5	3,2	3,4	3,4	3,2	1,5
1,0	2,5	3,0	3,0	2,5	1,0
0,7	1,5	4,3	4,3	1,5	0,7
0,6	1,2	1,0	1,0	1,2	0,6

SOMMER

1,7	6,6	7,0	7,0	6,6	1,7
1,2	4,2	5,0	5,0	4,2	1,2
1,5	3,1	1,6	1,6	3,1	1,5
0,9	1,6	1,5	1,5	1,6	0,9
0,7	1,3	1,5	1,5	1,3	0,7
0,7	1,3	1,5	1,5	1,3	0,7

VINTER

0,3	0,6	1,3	1,3	0,6	0,3
0,3	1,6	5,4	5,4	1,6	0,3
0,3	5,4	10	10	5,4	0,3
1,0	6,3	10	10	6,3	1,0
0,6	4,8	16	16	4,8	0,6
0,6	2,5	1,6	1,6	2,5	0,6



ÅR

1,3	4,8	5,2	5,2	4,8	1,3
0,9	3,3	5,1	5,1	3,3	0,9
1,1	3,8	4,4	4,4	3,8	1,1
0,9	3,1	4,1	4,1	3,1	0,9
0,7	2,4	6,1	6,1	2,4	0,7
0,7	1,7	1,5	1,5	1,7	0,7

Figur 5.40. Kassediagrammer til beregning af betydningen af skyggegivende ting foran solfangeren.

Vedr. brugen henvises til teksten og til eksemplet figur 5.41.

SOMMER

7,3	9,4	6,6	6,6	9,4	7,3
4,4	3,0	1,8	1,8	3,0	4,0
1,8	1,0	0,8	0,8	1,0	1,8
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

VINTER

Solfanger A, 80°C



Hældning 0°

ÅR

7,3	9,3	6,6	6,6	9,3	7,3
4,0	3,0	1,8	1,8	3,0	4,0
1,8	1,0	0,8	0,8	1,0	1,8
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

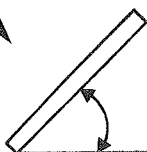
SOMMER

4,7	9,7	8,0	8,0	9,7	4,7
3,0	4,5	4,4	4,4	4,5	3,0
2,1	2,1	1,5	1,5	4,5	2,1
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
0,6	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6
0,6	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6

VINTER

1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0
1,0	3,0	14	14	3,0	1,0
1,0	10	27	27	10	1,0
1,0	9,3	16	16	9,3	1,0
1,0	4,1	8,2	8,2	4,1	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Solfanger A, 80°C



Hældning 45°

ÅR

4,2	8,4	7,0	7,0	8,4	4,2
2,7	4,3	5,7	5,7	4,3	2,7
1,8	3,2	4,9	4,9	3,2	1,8
1,1	2,1	3,1	3,1	2,1	1,1
0,6	1,4	2,0	2,0	1,4	0,6
0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6

SOMMER

1,8	12	17	17	12	1,8
1,2	6,0	11	11	6,0	1,2
1,8	4,8	3,6	3,6	4,8	1,8
1,8	3,0	3,0	3,0	3,0	1,8
1,8	2,4	3,0	3,0	2,4	1,8
1,8	2,4	3,0	3,0	2,4	1,8

VINTER

1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	2,9	11	11	2,9	1,0
1,0	6,7	24	24	6,7	1,0
1,0	8,7	17	17	8,7	1,0
1,0	4,8	17	17	4,8	1,0
1,0	2,9	1,9	1,9	2,9	1,0

Solfanger A, 80°C



Hældning 90°

ÅR

1,1	7,7	11	11	7,7	1,1
1,1	4,8	11	11	4,8	1,1
1,5	5,5	11	11	5,5	1,5
1,5	4,8	8,5	8,5	4,8	1,5
1,1	3,7	8,5	8,5	3,7	1,1
1,1	2,6	2,6	2,6	2,6	1,1

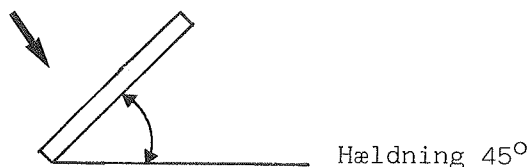
SOMMER

2,3	3,5	2,9	2,9	3,5	2,3
2,1	2,1	1,8	1,8	2,1	2,1
1,9	2,1	1,8	1,8	2,1	2,1
0,9	0,6	0,5	0,5	0,6	0,9
0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4
0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3

VINTER

0,2	0,4	0,6	0,6	0,4	0,2
0,2	0,9	2,9	2,9	0,9	0,2
0,2	3,1	5,2	5,2	3,1	0,2
0,7	3,5	4,9	4,9	3,5	0,7
0,7	3,0	7,8	7,8	3,0	0,7
0,4	1,9	0,6	0,6	1,9	0,4

Solfanger B, 0°C



ÅR

1,8	2,8	2,3	2,3	2,8	1,8
1,7	1,8	2,1	2,1	1,8	1,7
1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5
0,9	1,3	1,6	1,6	1,3	0,9
0,5	1,1	2,4	2,4	1,1	0,5
0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3

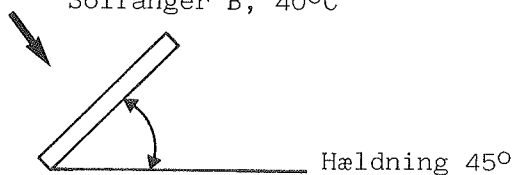
SOMMER

3,0	4,6	3,8	3,8	4,6	3,0
2,8	2,7	2,4	2,4	2,7	2,8
2,5	1,7	0,8	0,8	1,7	2,5
1,0	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0
0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3

VINTER

0,6	0,6	0,9	0,9	0,6	0,6
0,6	1,3	4,4	4,4	1,3	0,6
0,4	4,9	8,0	8,0	4,9	0,4
1,1	4,9	7,2	7,2	4,9	1,1
0,9	4,0	11	11	4,0	0,9
0,6	2,3	0,9	0,9	2,3	0,6

Solfanger B, 40°C



ÅR

2,4	3,7	3,1	3,1	3,7	2,4
2,3	2,4	2,8	2,8	2,4	2,3
2,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,0
1,1	1,7	2,1	2,1	1,7	1,1
0,6	1,3	2,9	2,9	1,3	2,9
0,4	0,9	0,7	0,7	0,9	0,4

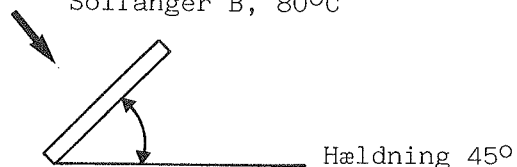
SOMMER

3,6	5,6	4,5	4,5	5,6	3,6
3,1	3,2	2,8	2,8	3,2	3,1
2,4	1,9	0,9	0,9	1,9	2,4
1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	1,1
0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5
0,3	0,6	0,7	0,7	0,6	0,3

VINTER

0,5	0,5	1,1	1,1	0,5	0,5
0,5	1,6	5,6	5,6	1,6	0,5
0,5	5,9	10	10	5,9	0,5
1,3	6,1	8,5	8,5	6,1	1,3
1,1	4,5	13	13	4,5	1,1
0,5	2,7	1,1	1,1	2,7	0,5

Solfanger B, 80°C



ÅR

3,0	4,5	3,9	3,9	4,5	3,0
2,6	2,9	3,4	3,4	2,9	2,6
2,0	2,8	2,7	2,7	2,8	2,0
1,1	2,0	2,4	2,4	2,0	1,1
0,6	1,4	3,2	3,2	1,4	0,6
0,4	1,0	0,8	0,8	1,0	0,4

Figur 5.40 side 5.

SOMMER 4%

4,2	5,1	3,7	3,7	5,1	4,2
3,9	2,6	1,9	1,9	2,6	3,9
2,5	1,1	0,5	0,5	1,1	2,5
0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7
0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

VINTER

	YDELSE				
	MEGET LILLE				

Solfanger A, 40°C



Hældning 0°

ÅR 5%

4,0	5,0	3,7	3,7	5,0	4,0
3,8	2,7	2,6	2,6	2,7	3,8
2,4	1,6	1,2	1,2	1,6	2,4
0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

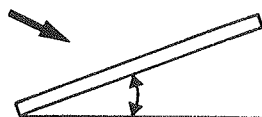
SOMMER 6%

3,9	5,4	4,2	4,2	5,4	3,9
3,6	2,9	2,4	2,4	2,9	3,6
2,6	1,5	0,7	0,7	1,5	2,6
0,9	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9
0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2
0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1

VINTER 55%

0,6	0,6	1,9	1,9	0,6	0,6
0,6	2,5	10	10	2,5	0,6
0,6	9,5	15	15	9,5	0,6
1,3	7,0	10	10	7,0	1,3
0,6	2,5	5,7	5,7	2,5	0,6
0	0,6	0,6	0,6	0,6	0

Solfanger A, 40°C



Hældning 20°

ÅR 10%

3,5	4,9	3,9	3,9	4,9	3,5
3,5	2,9	3,1	3,1	2,9	3,3
2,4	2,3	2,2	2,2	2,3	2,4
0,9	1,3	1,6	1,6	1,3	0,9
0,3	0,6	0,9	0,9	0,6	0,3
0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1

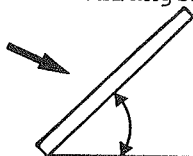
SOMMER 7%

3,6	5,7	4,8	4,8	5,7	3,6
3,2	3,2	2,9	2,9	3,2	3,2
2,3	1,9	0,9	0,9	1,9	2,3
0,9	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4

VINTER 63%

0,3	0,6	1,0	1,0	0,6	0,3
0,3	1,6	6,6	6,6	1,6	0,3
0,3	6,6	12	12	6,6	0,3
1,3	7,0	10	10	7,0	1,3
0,7	3,6	12	12	3,6	0,7
0,4	1,6	1,0	1,0	1,6	0,4

Solfanger A, 40°C

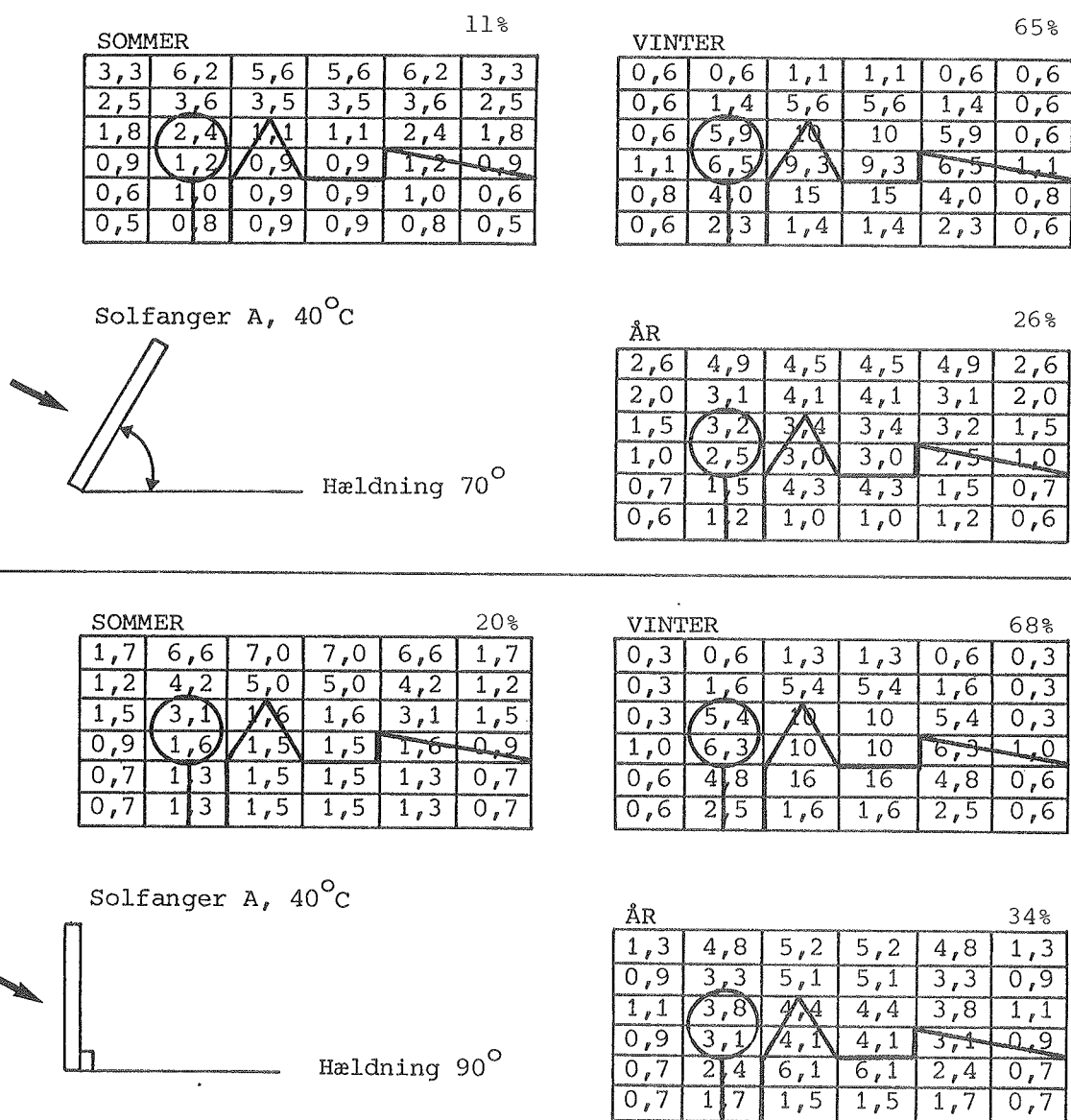


Hældning 45°

ÅR 14%

3,1	4,8	4,2	4,2	4,8	3,1
2,7	2,9	3,6	3,6	2,9	2,7
2,0	2,7	2,8	2,8	2,7	2,0
1,0	2,0	2,3	2,3	2,0	1,0
0,5	1,1	2,7	2,7	1,1	0,5
0,4	1,0	0,7	0,7	1,0	0,4

Figur 5.41 side 1.



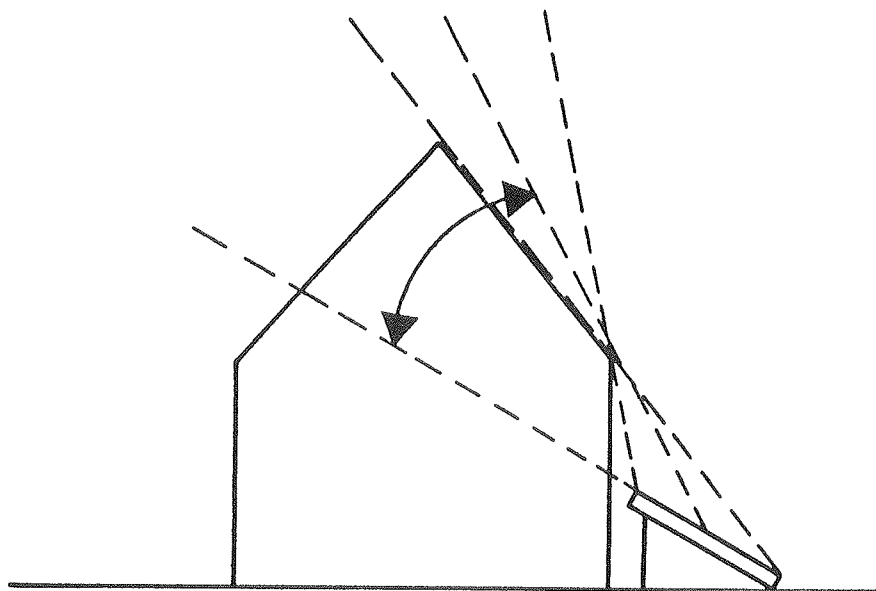
Figur 5.41.

Eksempel på anvendelse af diagrammet figur 5.40.

I dette eksempel er skyggen fra træet (det runde) talt med. Det er jo muligt at tage hensyn til at træet ikke skygger om vinteren når der ikke er blade på. Men husk at det så er med i beregningen af årsreduktionen.

Reduktionen angiver reduktionen relativt til ydelsen uden skygge. Denne kan findes af figurer i bilag A for eksempel.

Vinter er perioden oktober-marts, sommer er perioden april-september.



Figur 5.42.

Hvis solfangeren anbringes som vist foran fx et hus, vil huset skygge for noget af den diffuse stråling der ellers ville have ramt solfangeren. Det er ikke muligt at tage hensyn hertil med nærværende metode. I almindelighed er den slags skygge vel uden betydning, også i eksemplet på tegningen hvor indfaldsvinklen for den afskyggede stråling er stor.

Måske kan skygge af denne art medføre at en lidt større hældning end ellers vil være optimal.

Ved højere temperaturer, og specielt om vinteren, og hvis der er meget skygge, bliver fejlen stor. Følgende opstilling, hvor de tre tal angiver reduktionen for henholdsvis sommer, vinter og år, giver en idé om fejlen.

Anlæg og skygge	Beregning med summering	Beregning i én omgang
40°C Solfanger A alle felter	68%, 133%, 80%	61%, 100%, 68%
40°C 18 nederste felter	18%, 86%, 25%	11%, 57%, 20%
80°C 18 nederste felter	16%, 84%, 26%	15%, 54%, 20%

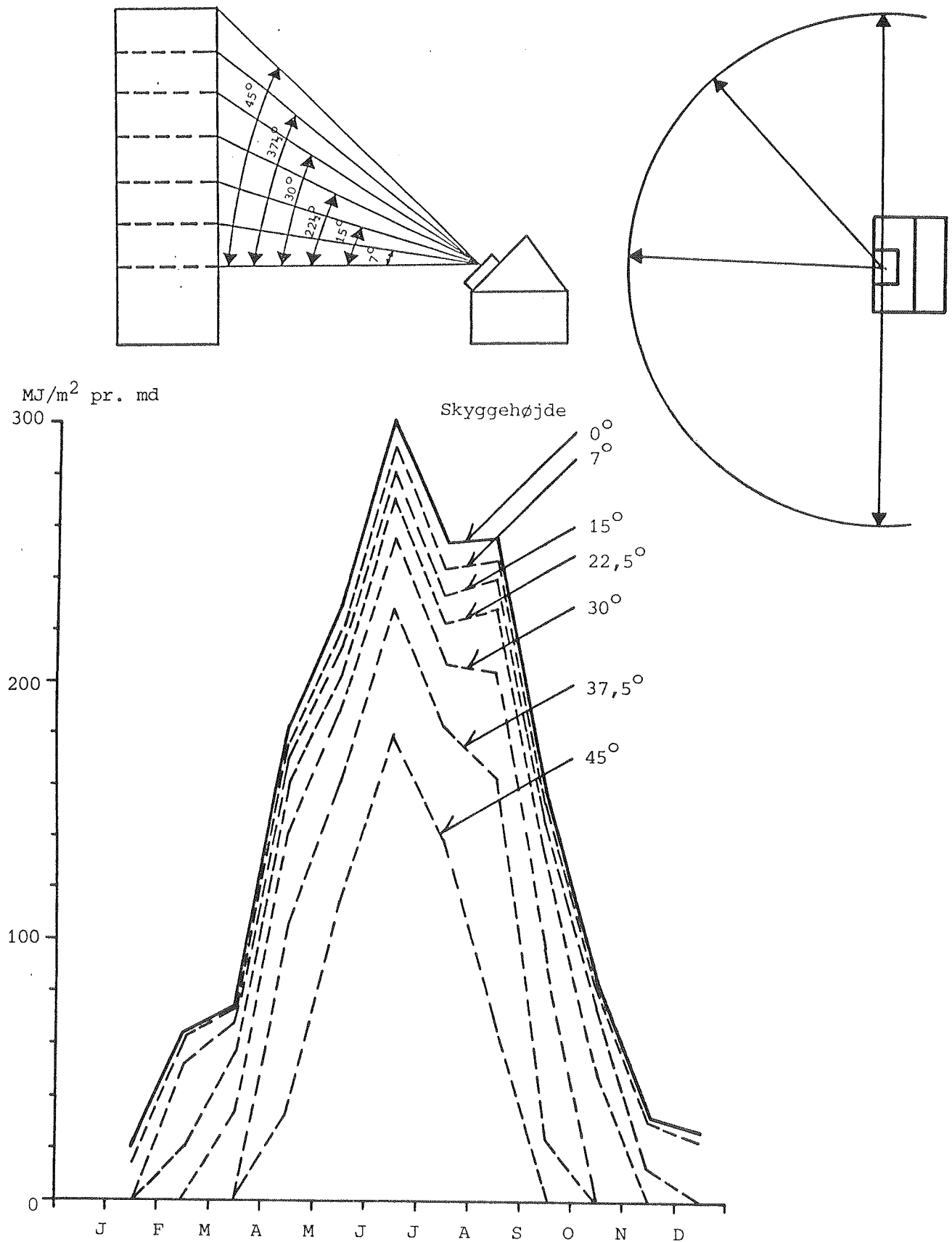
Ved summering over et mindre antal felter er overensstemmelsen helt god uanset hvorledes skyggen fordeler sig over himlen.

For solfanger B (den højeffektive) er reduktioner gennemgående mindre i % fordi ydelsen er højere, overensstemmelsen mellem de to beregningsmåder er bedre pga. den højere effektivitet, som gør at solfangeren er mere effektiv ved lav indstråling.

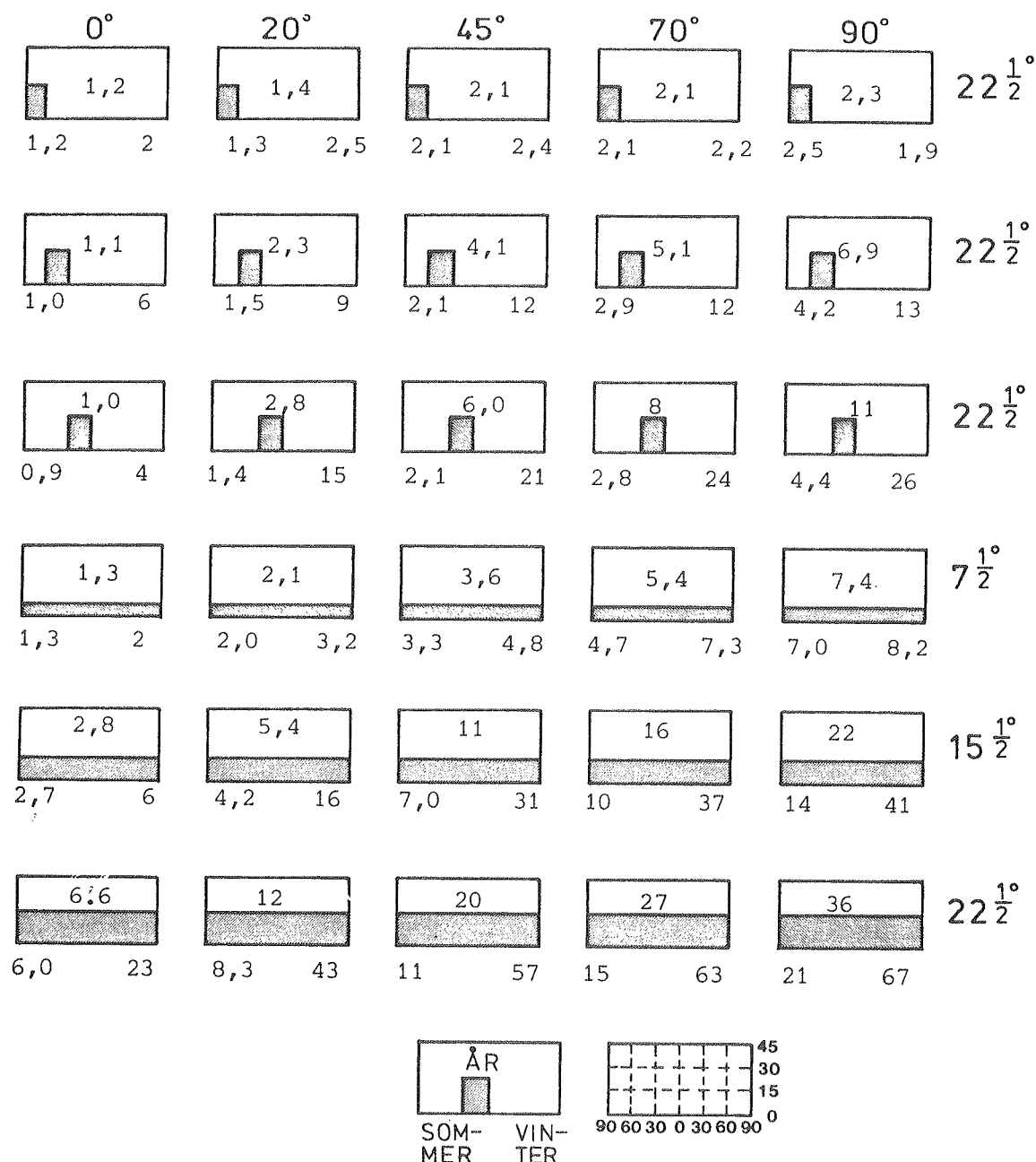
For solfanger B er den %-vise reduktion ret temperaturuafhængig og også mindre end for solfanger A. Det hænger sammen med at solfangeren er mindre følsom for ændringer i indstrålingen. Godt nok falder ydelsen når indstrålingen mindskes, men solfangerens effektivitet (den %-del af solindstrålingen der udnyttes) er mindre afhængig af solindstrålingen for en mere effektiv solfanger.

Figur 5.43 viser betydningen af skyggegivende ting der strækker sig horisonten rundt. Figur 5.44 viser betydningen af forskellige skyggeprofiler. Beregningerne er foretaget ved nøjagtig simulering. Beregningerne kan let gøres efter ved summering af felter i diagrammerne, hvilket vil give næsten samme resultat.

Bemærk specielt at der ikke skal ret meget skygge til før ydelsen i vinterhalvåret reduceres væsentligt.



Figur 5.43.
Viser ydelsen over året for en afskærmning hele horisonten rundt i forskellige højder. Solfanger A, et lag glas og selektiv absorber. Hældning 45°. Lagertemperatur 40°C.



Figur 5.44.

Reduktion i ydelsen pga. skygge i % af ydelsen uden skygge. Solfanger A med et lag glas og selektiv absorber. Lagertemperatur 40°C.

Tallene angiver reduktionen i procent i forhold til ydelsen helt uden skygge for forskellige hældninger. De tre tal er årsreduktion, sommer- og vinterreduktion som angivet forinden.

Højden af skyggen er angivet til højre på figuren. Kasserne i de tre øverste rækker er alle 30° brede og placeret fra 0-30, 30-60 og 60-90°.

Tallene i figuren er beregnet ved simulering af hele skyggeområdet på en gang. En beregning efter metoden figur 5.40 vil give næsten de samme tal. Kun ved meget store skyggearealer bliver der en afvigelse.

6. YDELSESDIAGRAMMER

Figur 1 til 63 i bilag A bagest i rapporten viser diagrammer over ydelse og tab fra rørsystemer, fordelt over årets måneder, for en del af de variationer der er behandlet i kapitel 5. En liste over diagrammerne findes først i bilag A. Her findes også en forklaring på diagrammets opbygning.

Af det følgende fremgår først et eksempel på anvendelse af diagrammerne, hvorefter der følger nogle betragtninger over brugen af diagrammerne og afhængigheden af de forskellige forhold der influerer på ydelsen.

Eksempel på brug af ydelsesdiagrammerne
(se figur 6.1)

Et solvarmeanlæg på 1000 m² solfanger kobles til returledningen i et fjernvarmenet via en varmeveksler. Varmeoverføringssevne og solfangereffektivitet antages at være som referenceværdierne figur 5.1. Mellem solfangerne og varmeveksleren er der et rørsystem bestående af 600 m 3" jernrør isoleret med 20 mm mineraluld. I marts måned er returtemperaturen i gennemsnit 40°C, mens den i juli måned er 60°C. Nettoydelsen tilført fjernvarmevandet i disse måneder ønskes beregnet. Det antages at den producerede varme altid kan aftages.

Af figur 5.24 findes varmetabet af et 3" rør (d = 90 mm) til 0,55 W/°C pr. m rør, i alt 330 W/°C for 600 m rør. Hertil lægges andre varmetab (uisolerede dele, armaturer osv.). Sættes dette til 70 W/°C, fås i alt 400 W/°C.

Figur 5.26 giver tilsvarende en varmekapacitet på 24 kJ/°C pr. m rør for 3" rør. I alt 14400 kJ/°C for 600 m rør.

De tal der skal bruges til beregningerne er pr. m² solfanger.

Altså:

Varmetab: $400/1000 = 0,4 \text{ W/°C pr. m}^2 \text{ solfanger.}$

Varmekapacitet: $14400/1000 = 14,4 \text{ kJ/°C pr. m}^2 \text{ solfanger.}$

I bilag A findes diagrammet for den pågældende solfanger, med den rigtigste hældning mv. Ydelser og varmetab aflæses her, og man får:

	Marts	Juli
Lagertemperatur	40°C	60°C
Ydelse fra solfanger til rørsystem	75 MJ/m ²	175 MJ/m ²
Transmissionstab fra rørsystem	12 MJ/m ² pr. W/°C · m ² x 0,4 W/°C · m ² = 5 MJ/m ²	33 MJ/m ² pr. W/°C · m ² x 0,4 W/°C · m ² = 13 MJ/m ²
Kapacitetstab fra rørsystem	0,7 MJ/m ² pr. kJ/°C · m ² x 14,4 kJ/°C · m ² = 10 MJ/m ²	1,3 MJ/m ² pr. kJ/°C · m ² x 14,4 kJ/°C · m ² = 19 MJ/m ²
Nettoydelse tilført varmeveksler	60 MJ/m ² = 17 kWh/m ²	143 MJ/m ² = 40 kWh/m ²
Tab i % af bruttoydelse	20%	18%

Figur 6.1. De indrammede værdier er fra Bilag A, første figur.

I dette tilfælde, som ikke er helt urealistisk, bliver varmetabene altså ret betragtelige. Det er kapacitetstabet der er størst, så det hjælper ikke så meget at isolere rørene ekstra. Kan rørsystemet ikke gøres kortere eller med en mindre rørdimension, kan man overveje systemet hvor pumpen i solfangerkredsen starter tidligt og udnytter det tidlige solindfald til opvarmning af rørsystemet. If. figur 5.28 vil reduktionen som følge af varmekapaciteten i den årlige ydelse herved reduceres fra ca. 7 til ca. 2% ved lagertemperaturen 40°C , og fra godt 15% til under 5% ved en lagertemperatur på 60°C . Det vil altså sige at tabet som følge af varmekapaciteten reduceres til ca. $1/3$, og det samlede tab vil da reduceres fra før omkring 20% til nu ca. 11%.

Hvad bestemmer ydelsen ?

Ydelsen af et solfangerareal afhænger principielt af 3 ting.

- 1) Solfangerens effektivitet
- 2) Den solindstråling der rammer solfangeren
- 3) Transportsystemet fra solfanger til lager

ad 1) Det drejer sig om solfangerens opbygning rent geometrisk, om dæklagets optiske egenskaber mv., beskrevet ved solfangerens effektivitetsudtryk.

Væskeindholdet i absorberen og den indvendige varmeovergang (absorber/væske) hører til transportsystemet, pkt. 3. Væskeindholdet har betydning for fx opvarmningstiden og udtrykkes ikke ved solfangerens effektivitetsudtryk der gælder for stationære forhold. Den indvendige varmeovergang afhænger af flowet i solfangeren og er altså ikke en egenskab ved solfangeren.

Effektivitetsudtrykket gælder kun ved det flow der var på prøvestanden, for visse konstruktioner kan varmeovergangen ændre sig meget når flowet ændres.

ad 2) Solindfaldet bestemmes af en række forhold som omtalt i kapitel 5, herunder hældning, orientering, skyggeforhold, jordrefleksion og evt. om solfangerne står i rækker eller drejer efter solen. Alle disse er i almindelighed indbyrdes afhængige. For eksempel er betydningen af orienteringen afhængig af den hældning der er på tale, og betydningen af jordrefleksionen helt afhængig af hældningen.

Som det fremgår af kapitel 5 er betydningen af solindfaldet også afhængig af den temperatur solfangeren arbejder ved og af solfangerens effektivitet (fx figur 5.5).

Det betyder alt i alt at man ikke kan sige at en solfanger giver så mange procent mindre når orienteringen afviger så meget fra syd, og så mange procent mindre når hældningen er 75° og ikke 45° , og så mange procent mindre pga. skygge. Og så addere disse ting til en samlet procent-reduktion i ydelse. Der må foretages en beregning hvor både hældning og orientering ændres samtidig.

Med edb kan man simulere ydelsen med alle tænkelige kombinationer af data, men det fører let til at man helt mister overblikket og bruger tid og andre ressourcer på helt overflødige beregninger. En af ideerne med diagrammerne er at give mulighed for at få et visuelt indtryk af hvorledes de faktorer der vedrører solfangerdelen hænger sammen. Det vil være værdifuldt, især i idéfasen og ved skitseprojektering, hvor det er helt afgørende med overblik og hurtige svar.

Fordelingen over året af energiproduktionen fremgår af diagrammerne i bilag A. Denne er meget afhængig af hældning og orientering og af solfangereffektiviteten, som det vil fremgå. Man skal være opmærksom på at der i disse beregninger ikke er regnet med skygge fra

foranstående ting, bortset fra beregningerne med solfangere i række efter hinanden. Er der skygge fra omgivelserne, vil det som regel kun påvirke ydelsen i vintermånederne og således helt ændre på fordelingen af energiproduktionen over året. Se afsnit om skygge. I solvarmeanlæg, hvor der er en overskudsproduktion om sommeren, kan det være fordelagtigt at vælge en hældning der giver en lavere årsproduktion, men en mere gunstig fordeling over året.

ad 3) Transportsystemet omfatter rent fysisk det indre af absorberen, rørsystemet mellem solfangere og lager, og varmeveksleren til lageret. Systemets opførsel er bestemt af styresystemet (start- og stopdifferens), af flowet i kredsen, lagertemperaturen og omgivelsestemperaturen til rørsystemet.

De tab der fås fra rørsystemet afhænger sådan set principielt af alle disse ting, men i diagrammerne i Bilag A er styresystemet, flowet i kredsen, solfangerens varmekapacitet, varmeveksleren og omgivelsestemperaturen (udetemperaturen) ens for næsten alle diagrammer.

Det er selvfølgelig begrundet i at disse har en mindre betydning, med mindre de antager ekstreme værdier, sådan som det også fremgår af kapitel 5. Eksempelvis vil en enorm varmekapacitet for absorberen påvirke driftstiden så meget at tabene ændres. Tilsvarende hvis start- og stopdifferenserne er meget atypiske. Men der er her snarere tale om fejltilstande der er uden interesse i denne sammenhæng.

Hvordan diagrammerne bruges

Af diagrammerne aflæses ydelsen for en bestemt solfanger under bestemte forhold, i årets 12 måneder ved temperaturer mellem 0°C og 100°C , med intervaller på 20°C .

Nu er det jo ikke alle kombinationer af solfangere og hældninger, orienteringer mv. der er med, langt fra. I de fleste tilfælde vil det da være tilstrækkelig nøjagtigt at finde det diagram der ligger i nærheden af det ønskede. Man må her prioritere efter følgende rangorden - vigtigst er solfangerens effektivitet, derefter hældningen og som nr. 3 orienteringen.

Det er vanskeligt at forudsige ydelsen af et solvarmeanlæg, især fordi forbruget ofte er dårligt kendt, men også fordi mange af de indgående parametre er usikre. Man kan derfor diskutere hvor fornuftigt det er at angive en beregnet eksakt ydelse. I hvert fald må man altid gøre opmærksom på at ydelsen er knyttet til et bestemt forbrug.

Ydermere er der en række andre ting der gør at ydelsen bliver anderledes end forudsagt, solindfaldet der som regel er lavere, driftsproblemer, skygger der ikke er taget højde for, kondens i solfangeren osv., ting der i reglen trækker i retning af en lavere ydelse.

Spørgsmålet er om man kan tillade sig altid at se bort fra disse forhold. Man kunne måske finde frem til en skønsmæssig ansat faktor der sådan i gennemsnit tager højde for ikke ideelle forhold som alm. skygge, kondens, snavs på dæklaget, sne på solfangeren, driftsforstyrrelser, reparationer.

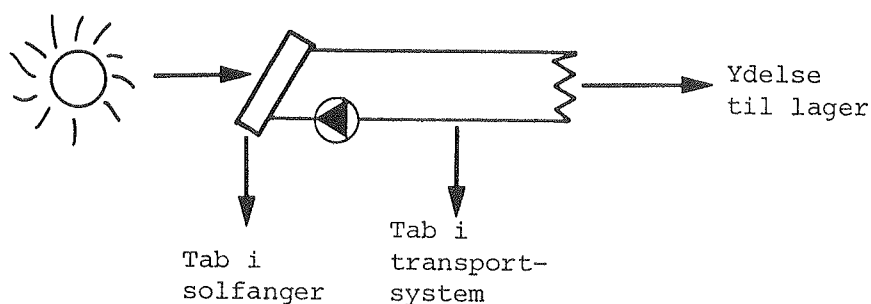
Den beregnede ydelse gælder jo også for anlægget som det opføres, med tiden sker der en vis nedbrydning og forringelse, som man ikke bare kan se bort fra. Den selektive overflade forringes, evt. plastdæklag gulner, visse isoleringsmaterialer nedbrydes delvis og andre ting måske. Før-omtalte faktor kunne også indeholde dette.

Alt i alt er den absolutte ydelse vanskelig at bestemme. Det er derfor meningsløst at bruge for mange gode kræfter på at bestemme den "så nøjagtigt som muligt". De relative forskelle er ofte mere betydningsfulde, og i hvert fald er

de mere nøjagtigt bestemt. Man kan være ret sikker på at hvis hældningen ændres fra 30° til 60° , så ændres fordelingen af produktionen over året sådan som det fremgår af diagrammerne. Og hvis rørsystemets længde forøges, så koster det så og så mange kWh. Og hvis varmevekslerens overflade fordobles, så forøges ydelsen med så og så mange procent, hvorimod det er vanskeligt at sige hvor meget det så er.

Man kan sige at den absolutte ydelse af anlægget tjener til beslutningen - om anlægget overhovedet skal opføres, hvorimod alle de relative forskelle tjener til at fastlægge anlæggets nærmere udformning.

Vi har altså et system der ser sådan ud:



Der er et vist solindfald på solfangeren. Der er et tab i solfangeren, bestemt ved solfangerens effektivitet. Og der er et tab i transportsystemet, bestemt af rørsystemets data og af styresystemet, af flowhastigheden og det indre af absorberen.

Det følgende handler om den indbyrdes afhængighed af disse tab. Det er de absolutte tab der er på tale.

Tabet i solfangeren er helt afhængigt af lagertemperaturen. Jo mindre effektiv solfangeren er, jo mere afhænger tabet af temperaturen.

Tabet i transportsystemet er også helt afhængigt af lagertemperaturen. Tabet bestemmes primært igennem rørsystemets data (varmetab og varmekapacitet). Sekundært afhænger tabet af styresystemet, flowet i kredsen, solfangerens varmekapacitet, varmevekslerstørrelsen og endelig af hvilken væske der er i kredsen. Kun hvis disse afviger meget fra værdier i figur 5.1, vil dette have betydning.

Tabet i solfangeren er uafhængigt af transportsystemet. Det betyder at en ændring af rørsystemet ikke påvirker ydelsen fra solfangeren til rørsystemet.

Tabet i transportsystemet derimod afhænger af solfangerens effektivitet ved konstant lagertemperatur. Det ligger i at solfangerens effektivitet har betydning for driftstiden, som har betydning for transmissionstabet fra rørsystemet. Det betyder altså at tabet i rørsystemet ændres når solfangeren ændres. Det vil især have betydning ved højere temperaturer hvor driftstiden ændres meget. Her vil tabet, det absolutte tab, i rørsystemet stige når solfangerens effektivitet stiger. Ved lave temperaturer er effekten langt mindre, men her er det for så vidt meningsløst at anvende en højeffektiv solfanger.

Korrektion af ydelsen for flow, varmevekslerstørrelse og absorbereffektivitet

Som det fremgår af figur 5.32 og figur 5.35 er den procentvise reduktion, der fås i ydelsen fra solfangeren som følge af en ændring af flowet og varmevekslerens størrelse, praktisk taget uafhængig af lagertemperaturen. Dette hænger sammen med udtrykket for solfangerens ydelse:

$$q_u = F' F'' F''' (I \cdot (\tau\alpha)_e - U_L(T_{ak} - T_a))$$

hvor q_u er ydelsen i W/m^2

F' er absorbereffektiviteten

F'' er flowfaktoren

F'''	er varmevekslereffektivitetsfaktoren
I	er solindfaldet W/m^2
$(\tau\alpha)_e$	er transmissions-absorptionsproduktet for solfangeren
U_L	solfangerens varmetab $W/^\circ C \cdot m^2$
T_{ak}	er lagertemperaturen
T_a	er lufttemperaturen

Det fremgår at F' , F'' og F''' alle giver en konstant reduktion i den øjeblikkelige ydelse. Når årsydelsen ikke er helt uafhængig af temperaturen, skyldes det at ekstreme værdier vil påvirke driftstiden.

Som det fremgår af figur 5.1 gælder diagrammerne for:

$$U_L = 5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C : F' = 0,95, F'' = 0,93, F''' = 0,96$$

$$U_L = 1,2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C : F' = 0,95, F'' = 0,98, F''' = 0,99$$

eller produktet $F_R' = F' \cdot F'' \cdot F''' = 0,85$ og $0,92$

Bemærk at F_R' stiger når solfangerens effektivitet øges, uanset at varmeveksler og flow ikke ændres.

Der er her set bort fra at F' også afhænger af U_L . Det er urealistisk, for $U_L = 1,2$ burde F' have været $0,98$ eller $0,99$, hvis der er tale om den samme absorber. Alternativt kunne afstanden mellem rørene i absorberen øges.

I beregningerne indgår kun produktet F_R' , det er derfor ligegyldigt hvilke(n) af F' erne det er der skal korrigeres for. Der gælder da følgende for diagrammerne i bilag A:

$$\text{Ny ydelse} = \text{gammel ydelse} \times \frac{\text{Ny } F_R^1}{0,85}$$

og dette gælder altså både for årsydelsen og for månedsydelsen og ved alle lagertemperaturer.

F' er mest en geometrisk egenskab ved absorbereren, fx udtrykt ved afstanden mellem væskekanalerne der bestemmer hvor svært det er for varmen at komme fra absorbereren til væsken. Men F' er også afhængig af U_L og af den indvendige varmeovergang i væskekanalerne. I visse tilfælde er denne sidste helt afgørende, og F' er da også afhængig af flowet i solfangerkredsen.

Man vil lede forgæves i prøverapporter efter F' , og man er henvist til skønnede værdier. For en solfanger af typen kanal-plade, rullesvejst, vil F' være meget tæt på 1,0. For en solfanger af strip-typen (0,5 mm aluminium) med en rørafstand på 15 cm vil F' være ca. 0,92. For plastsolfangere kan F' blive meget lav pga. den dårlige varmelednings-evne i plast. Med rør der sidder helt tæt vil den være høj, også med plast.

Vedr. F'' og F''' , henholdsvis flowfaktoren og varmeveksler-effektivitetsfaktoren, henvises til litteraturen, fx ref. 6.1 og 6.2. Man skal være opmærksom på at en ændring af varmevekslerstørrelsen kun ændrer på F''' , mens en ændring af flowet i kredsen både ændrer på F'' og F''' .

For tømmesystemer er $F''' = 1,00$. Det gælder så at ydelsen med solfangeren $U_L = 5,0$ forøges med ca. 4% ($1,00 - 0,96$), mens den med den højeffektive solfanger kun forøges med 1% ($1,00 - 0,99$), idet den ekstra temperaturstigning har mindre betydning for den mere effektive solfanger.

Betydning af lagerstørrelsen ved anvendelse af diagrammerne

Den udnyttede ydelse man får af anlægget afhænger af hele systemet. Diagrammerne angiver den ydelse man får ved en bestemt temperatur hvis denne temperatur er konstant. Det svarer fx til et forbrug ved den pågældende temperatur der altid er større end solenergiproduktionen. Eller det svarer til at energien leveres til et stort lager hvor temperaturen ændres langsomt.

I systemer med typiske døgnsvingninger hvor solenergien opsamles og gemmes i kortere perioder i et lager med store temperatursvingninger inden for et døgn vil tab i systemet af enhver art tendere til at have mindre betydning. Det hænger sammen med at et tab et sted vil bevirke en lavere lagertemperatur, der giver en højere effektivitet af solfangeren således at noget af det tabte så at sige indhentes.

Det gælder dog kun så længe temperaturen i lageret ikke kommer under et niveau som slet ikke kan udnyttes. Ved et brugsvandsanlæg kan der tappes fra lageret ned til 10°C , koldtvandstemperaturen, et temperaturfald fra 45 til 35°C bevirker derfor kun en dårligere udnyttelse. Hvis varmen derimod skal bruges ved en temperatur på fx over 40°C , returen i fjernvarmenet, vil alt være tabt så snart temperaturen kommer under 40°C .

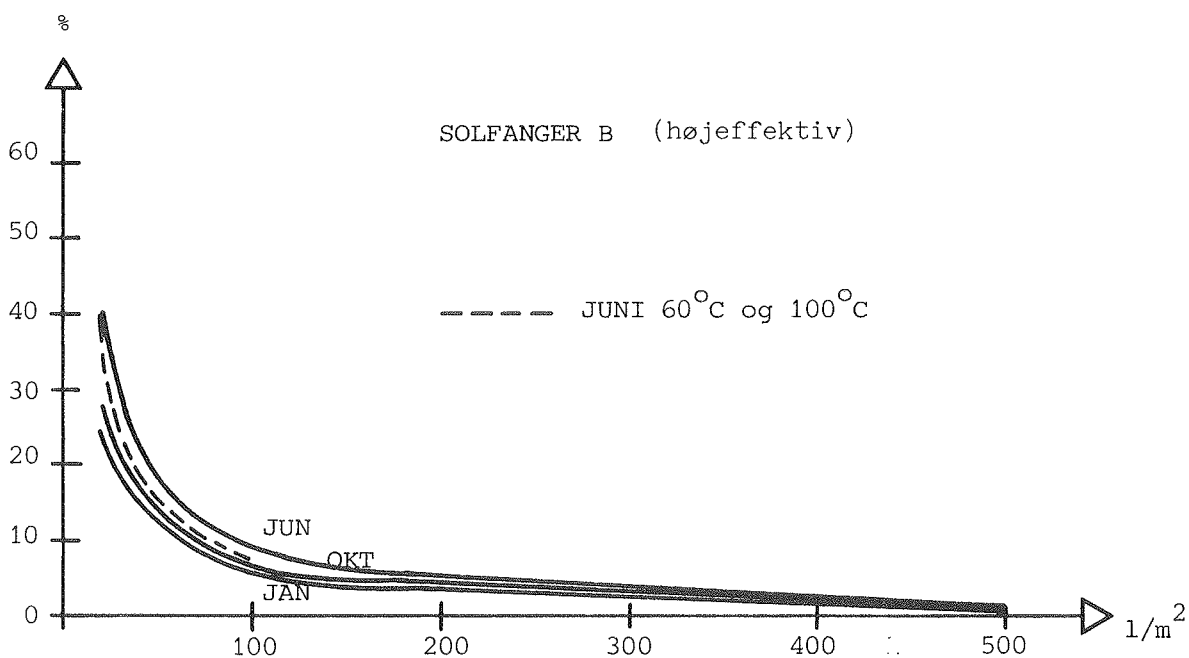
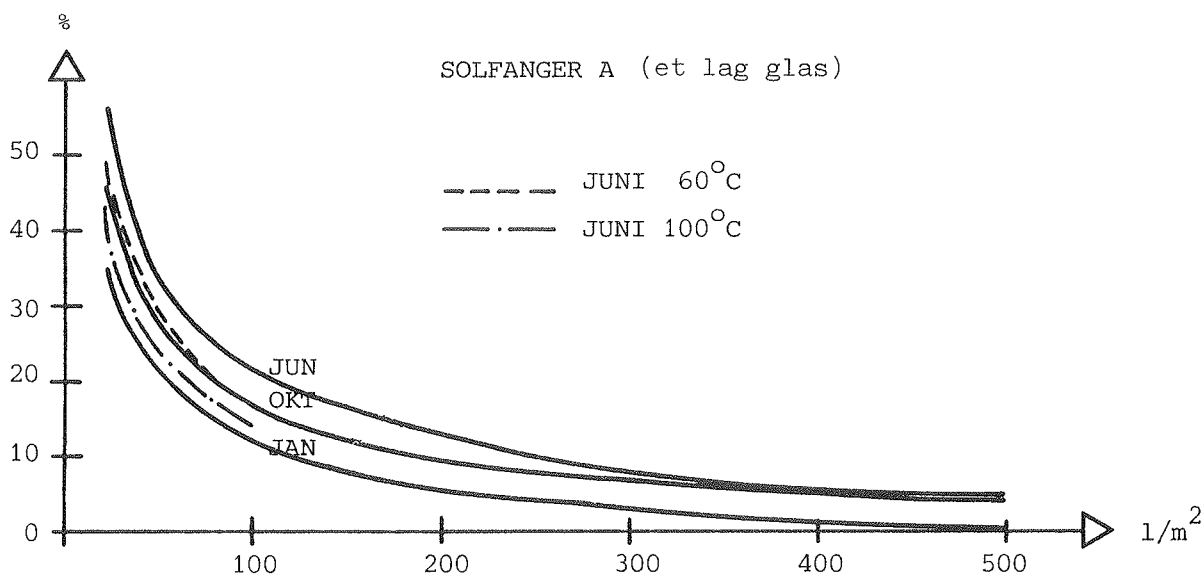
Figur 6.2 viser hvorledes lagerstørrelsen influerer på ydelsen. Det er vist hvor mange procent den månedlige ydelse reduceres som funktion af lagerstørrelsen for forskellige temperaturer og måneder. Det gælder at lagertemperaturen hver morgen er sat til den angivne temperatur, og at der ikke forbruges fra lageret dagen igennem mens der produceres solvarme. Det svarer til et anlæg hvor hele forbruget ligger om aftenen og om natten, og hvor der aldrig "gemmes" til dagen efter.

Det fremgår at den procentvise reduktion af ydelsen der fås ikke afhænger særlig meget af hvilken måned og hvilken temperatur der er på tale. Derimod betyder solfangerens effektivitet en del.

Det hænger jo sammen med at den mere effektive solfangers ydelse ikke falder så meget ved en stigende temperatur.

Kurverne viser altså hvor meget ydelsen falder pga. temperaturstigning i lageret, relativt til den situation at lageret er uendelig stort, eller at den producerede energi an-

vendes ligeså hurtig som den produceres dagen igennem og ikke gemmes til om aftenen.



Figur 6.2. Betydningen af lagerstørrelsen for ydelsen med solfanger A og B. Se forklaring i teksten. De fuldtotrukne linjer gælder for 40°C.

SUMMARY

Tables and diagrammes to make a quick determination of the thermal performance of large solar heating systems have been developed. The thermal performance can be found as a function of the heat storage temperature. Different system designs, shadow conditions, earth reflections, tilts of the solar collectors, etc. can be taken into consideration.

Further, diagrammes for dimensioning the pipe systems, for determination of the flow distribution in the solar collector array have been developed. The suitability of different system designs and control systems can be elucidated.

The tables and diagrammes are especially suitable in connection with the sketch planning of large solar heating systems, either in combination with other energy sources, in connection with seasonal solar heat storage, in connection with heating of the return pipe in a district heating plant or in connection with low temperature heat utilization in the industry.

Furthermore, many of the diagrammes are also suitable for large solar heating systems for domestic hot water supply, for solar heating systems for heating of swimming pools and for small solar heating systems for domestic hot water supply.

REFERENCER

- 2.1 Kutscher, C.F.: Design approaches for solar industrial process heat systems. Nontracking and line-focus collector technologies. SERI TR253-1356. 1982.
- 2.2 Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage. Basic performance, cost, and operation of solar collectors for heating plants with seasonal storage. IEA, task VII. May 1983.
- 2.3 Samtale med Finn Yding, Korrosionscentralen i Glostrup.
- 3.1 Mikkelsen, S.E.: Ydelser og erfaringer med 31 solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 86-1.
- 3.2 Solvarmecentraler med nyudviklet højeffektiv solfanger. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 88-12.
- 3.3 Tysk firma med plan evakueret solfanger.
- 3.4 Svendsen, S. og K.I. Jensen: Flat plate solar collector with monolithic silica aerogel. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole, Paper fra ISES Solar World Congress. September 1987.
- 3.5 Lawaetz, H. og P. Vejsig Pedersen: Effektive økonomiske solfangere. Konstruktion og prøvning af stativmonterede og tagintegrerede solfangere. Teknologisk Institut, Tåstrup. 1985.
- 3.6 Vejsig Pedersen, P.: Effektive økonomiske solfangere. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 85-18.
- 3.7 Lawaetz, H.: Stor solfanger. Udformning og styrkeberegning af en stor solfanger på stativ. Teknologisk Institut, Afd. for Varme- og Installationsteknik. Notat 85:3.
- 3.8 Andreassen, K. og S.Aa. Svendsen: Udredning vedrørende perspektivet for marksolfangere. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 87-7.
- 3.9 Svendsen, S.Aa.: Solvarmesæsonlager med flydende solfanger. Forslag til udformning af en flydende solfanger. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 79-13.
- 3.10 Kofod, P. og J. Hvid: Effektundersøgelse af koncentrerende solfangere (CPC), Teknologirådsrapport - WUS. 1985.

- 4.1 Carl Bisgård: Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for prøvestationen for solvarmeanlæg. Fabrikat: Sunvex APS. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole.
- 4.2 Carl Bisgård: Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for prøvestationen for solvarmeanlæg. Fabrikat: Batec. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 82-20. Marts 1982.
- 4.3 Carl Bisgård: Effektivitetsprøvning af solfanger foretaget for prøvestationen for solvarmeanlæg. Fabrikat: Dansk Solvarme. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 83-11. Maj 1983.
- 4.4 Lars Mandrup Jensen: Dimensionering og optimering af store solfangerarealer. Eksamensprojekt ved Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. December 1985.
- 4.5 V og S Priser. Husbygning 86. V og S Byggedata a/s. 1986.
- 4.6 Saltum Fjernvarmeværk A.M.B.A. Skitseprojekt. 1100 m² solvarmeanlæg til fjernvarmeforsyning. Nellesmann, rådgivende ingeniører og planlæggere. August 1986.
- 4.7 Andersen, E.B.: Pumpeståbi. Teknisk Forlag, København 1986.
- 4.8 VVS Handboken. Tabeller och diagram. Stockholm, forlag AB VVS, Stockholm 1974.
- 4.9 Bøhm, B. og P.K. Jensen: Fjernvarme 2. Projektrapport. Danske Fjernvarmeværkers Forening. November 1981.
- 4.10 Becher, P.: Varme- og ventilation 2. Teknisk Forlag. Kbh. 1972.
- 4.11 Sørensen, L. Halling og H.V. Woven: VVS ståbi. Teknisk Forlag, København 1979.
- 5.1 Mikkelsen, S.E. og L.S. Jørgensen: Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på to års målinger på anlæg i Greve og Gentofte. Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 15. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Meddelelse nr. 112. 1981.
- 5.2 Nielsen, J.E.: Brugervejledning til BSOL. Program til beregning af solvarmeanlæg til brugsvand. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 83-25.
- samt Nielsen, J.E.: Dokumentation af BSOL. Program til beregning af solvarmeanlæg til brugsvand. Laborato-

riet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Rapport nr. 83-26.

- 5.3 Andersen, B.: Vejrdata for VVS og energi. Dansk Referenceår TRY. Statens Byggeforskningsinstitut. SBI-rapport 135, 1982.
- 5.4 Svendsen, S.: Solfangeres effektivitet målt og beregnet. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Meddelelse nr. 109. 1981.
- 5.5 Passiv solvarme - projekteringsvejledning. Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 30. Teknologisk Institut og Laboratoriet for Varmeisolering. 1985.
- 5.6 Mikkelsen, S.E.: Influence of dynamic effects on useful solar output. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Notat 1982.
- 6.1 Solvarme - vejledning i projektering og udførelse af anlæg. Teknologisk Institut. 1980.
- 6.2 Duffie, J.A. og W.A. Beckman: Solar engineering of thermal processes. New York 1980.

STIKORDSREGISTER

Beregningsmodel	s. 77 f
Bufferlager	s. 52
Dimensionerende flow	s. 10, 52, 124
Driftskontrol	s. 8
Erfaringer fra udlandet	s. 10
F , F og F	s. 130, 156
Flowfordeling	s. 11, 23 ff
Glastemperatur	s. 9
Holdbarhed	s. 4
Hældningens betydning for årsydelsen	s. 84 ff
Jordrefleksionens betydning for årsydelsen	s. 88 f
Kapacitetstab, fast lagertemperatur	s. 110 ff
Kapacitetstab, varierende lagertemperatur	s. 120 ff
Kavitation i pumpe	s. 48
Kogning i solfangerkreds	s. 16, 71
Linearisering af solfanger-effektivitetskurve	s. 83
Low flow anlæg	s. 13, 124
Luftudlader, placering af	s. 70
Maksimal temperatur i trykssystem	s. 46
Optimal hældning	s. 103, 104
Opvarmning af rør med morgensol	s. 14, 49, 116, 119 ff
Orienteringens betydning for årsydelsen	s. 88
Placering af pumpe	s. 47, 57, 70
Pumpe	s. 42, 55, 70
Påfyldningsstuds, placering af	s. 70
Referenceværdier solfanger A og B	s. 75
Refleksområde foran solfanger	s. 92 ff
Rørdimension, bestemmelse af	s. 23 ff, 32 f, 66 f
Rørdimension, under hensyntagen til pumpeenergi	s. 37 ff, 42
Simpel styring	s. 13, 127
Skygger for solfangeren, reduktion i ydelse	s. 130 ff
Solfangere	s. 17 ff
Solfangere, der drejer efter solen	s. 101 ff
Solfangere, flydende	s. 21
Solfangere, højeffektive	s. 17
Solfangere i rækker	s. 96 ff, 105, 107
Solfangere, små	s. 17
Solfangere, store	s. 19
Solfangere, på stedet opbygget	s. 20
Solfangere, på mark	s. 20, 105, 106
Solfangere, uden dæklag	s. 21
Solfangeres ydelse	s. 73 ff, 151 ff
Solfangerkreds	s. 4 f
Solfangernes effektivitet, betydning	s. 130
Start- og stopdifferens	s. 25 ff
Styring af flow i solfangerkreds	s. 12 f, 124, 125
Systemudformning	s. 6 ff, 31, 74, 76
Termisk udvidelse	s. 5
Tilnærmelser og forudsætninger for beregninger	s. 77 ff
Transmissionsledning	s. 49 ff

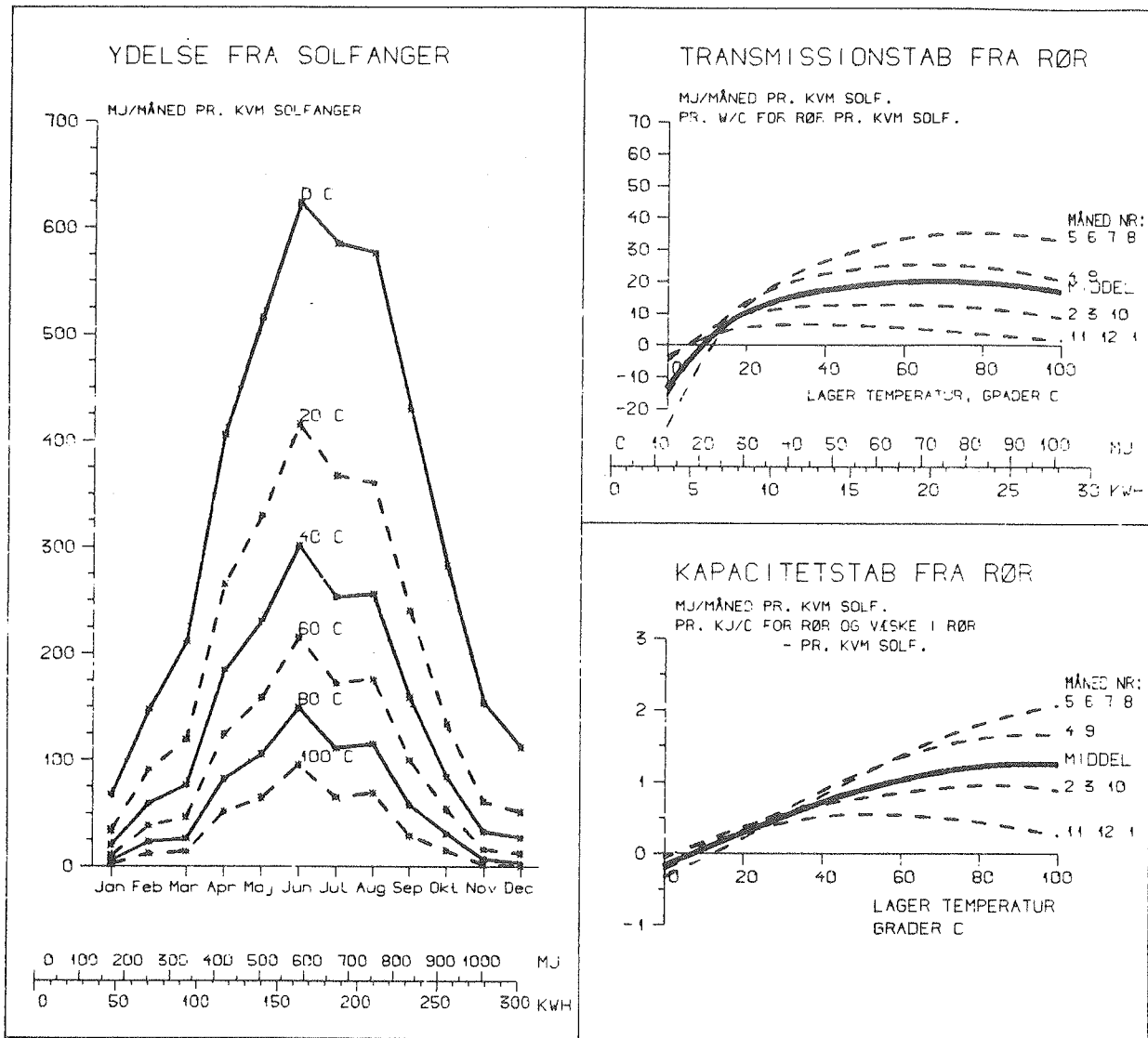
Transmissionstab, fast lagertemperatur	s. 108 ff
Transmissionstab, varierende lager- temperatur	s. 120 ff
Trykekspansion	s. 44 ff, 49
Trykforhold i solfangerkreds	s. 44
Tømmesystem	s. 5, 52
Udluftning, dimensionering af rør	s. 66 f
Udluftning, dimensionering af rør til luftpotte	s. 62
Udluftning, praksis	s. 58 ff
Udluftning, resumé af regler	s. 68 ff
Udluftning, teori	s. 53 ff
Udluftning under drift	s. 64 f
Udluftning ved påfyldning	s. 64
Undertryk i rørsystem	s. 45, 55
Variabelt flow	s. 124
Varmekapacitet af rør	s. 115
Varmekapacitet i rørsystem	s. 5, 11, 42, 49 108 f, 120
Varmekapacitet i solfangeren	s. 107 f
Varmetab fra rør	s. 10, 111, 112
Varmetab fra ventiler mv.	s. 113
Varmevekslerens størrelse	s. 128 f
Ydelsesdiagrammer	s. 148 ff
Ydelsesdiagrammer, betydning af lager- størrelse	s. 158 f
Ydelsesdiagrammer, brug	s. 153 f
Ydelsesdiagrammer, eksempel på brug	s. 149 f
Ydelsesdiagrammer, korrektion for flow, varmeveksler og absorbereffektivitet	s. 156 ff
Åben ekspansion	s. 44 ff, 49, 55

Liste over ydelsesdiagrammer

Solfanger			
Nr.	Start-effektivitet	Varmetabs-koefficient	Variation
1	0,85	5,00	Referencesolfanger A
2	0,76	1,20	- B
3	1,00	0,01	
4	0,90	1,00	
5	0,90	3,00	
6	0,90	5,00	
7	0,90	10,00	
8	0,90	15,00	
9	0,80	0,01	
10	0,80	1,00	
11	0,80	3,00	
12	0,80	5,00	
13	0,80	10,00	
14	0,70	1,00	
15	0,70	3,00	
16	0,70	5,00	
17	0,70	10,00	
18	0,50	0,01	
19	0,50	1,00	
20	0,50	3,00	
21	0,50	5,00	
22	0,80	0,50	Lagertemperatur 100-500°C
23	0,80	1,00	do
24	0,70	0,50	do
25	A		Hældning 0° (vandret)
26	A		- 15°
27	A		- 30°
28	A		- 45°
29	A		- 60°
30	A		- 75°
31	A		- 90° (lodret)
32	B		- 0°
33	B		- 30°
34	B		- 60°
35	B		- 90°
36	A		Orienteret 67° fra syd, hældning 30°
37	A		- 90° - - - 30°
38	A		- 67° - - - 60°
39	A		- 90° - - - 60°
40	A		- 67° - - - 90°
41	A		- 90° - - - 90°
42	B		Orienteret 67° fra syd, hældning 60°
43	B		- 90° - - - 60°
44	B		- 67° - - - 90°
45	B		- 90° - - - 90°
46	A		Jordrefleksion 1,00 hældning 90°
47	B		- 1,00 - 90°
48	A		Refleksskærm, hældning 75°
49	A		- - 90°
50	A		Solf. i række, A/L = 1,0, hældning 30°
51	A		- - - A/L = 2,0, - 30°
52	A		Drejer vandret og lodret efter maks. solindfald
53	A		Drejer vandret efter solen, hældning 75°
54	B		Drejer vandret og lodret efter maks. solindfald
55	B		Drejer vandret efter solen, hældning 75°
56	A		Drejer vandret, rækker, A/L = 1,0, hældning 45°
57	A		Drejer vandret, rækker, A/L = 2,0 - 45°
58	A		Absorberens varmekapacitet 50 kJ/°C pr. m ³
59	A		Flow i solfangerkreds 0,15 liter/min pr. m ²
60	A		Startdifferens 30°C
61	A		Omgivelsestemperatur 20°C

1.

REFERENCESOLFANGER A Selektiv solfanger, et lag glas, se fig. nr. 5.1



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3133.	1977.	1381.	947.	619.	373.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	979.	495.	304.	180.	99.	49.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4112.	2471.	1686.	1127.	718.	422.	MJ/M2

	870.	549.	384.	263.	172.	104.	
YDELSE SOMMER YS(T)	870.	549.	384.	263.	172.	104.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	272.	137.	85.	50.	27.	14.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1142.	687.	468.	313.	199.	117.	KWH/M2

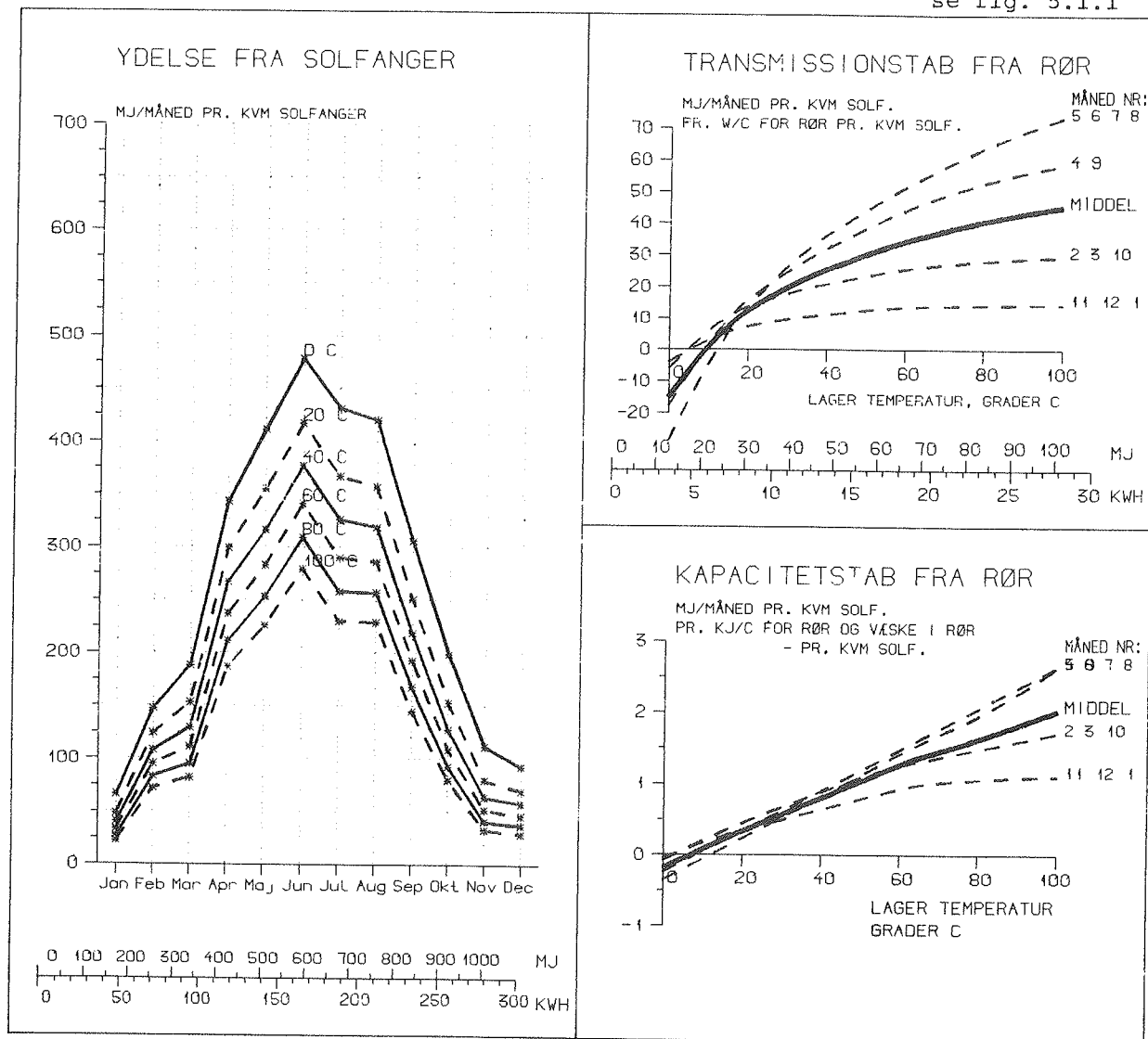
	7072.	2736.	1794.	1305.	947.	649.	
DRIFTSTID	7072.	2736.	1794.	1305.	947.	649.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	96.	58.	39.	26.	17.	10.	PCT. AF TOT.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	20.	18.	16.	14.	12.	PCT. AF AARSY

	-1.6	2.0	4.9	8.5	13.2	19.5	
TRANS.TAB. INDEX	-1.6	2.0	4.9	8.5	13.2	19.5	PCT. V. 0.4 W
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.0	3.5	7.6	14.1	24.7	PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4112. -79. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

2.

REFERENCESOLFANGER B Højeffektiv solfanger med transparent isolering, se fig. 5.1.1



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2388.	2046.	1824.	1630.	1455.	1296.
YDELSE VINTER YV(T)	804.	627.	527.	446.	375.	317.
YDELSE AARET Y(T)	3192.	2674.	2351.	2076.	1831.	1614.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	663.	568.	507.	453.	404.	360.
YDELSE VINTER YV(T)	223.	174.	147.	124.	104.	88.
YDELSE AARET Y(T)	887.	743.	653.	577.	508.	448.

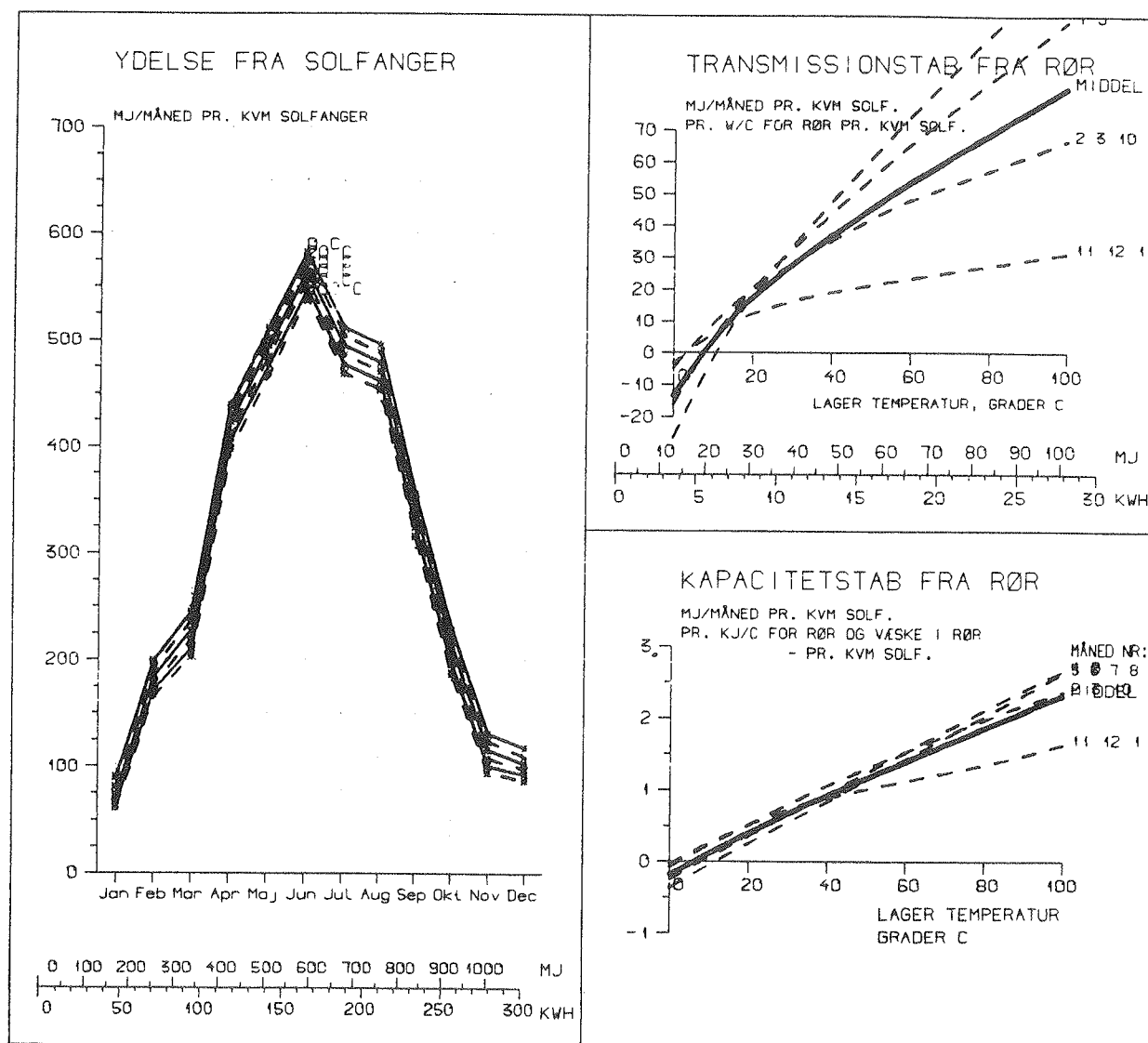
	7167.	3233.	2565.	2156.	1864.	1631.
DRIFTSTID	7167.	3233.	2565.	2156.	1864.	1631.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	75.	62.	55.	48.	43.	38.
PCT. I VINTERPERIODEN	25.	23.	22.	21.	21.	20.

	-2.3	2.2	5.2	7.9	10.7	13.4
TRANS.TAB. INDEX	-2.3	2.2	5.2	7.9	10.7	13.4
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.0	2.9	5.1	7.5	10.5

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3192. -25. *T + 0.10 *T**2 (MJ/M2)

3.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 1,0$ $k_0 = 0,01 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SØLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER	: 2896.	2848.	2797.	2747.	2694.	2643.	MJ/M2
YDELSE VINTER	: 1012.	965.	919.	875.	838.	800.	MJ/M2
YDELSE AARET	: 3908.	3813.	3717.	3622.	3533.	3443.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER	: 804.	791.	777.	763.	748.	734.	KWH/M2
YDELSE VINTER	: 281.	268.	255.	243.	233.	222.	KWH/M2
YDELSE AARET	: 1086.	1059.	1032.	1006.	981.	956.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	: 7308.	3835.	3461.	3227.	3043.	2913.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING	: 91.	89.	87.	85.	82.	80.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN:	26.	25.	25.	24.	24.	23.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	: -1.7	2.2	4.7	7.1	9.3	11.6	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	: -0.4	0.9	2.1	3.2	4.4	5.7	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

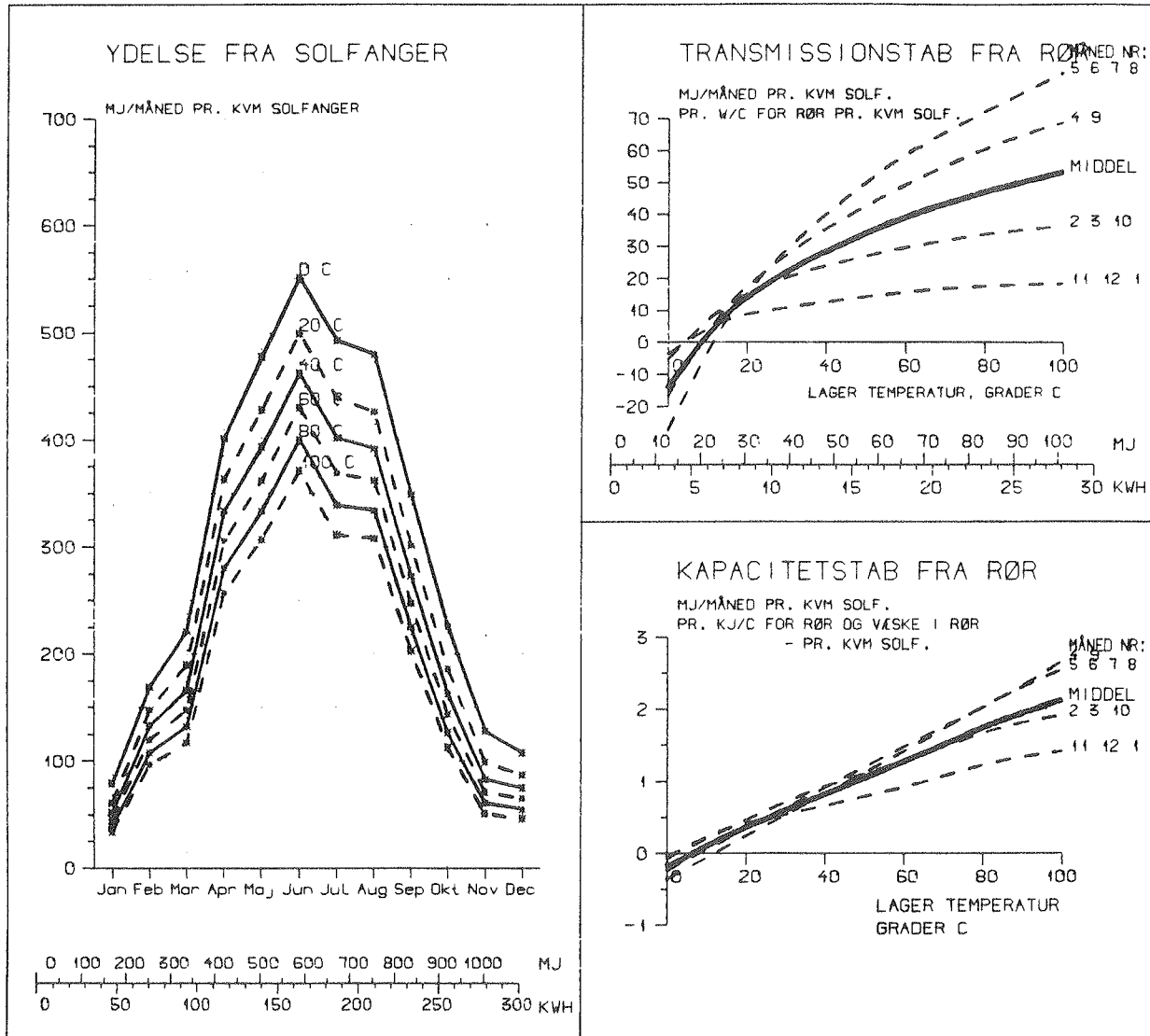
AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3908. -5. *T + 0.00 *T**2 (MJ/M2)

4.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

$n_o = 0,9$

$k_o = 1,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER	2751.	2456.	2255.	2075.	1911.	1758.
YDELSE VINTER	931.	770.	673.	592.	522.	458.
YDELSE AARET	3682.	3226.	2928.	2667.	2433.	2216.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER	764.	682.	626.	576.	531.	488.
YDELSE VINTER	259.	214.	187.	164.	145.	127.
YDELSE AARET	1023.	896.	813.	741.	676.	616.

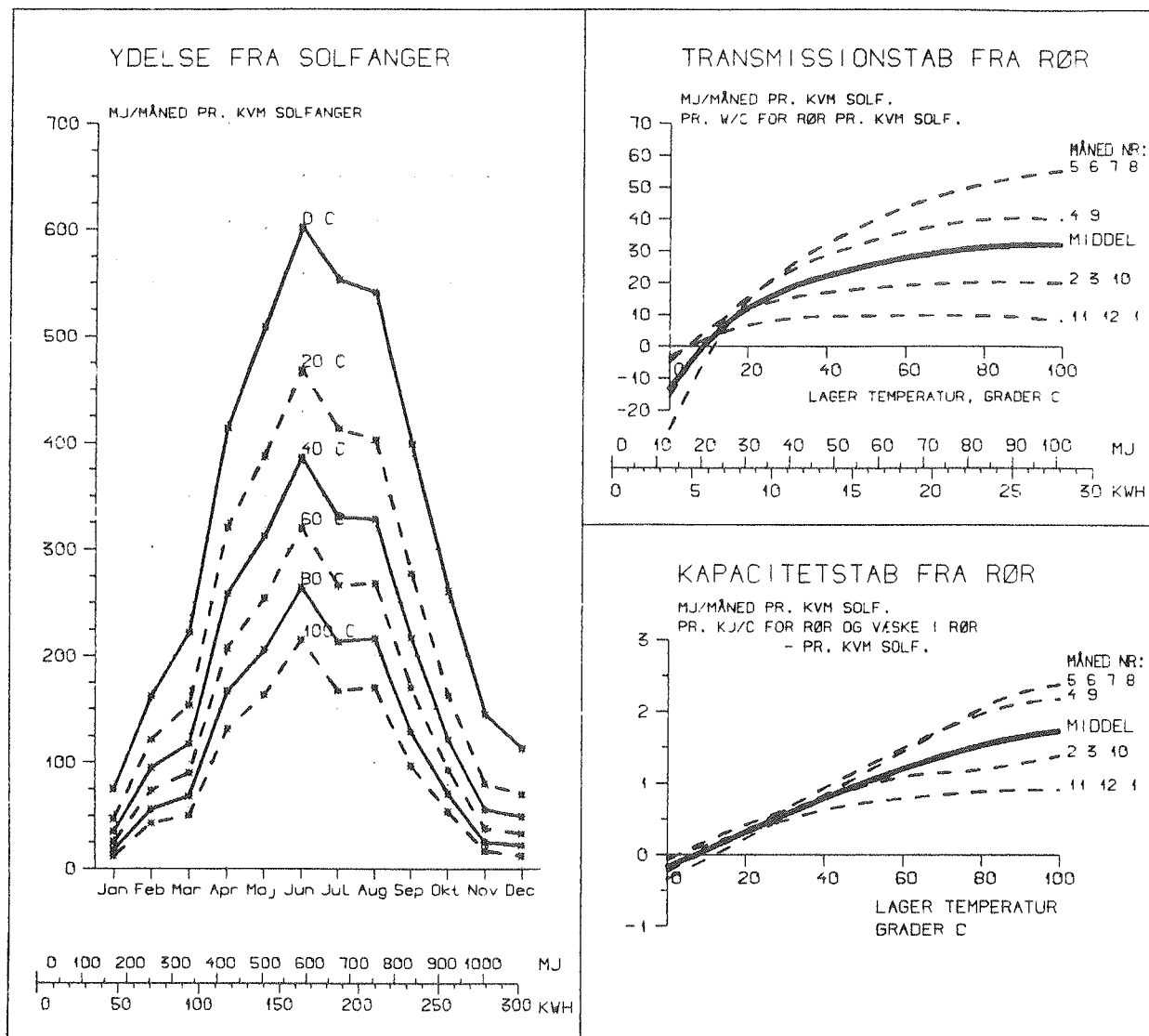
	7200.	3394.	2773.	2408.	2116.	1891.
DRIFTSTID	7200.	3394.	2773.	2408.	2116.	1891.
NYTTEVIRKNING	86.	75.	68.	62.	57.	52.
PCT. I VINTERPERIODEN:	25.	24.	23.	22.	21.	21.

	-1.8	2.1	4.6	7.0	9.3	11.5
TRANS.TAB. INDEX	-1.8	2.1	4.6	7.0	9.3	11.5
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.9	2.4	4.0	6.0	8.1

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3682. -22. *T + 0.08 *T**2 (MJ/M2)

5.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,9$ $k_0 = 3,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3017.	2267.	1833.	1485.	1194.	944.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	978.	635.	474.	354.	261.	188.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3995.	2903.	2307.	1840.	1454.	1132.	MJ/M2

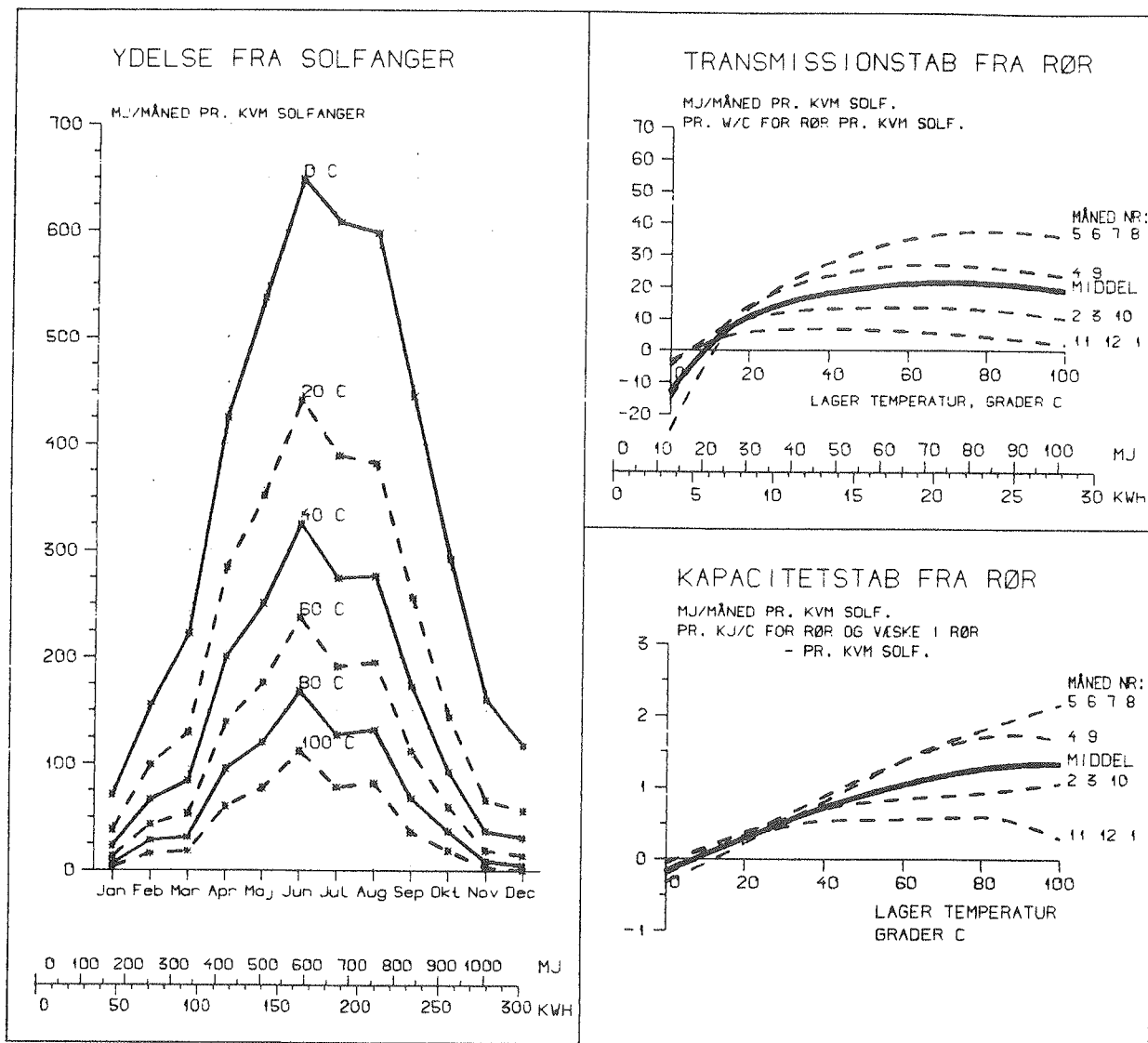
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	838.	630.	509.	413.	332.	262.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	272.	176.	132.	98.	72.	52.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1110.	806.	641.	511.	404.	314.	KWH/M2

	7157.	2990.	2203.	1750.	1436.	1175.	
DRIFTSTID	7157.	2990.	2203.	1750.	1436.	1175.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	93.	68.	54.	43.	34.	26.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	22.	21.	19.	18.	17.	PCT. AF AARSYDELSE

	-1.6	2.0	4.6	7.3	10.3	13.7	
TRANS.TAB. INDEX	-1.6	2.0	4.6	7.3	10.3	13.7	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.9	2.9	5.5	8.8	12.8	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3995. -53. *T + 0.26 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,9$ $k_0 = 5,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1189. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	3261.	2103.	1498.	1052.	710.	446.
YDELSE VINTER YV(T) :	1019.	530.	334.	202.	115.	59.
YDELSE AARET Y(T) :	4280.	2633.	1832.	1254.	825.	504.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	906.	584.	416.	292.	197.	124.
YDELSE VINTER YV(T) :	283.	147.	93.	56.	32.	16.
YDELSE AARET Y(T) :	1189.	731.	509.	348.	229.	140.

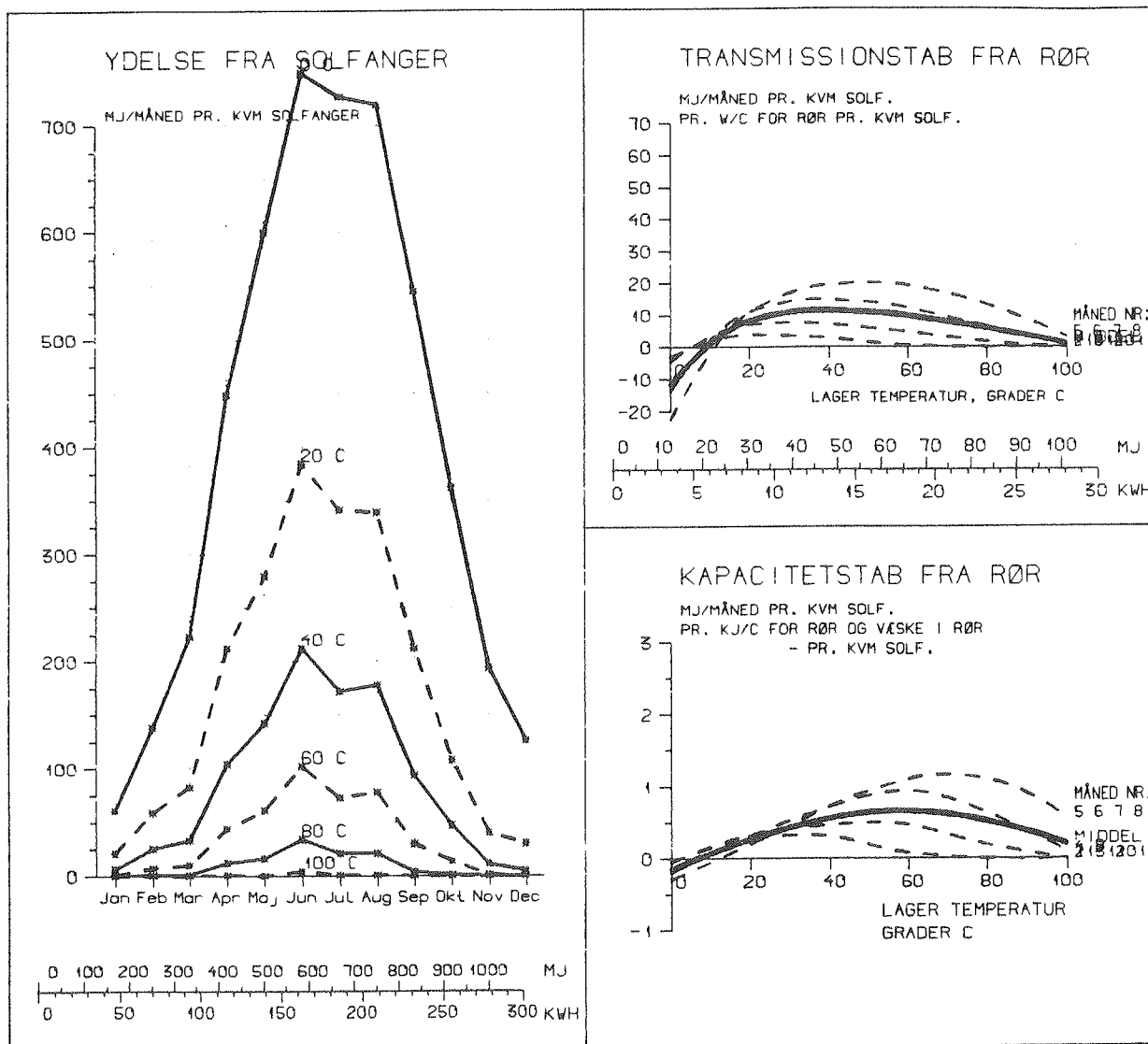
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7083.	2772.	1837.	1365.	1006.	715.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	100.	62.	43.	29.	19.	12.
PCT. I VINTERPERIODEN:	24.	20.	18.	16.	14.	12.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.5	2.0	4.7	8.1	12.3	18.1
KAP.TAB. INDEX :	-0.3	0.9	3.3	7.0	12.9	22.2

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4280. -79. *T + 0.45 *T**2 (MJ/M2)

7.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,9$ $k_0 = 10,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3789.	1768.	902.	389.	109.	7.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	1105.	341.	126.	32.	4.	0.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4894.	2109.	1028.	421.	112.	7.	MJ/M2

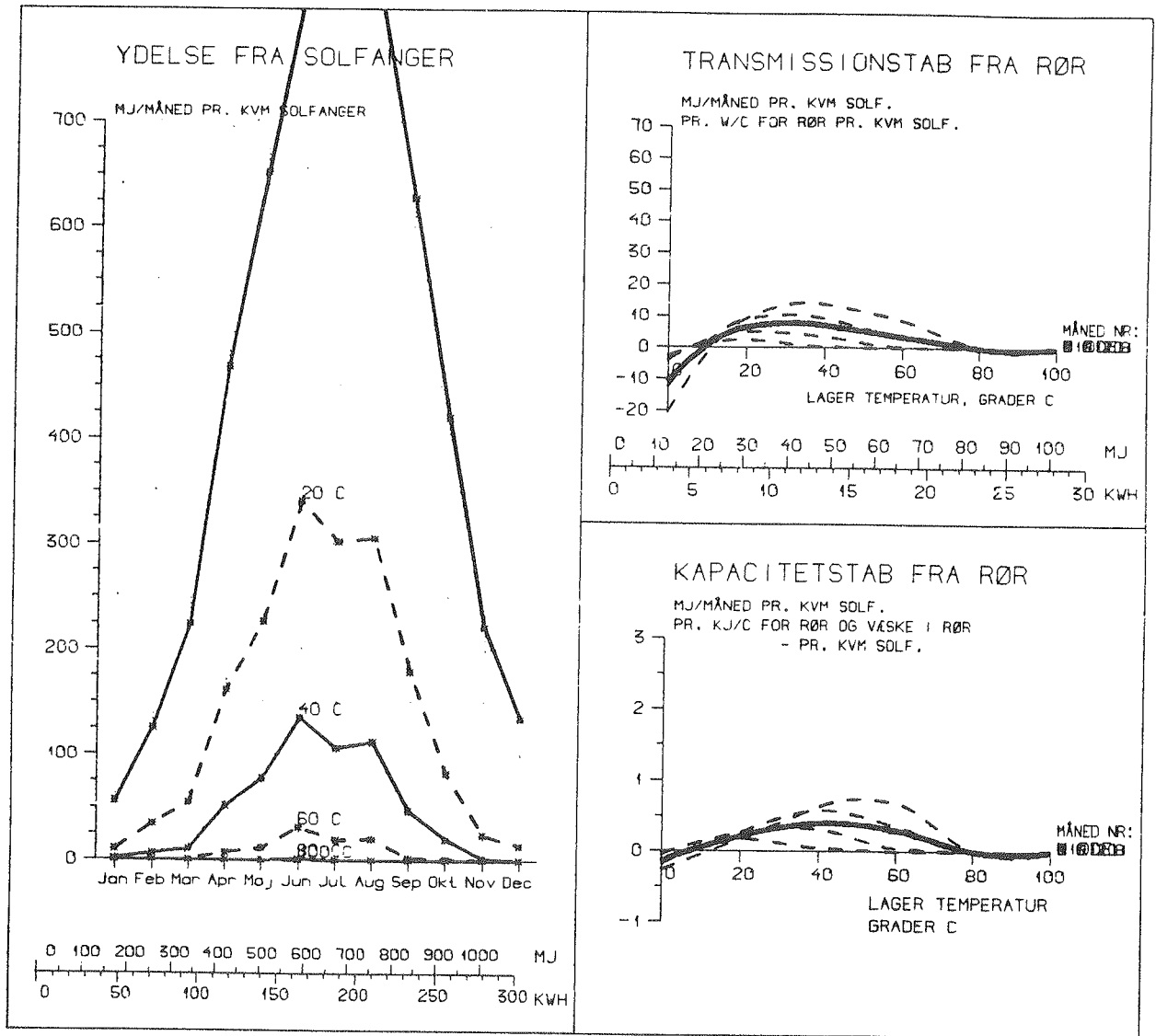
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1053.	491.	251.	108.	30.	2.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	307.	95.	35.	9.	1.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1359.	586.	286.	117.	31.	2.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	6909.	2327.	1270.	690.	305.	46.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	114.	49.	24.	10.	3.	0.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	23.	16.	12.	8.	3.	0.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.2	1.9	5.3	11.1	25.1	71.8	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.3	1.0	4.5	13.1	38.8	227.5	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4894. -134. *T + 0.92 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0.9$ $k_0 = 15.0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	4226.	1513.	527.	91.	1.	0.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	1178.	218.	38.	1.	0.	0.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	5404.	1731.	564.	92.	1.	0.	MJ/M2

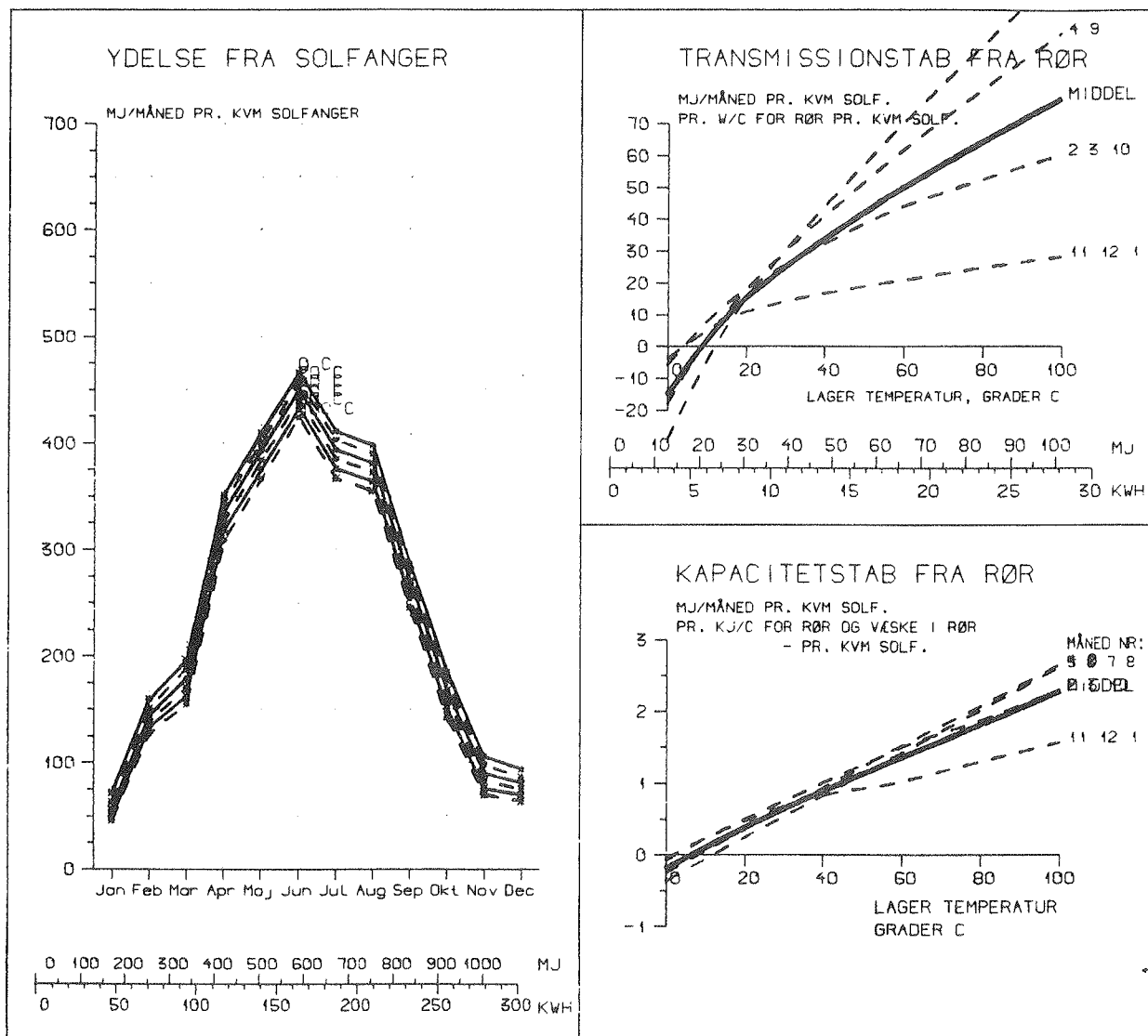
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1174.	420.	146.	25.	0.	0.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	327.	60.	10.	0.	0.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1501.	481.	157.	26.	0.	0.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	6838.	2036.	865.	274.	2.	0.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	126.	40.	13.	2.	0.	0.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	22.	13.	7.	1.	0.	0.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.0	1.8	6.0	18.3	13.7	0.0	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.2	1.0	5.8	27.0	36.0	0.0	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 5404. -174. *T + 1.34 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,8$ $k_0 = 0,01 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2323.	2275.	2224.	2172.	2120.	2067.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	811.	764.	719.	679.	641.	605.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3134.	3039.	2943.	2851.	2761.	2671.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	645.	632.	618.	603.	589.	574.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	225.	212.	200.	189.	178.	168.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	871.	844.	817.	792.	767.	742.	KWH/M2

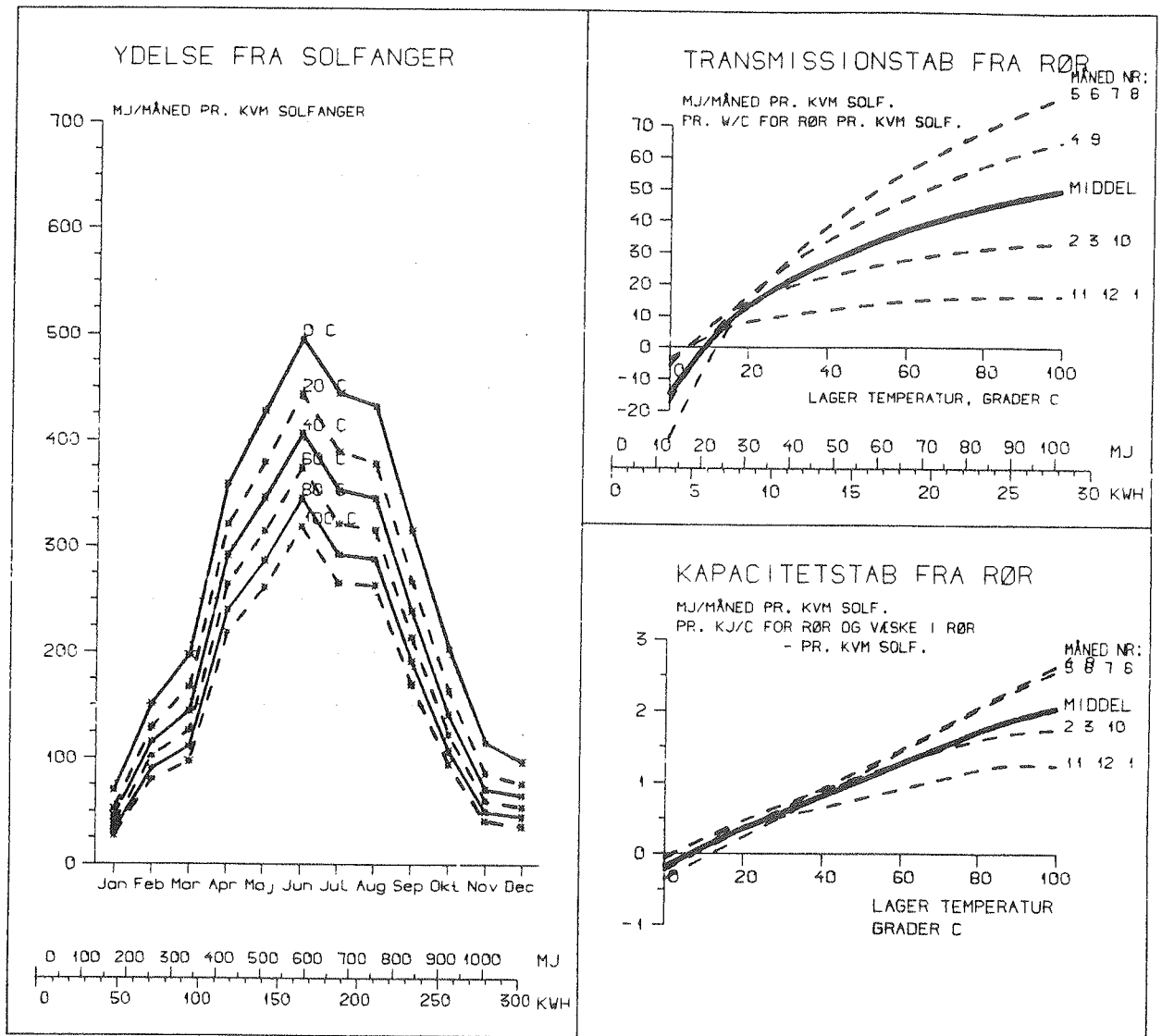
	7276.	3728.	3334.	3104.	2917.	2783.	
DRIFTSTID	7276.	3728.	3334.	3104.	2917.	2783.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	73.	71.	69.	67.	64.	62.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	26.	25.	24.	24.	23.	23.	PCT. AF AARSYDELSE

	-2.3	2.4	5.5	8.4	11.2	14.0	
TRANS.TAB. INDEX	-2.3	2.4	5.5	8.4	11.2	14.0	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.1	2.5	4.0	5.5	7.2	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3134. -5. *T + 0.00 *T**2 (MJ/M2)

10.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_o = 0,8$ $k_o = 1,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2471.	2176.	1978.	1802.	1642.	1494.
YDELSE VINTER YV(T)	833.	675.	581.	504.	436.	376.
YDELSE AARET Y(T)	3304.	2851.	2559.	2306.	2078.	1870.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	686.	605.	550.	501.	456.	415.
YDELSE VINTER YV(T)	231.	187.	161.	140.	121.	104.
YDELSE AARET Y(T)	918.	792.	711.	640.	577.	520.

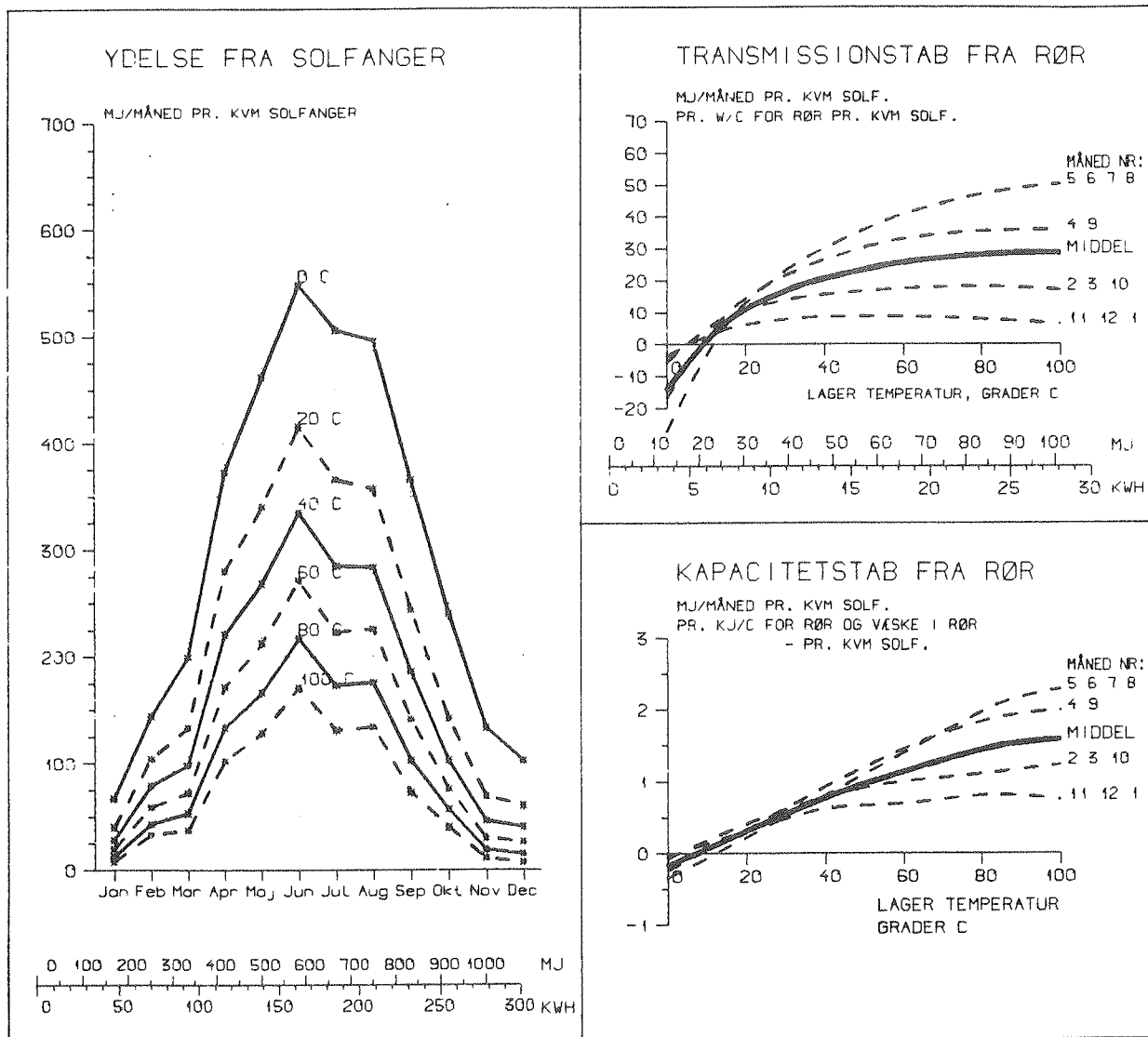
	7188.	3321.	2689.	2308.	2013.	1785.
DRIFTSTID	7188.	3321.	2689.	2308.	2013.	1785.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	77.	67.	60.	54.	49.	44.
PCT. I VINTERPERIODEN	25.	24.	23.	22.	21.	20.

	-2.2	2.2	5.0	7.7	10.2	12.8
TRANS.TAB. INDEX	-2.2	2.2	5.0	7.7	10.2	12.8
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.0	2.6	4.6	6.9	9.2

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3304. -22. *T + 0.08 *T**2 (MJ/M2)

11.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,8$ $k_0 = 3,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2749.	2002.	1578.	1245.	967.	739.
YDELSE VINTER YV(T)	884.	548.	395.	283.	199.	135.
YDELSE AARET Y(T)	3634.	2550.	1973.	1528.	1166.	874.

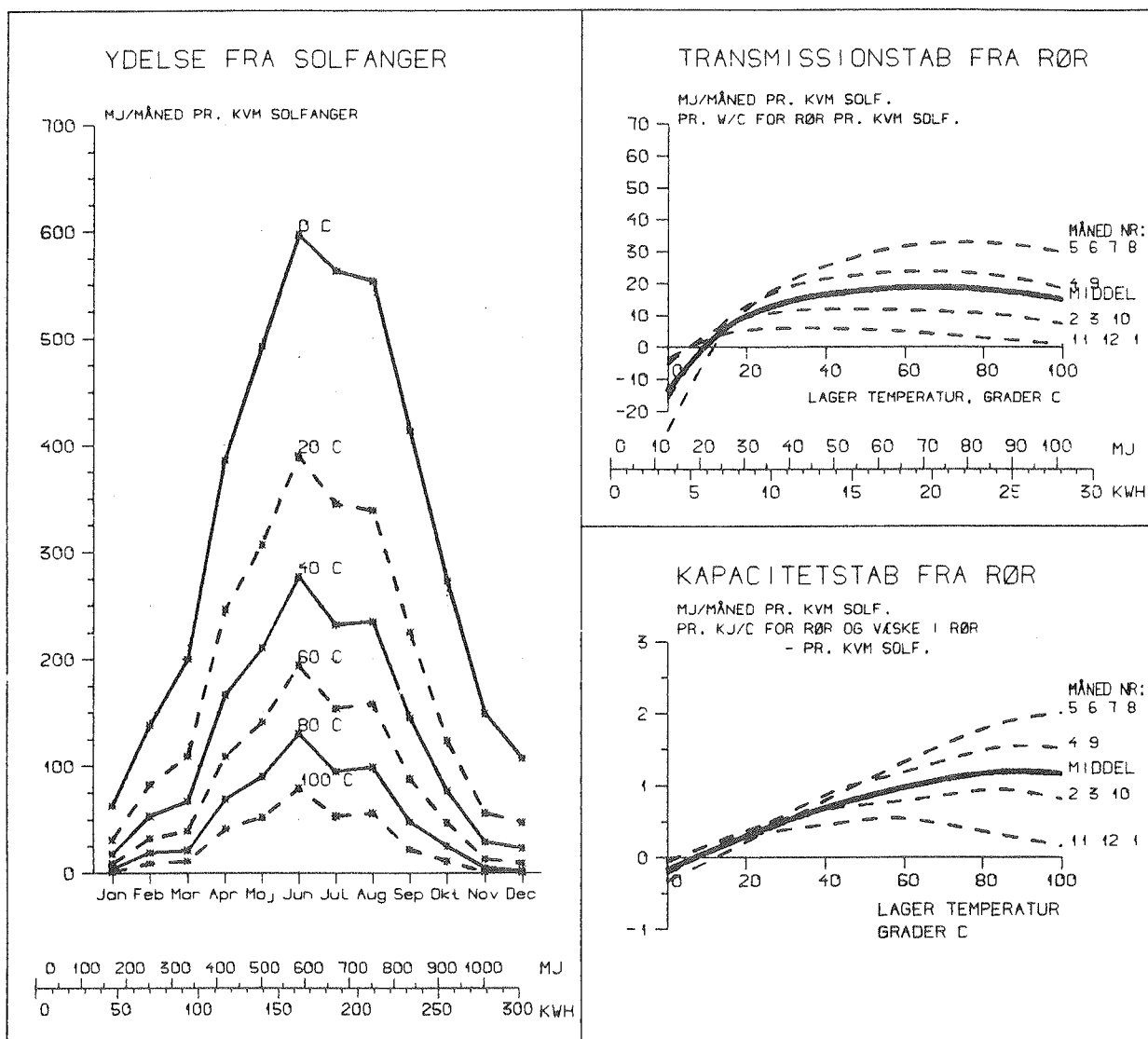
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	764.	556.	438.	346.	269.	205.
YDELSE VINTER YV(T)	246.	152.	110.	79.	55.	38.
YDELSE AARET Y(T)	1009.	708.	548.	424.	324.	243.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	7136.	2917.	2093.	1640.	1316.	1060.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	85.	60.	46.	36.	27.	20.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	22.	20.	19.	17.	15.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-1.9	2.1	5.0	8.0	11.6	15.7
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.0	3.3	6.2	10.4	15.3

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3634. -52. *T + 0.27 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,8$ $k_0 = 5,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3005.	1851.	1265.	844.	531.	303.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	929.	451.	266.	150.	75.	33.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3934.	2301.	1531.	994.	606.	336.	MJ/M2

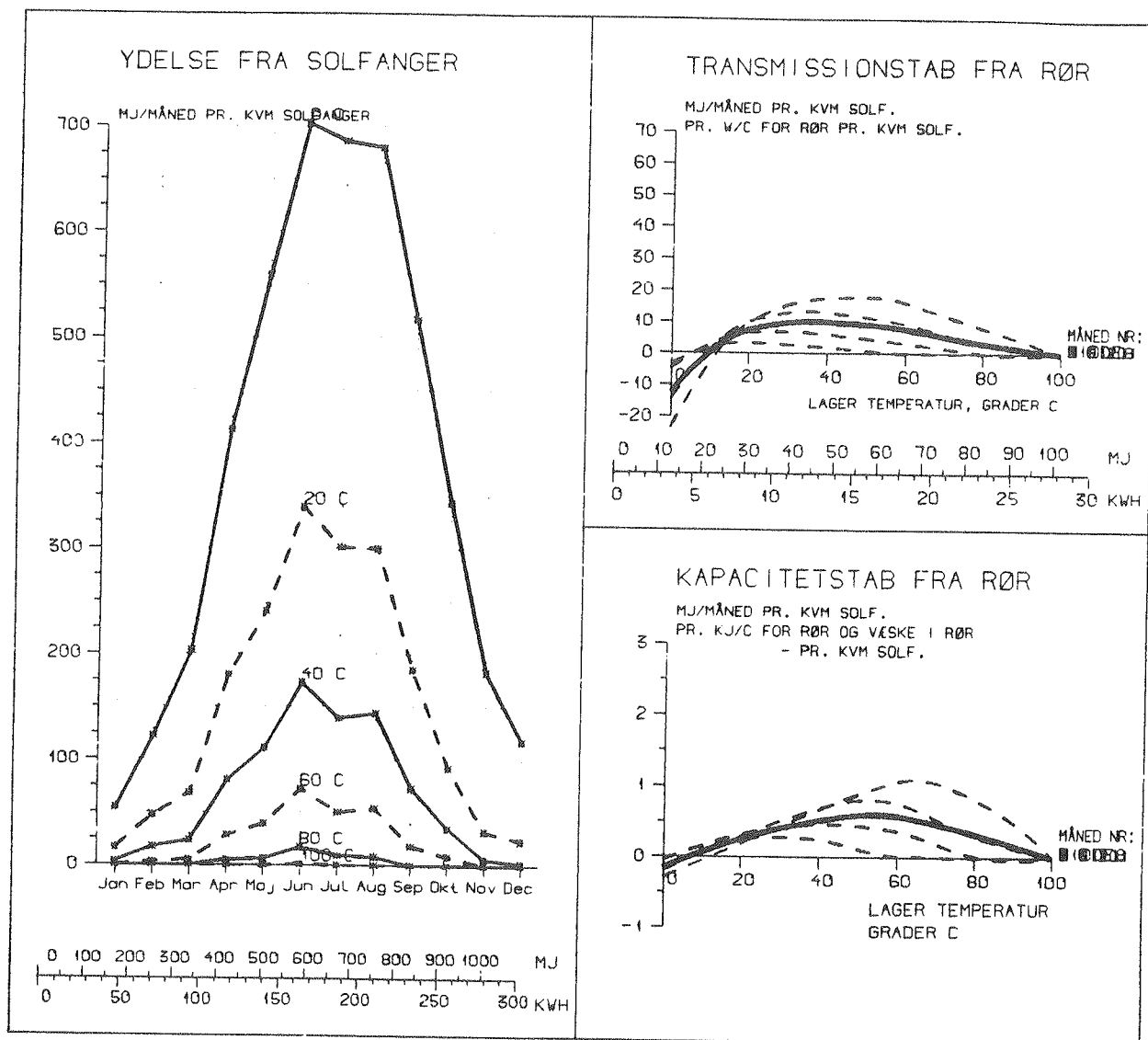
	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	
YDELSE SOMMER YS(T)	835.	514.	351.	234.	147.	84.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	258.	125.	74.	42.	21.	9.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1093.	639.	425.	276.	168.	93.	KWH/M2

	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	
DRIFTSTID	7062.	2694.	1738.	1234.	880.	580.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	92.	54.	36.	23.	14.	8.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	20.	17.	15.	12.	10.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.7	2.1	5.2	9.0	14.4	21.7	PCT. V. 0.4 W/(°C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.1	3.8	8.2	16.1	29.2	PCT. V. 7 KJ/(°C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3934. -79. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_o = 0.8$ $k_o = 10,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	3557.	1545.	721.	261.	46.	1. MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	1023.	277.	87.	16.	0.	0. MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4581.	1822.	808.	277.	46.	1. MJ/M2

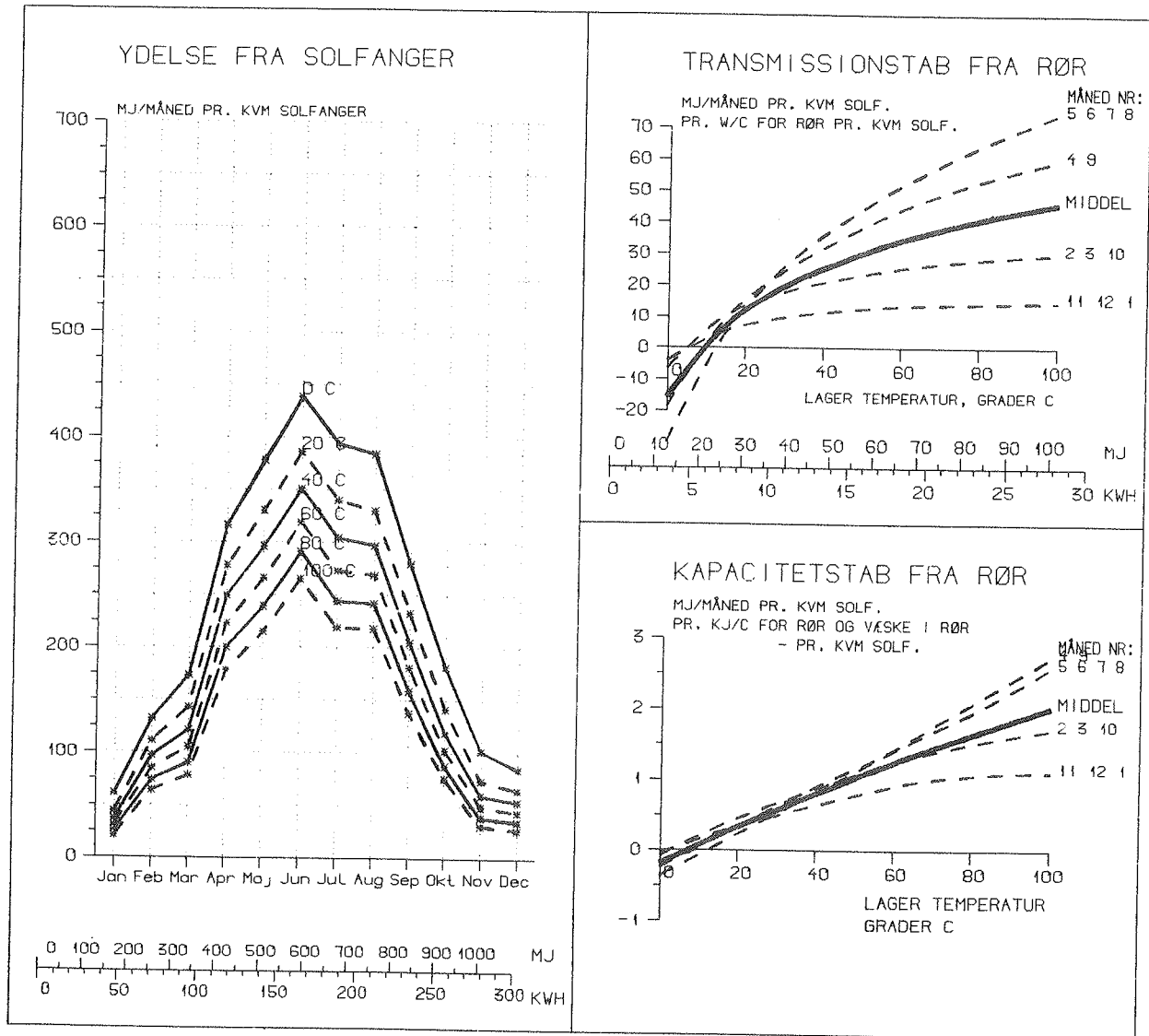
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	988.	429.	200.	73.	13.	0. KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	284.	77.	24.	4.	0.	0. KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1272.	506.	224.	77.	13.	0. KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	6874.	2237.	1148.	564.	173.	1. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	107.	43.	19.	6.	1.	0. PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	22.	15.	11.	6.	0.	0. PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-1.3	1.9	5.9	13.4	33.7	13.0 PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.3	1.2	5.3	17.5	59.5	59.4 PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4581. -132. *T + 0.94 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,7$ $k_0 = 1,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2191.	1897.	1703.	1531.	1376.	1233.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	736.	580.	490.	416.	352.	297.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	2926.	2477.	2192.	1947.	1728.	1530.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	608.	527.	473.	425.	382.	342.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	204.	161.	136.	116.	98.	83.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	813.	688.	609.	541.	480.	425.	KWH/M2

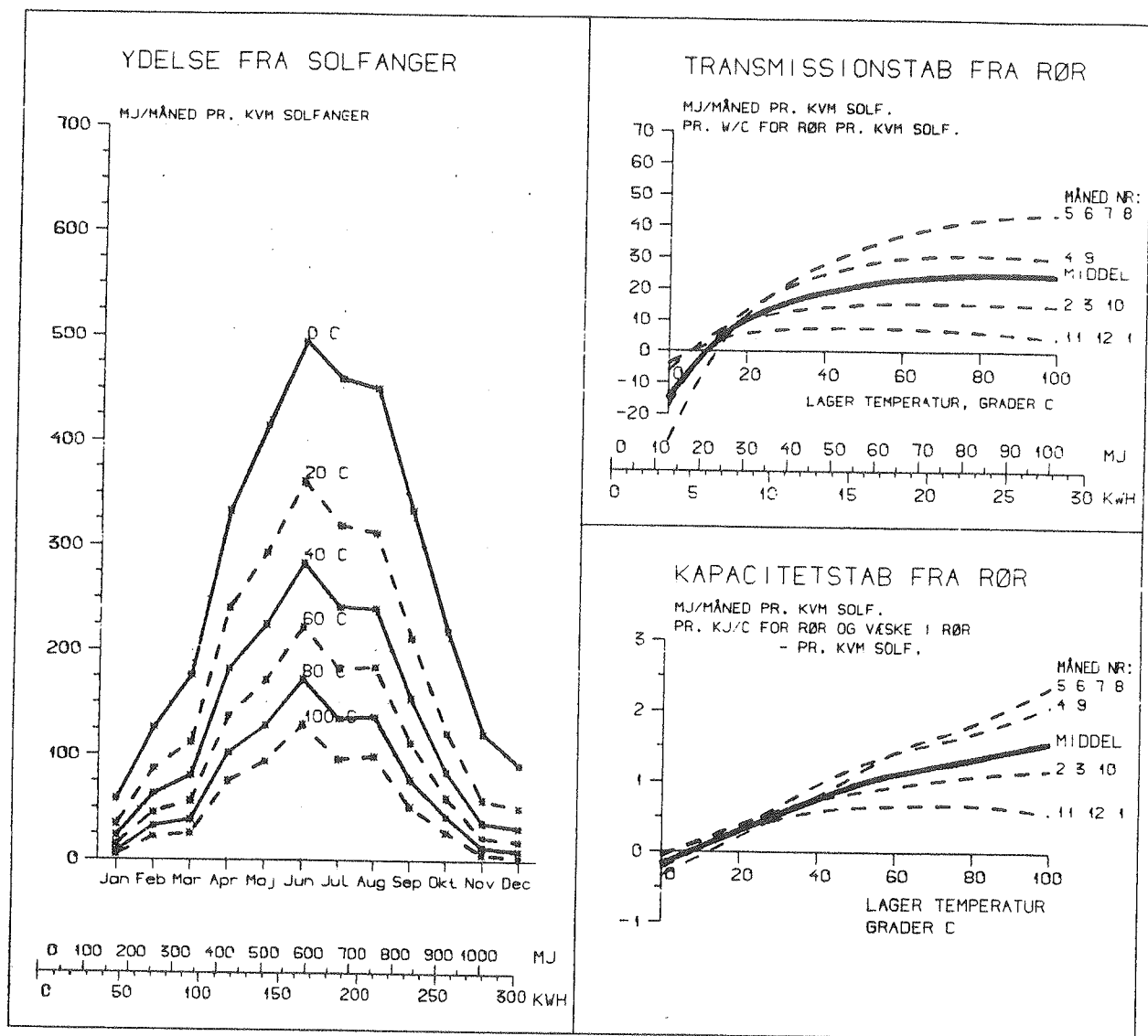
	7159.	3236.	2587.	2175.	1880.	1661.	
DRIFTSTID	7159.	3236.	2587.	2175.	1880.	1661.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	68.	58.	51.	46.	40.	36.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	25.	23.	22.	21.	20.	19.	PCT. AF AARSYDELSE

	-2.6	2.3	5.5	8.4	11.3	14.4	
TRANS.TAB. INDEX	-2.6	2.3	5.5	8.4	11.3	14.4	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.1	3.1	5.4	8.0	11.1	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2926. -22. *T + 0.08 *T**2 (MJ/M2)

15.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_o = 0,7$ $k_o = 3,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER VS(T)	2482.	1737.	1326.	1009.	751.	543.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	790.	462.	318.	216.	142.	88.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3272.	2199.	1644.	1225.	893.	631.	MJ/M2

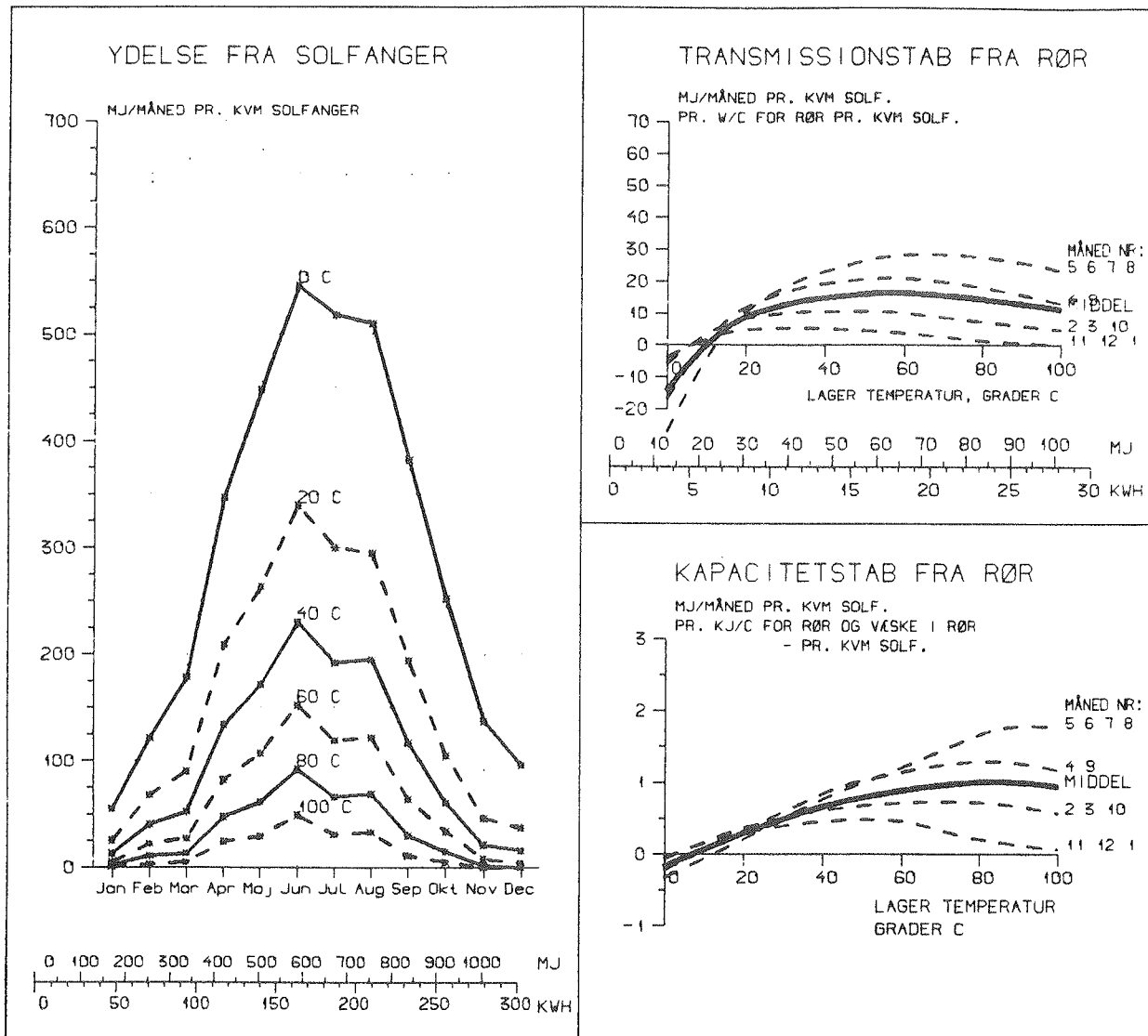
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER VS(T)	689.	482.	368.	280.	209.	151.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	220.	128.	88.	60.	40.	24.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	909.	611.	457.	340.	248.	175.	KWH/M2

	7098.	2844.	1972.	1507.	1170.	915.	
DRIFTSTID	7098.	2844.	1972.	1507.	1170.	915.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	77.	51.	38.	29.	21.	15.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	21.	19.	18.	16.	14.	PCT. AF AARSYDELSE

	-2.2	2.2	5.5	9.0	13.2	18.6	
TRANS.TAB. INDEX	-2.2	2.2	5.5	9.0	13.2	18.6	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.1	3.8	7.6	12.4	20.7	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3272. -52. *T + 0.27 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_o = 0.7$ $k_o = 5.0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2748.	1599.	1038.	645.	365.	176.
YDELSE VINTER YV(T)	840.	372.	202.	101.	43.	14.
YDELSE AARET Y(T)	3588.	1972.	1239.	747.	409.	190.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	763.	444.	288.	179.	101.	49.
YDELSE VINTER YV(T)	233.	103.	56.	29.	12.	4.
YDELSE AARET Y(T)	997.	548.	344.	207.	114.	53.

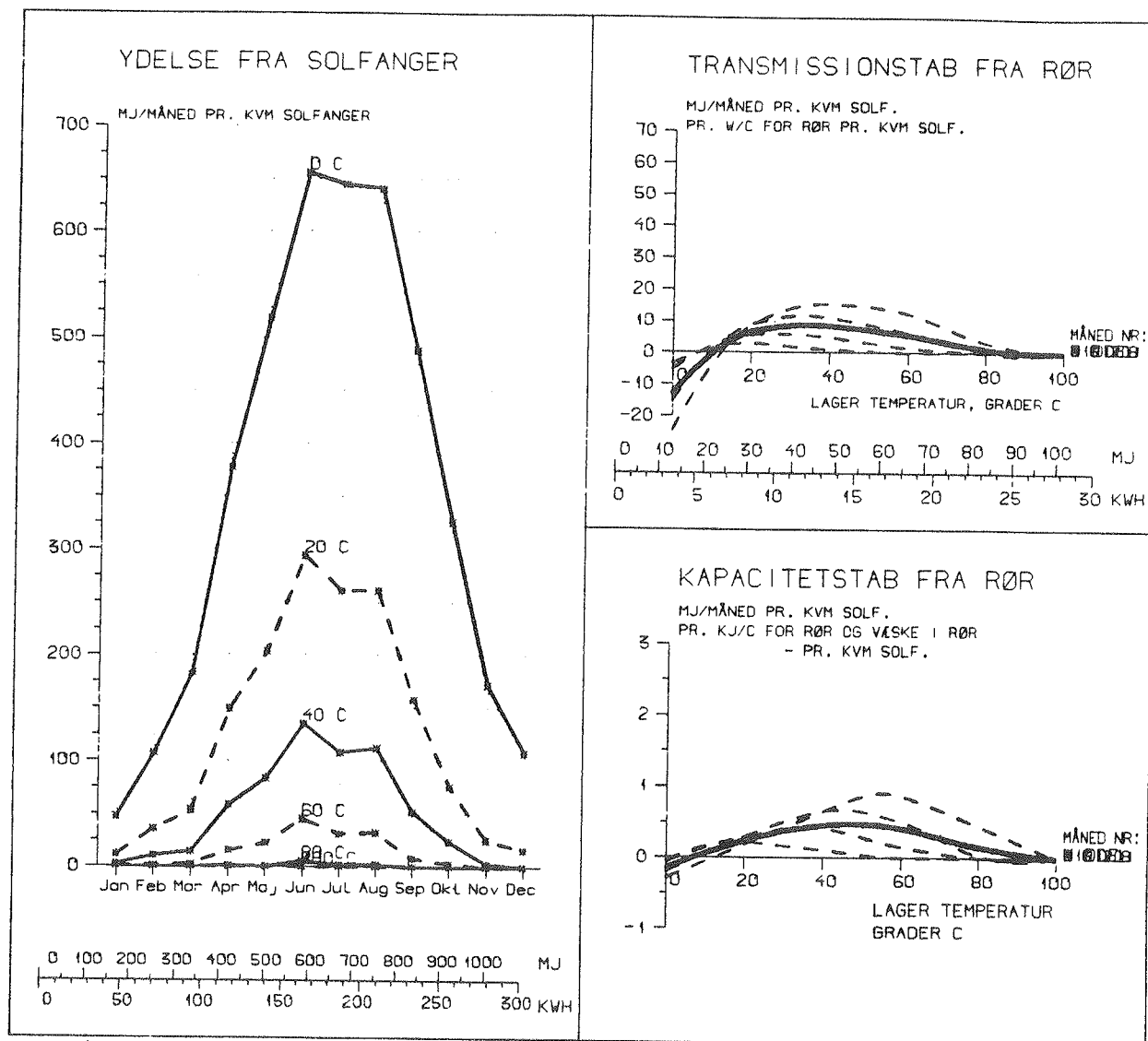
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	7029.	2582.	1608.	1111.	714.	439.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	84.	46.	29.	17.	10.	4.
PCT. I VINTERPERIODEN	23.	19.	16.	14.	11.	7.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-1.9	2.1	5.7	10.5	17.0	28.5
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.2	4.5	9.9	20.6	41.6

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3588. -78. *T + 0.47 *T**2 (MJ/M2)

17.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

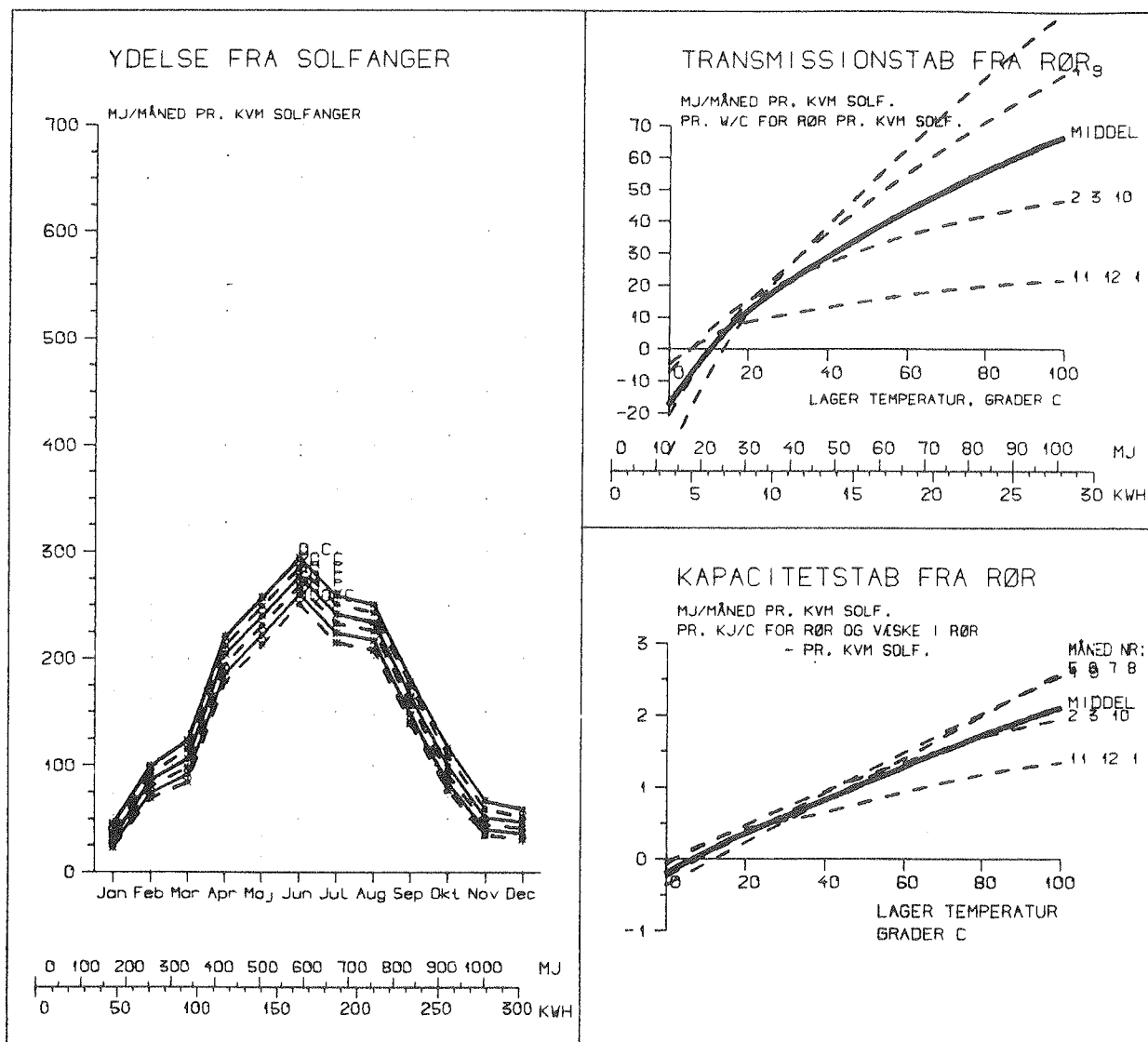
 $n_0 = 0.7$ $k_0 = 10.0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4276. MJ/M2 (1188. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3325.	1324.	547.	153.	10.	0.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	943.	215.	53.	6.	0.	0.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4268.	1539.	600.	159.	10.	0.	MJ/M2
YDELSE SOMMER YS(T)	924.	368.	152.	43.	3.	0.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	262.	60.	15.	2.	0.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1186.	428.	167.	44.	3.	0.	KWH/M2
DRIFTSTID	6844.	2119.	1008.	416.	61.	0.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	100.	36.	14.	4.	0.	0.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	22.	14.	9.	4.	0.	0.	PCT. AF AARSYDELSE
TRANS.TAB. INDEX	-1.5	2.0	6.7	16.7	53.8	0.0	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.3	1.3	6.3	21.9	132.9	0.0	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4268. -130. *T + 0.96 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,5$ $k_0 = 0,01 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
YDELSE SOMMER YS(T) :	1463.	1414.	1363.	1310.	1257.	1203.
YDELSE VINTER YV(T) :	510.	462.	422.	384.	350.	317.
YDELSE AARET Y(T) :	1973.	1876.	1784.	1694.	1607.	1521.

	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
YDELSE SOMMER YS(T) :	406.	393.	378.	364.	349.	334.
YDELSE VINTER YV(T) :	142.	128.	117.	107.	97.	88.
YDELSE AARET Y(T) :	548.	521.	496.	471.	446.	422.

	7195.	3499.	3071.	2819.	2619.	2452.
DRIFTSTID :	7195.	3499.	3071.	2819.	2619.	2452.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	46.	44.	42.	40.	38.	36.
PCT. I VINTERPERIODEN:	26.	25.	24.	23.	22.	21.

	-4.3	3.1	7.8	12.3	16.7	21.1
TRANS.TAB. INDEX :	-4.3	3.1	7.8	12.3	16.7	21.1
KAP.TAB. INDEX :	-0.8	1.6	3.8	6.3	9.0	11.7

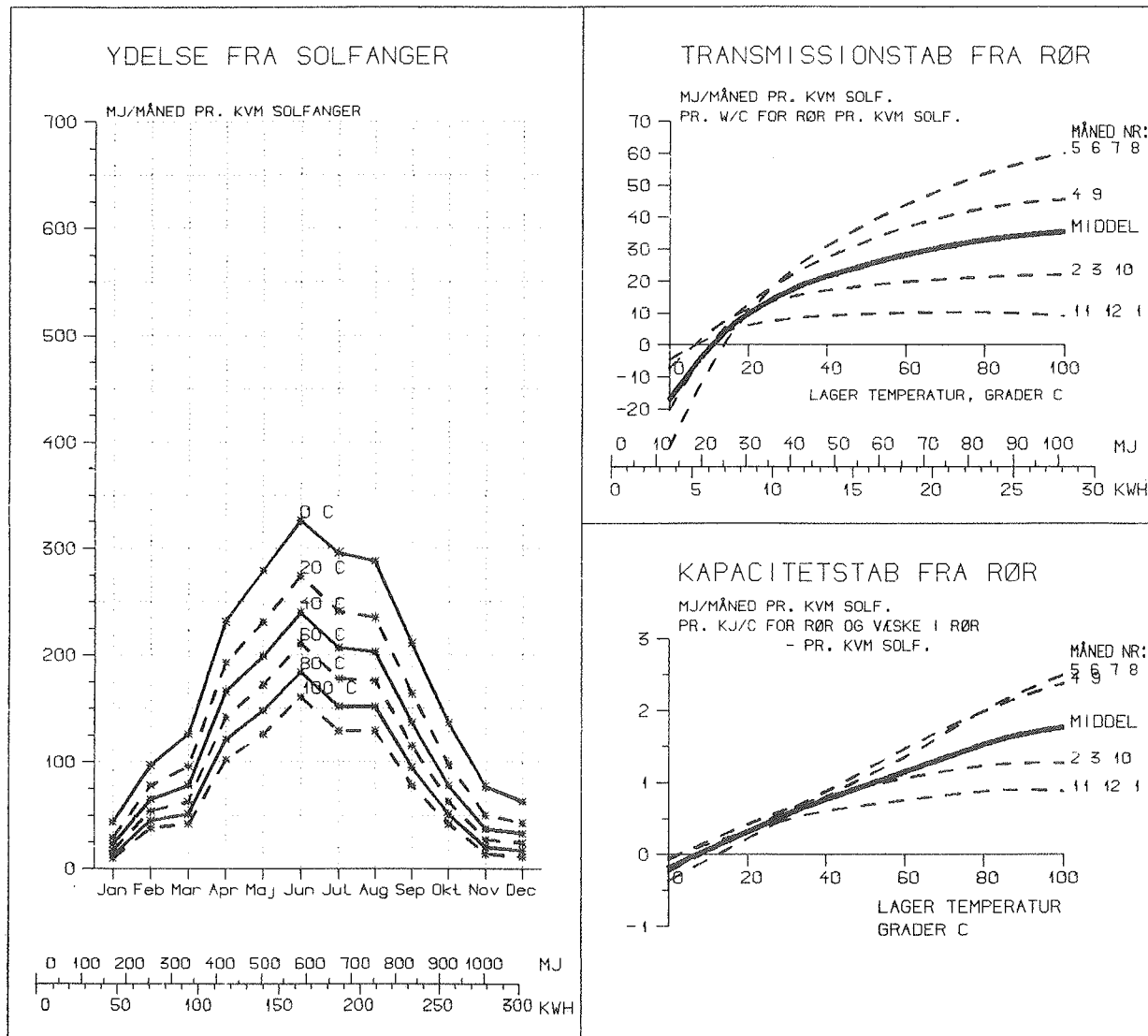
AARSYDELSE=F(T-LAGER): 1973. -5. *T + 0.00 *T**2 (MJ/M2)

19.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

$n_o = 0,5$

$k_o = 1,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1630.	1339.	1152.	993.	852.	726.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	543.	395.	314.	249.	197.	156.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	2174.	1734.	1466.	1242.	1049.	882.	MJ/M2

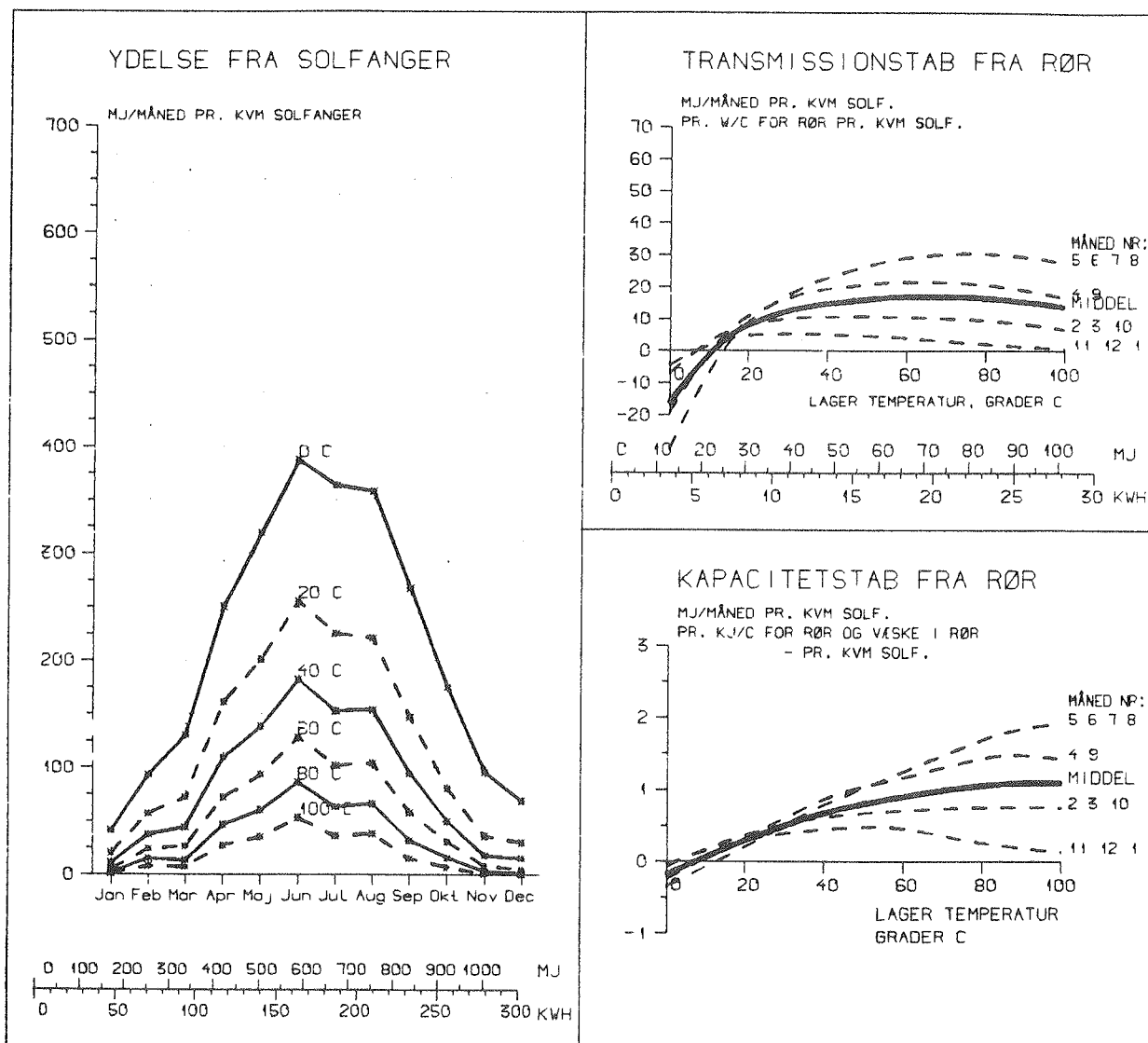
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	453.	372.	320.	276.	237.	202.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	151.	110.	87.	69.	55.	43.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	604.	482.	407.	345.	292.	245.	KWH/M2

	7115.	3025.	2327.	1864.	1563.	1316.	
DRIFTSTID	7115.	3025.	2327.	1864.	1563.	1316.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	51.	40.	34.	29.	25.	21.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN:	25.	23.	21.	20.	19.	18.	PCT. AF AARSYDELSE

	-3.8	2.7	7.0	10.9	15.0	19.3	
TRANS.TAB. INDEX	-3.8	2.7	7.0	10.9	15.0	19.3	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.7	1.5	4.4	7.8	12.2	16.8	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2174. -21. *T + 0.09 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,5$ $k_0 = 3,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1946.	1209.	832.	557.	354.	203.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	606.	297.	175.	99.	51.	24.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	2552.	1505.	1007.	657.	404.	227.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	541.	336.	231.	155.	98.	56.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	168.	82.	49.	28.	14.	7.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	709.	418.	280.	182.	112.	63.	KWH/M2

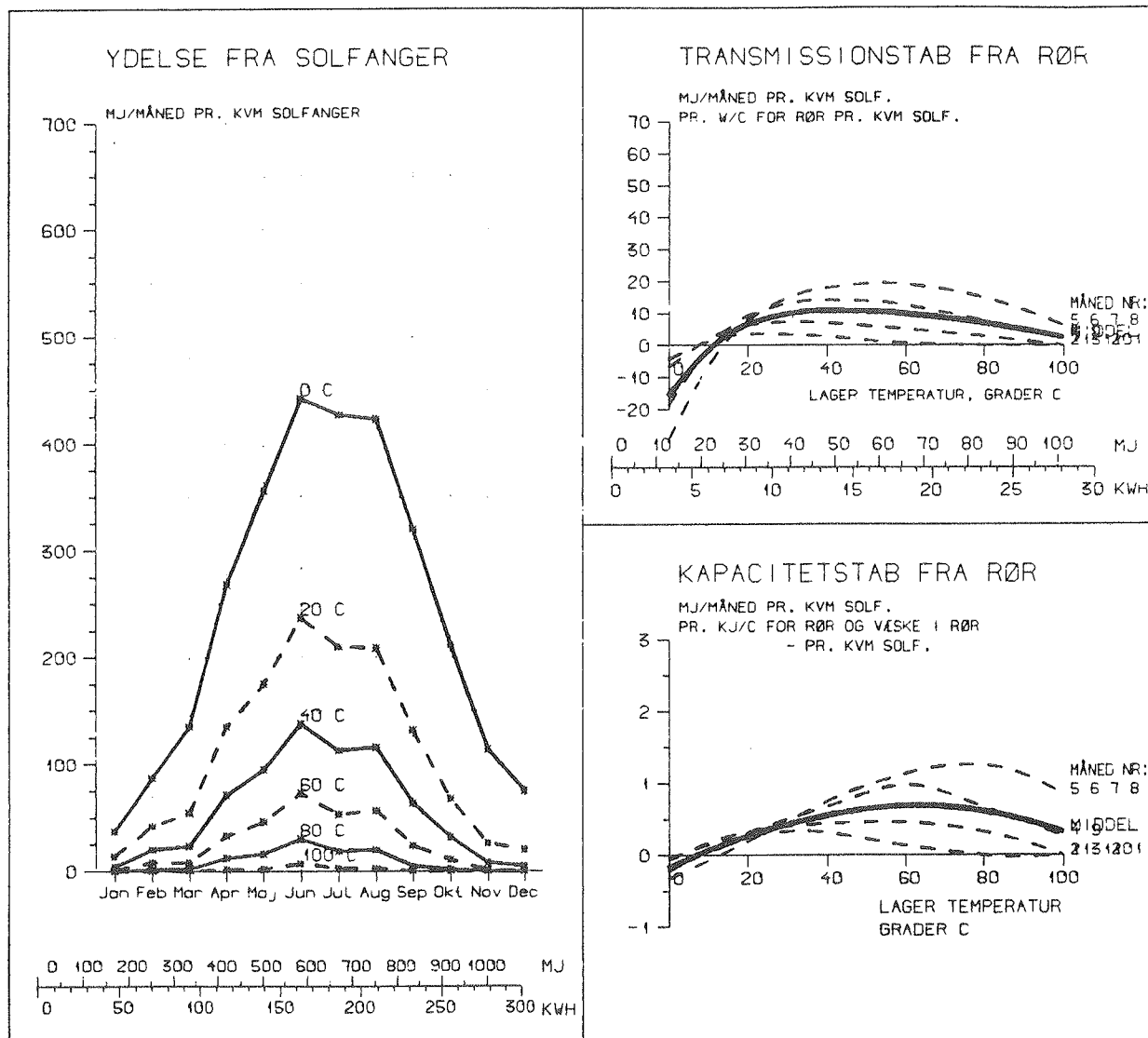
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	7028.	2620.	1666.	1167.	817.	537.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	60.	35.	24.	15.	9.	5.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN:	24.	20.	17.	15.	13.	11.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-3.1	2.6	7.1	12.4	19.6	29.3	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.6	1.6	5.6	11.5	22.0	40.7	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2552. -50. *T + 0.29 *T**2 (MJ/M2)

21.

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_o = 0,5$ $k_o = 5,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm.}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2235.	1099.	597.	286.	103.	17. MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	660.	224.	93.	30.	6.	0. MJ/M2
YDELSE AARET Y(T) :	2896.	1323.	690.	317.	108.	17. MJ/M2

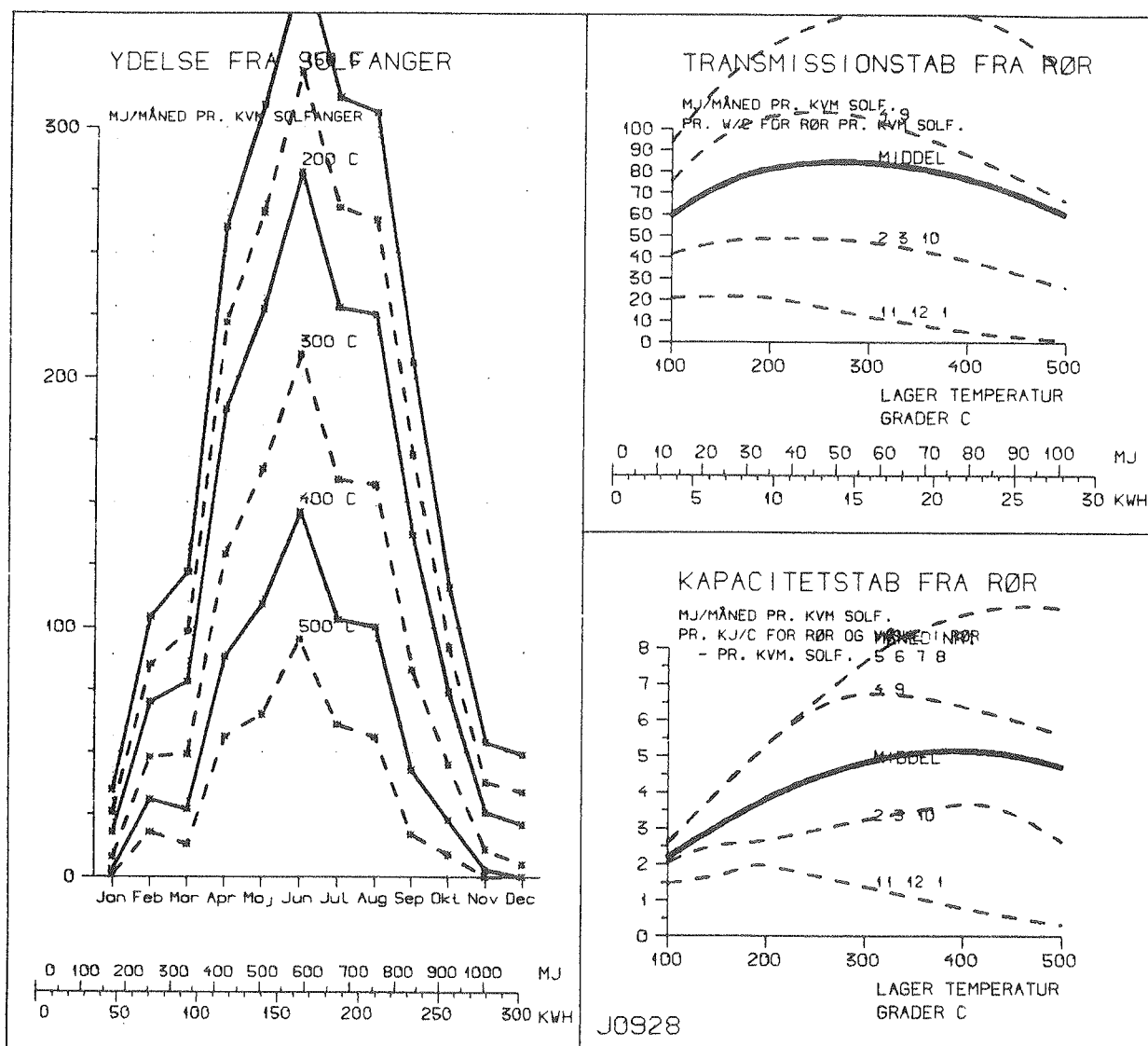
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	621.	305.	166.	80.	29.	5. KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	183.	62.	26.	8.	2.	0. KWH/M2
YDELSE AARET Y(T) :	804.	368.	192.	88.	30.	5. KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	6889.	2312.	1273.	716.	359.	102. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	68.	31.	16.	7.	3.	0. PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN :	23.	17.	13.	10.	5.	0. PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-2.6	2.4	7.5	15.1	30.6	69.7 PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX :	-0.5	1.7	6.7	18.2	47.1	159.0 PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2896. -75. *T + 0.51 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET $n_o=0,8$ $k_o=0,5$ W/°C pr. kvm. (100 til 500°C)



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

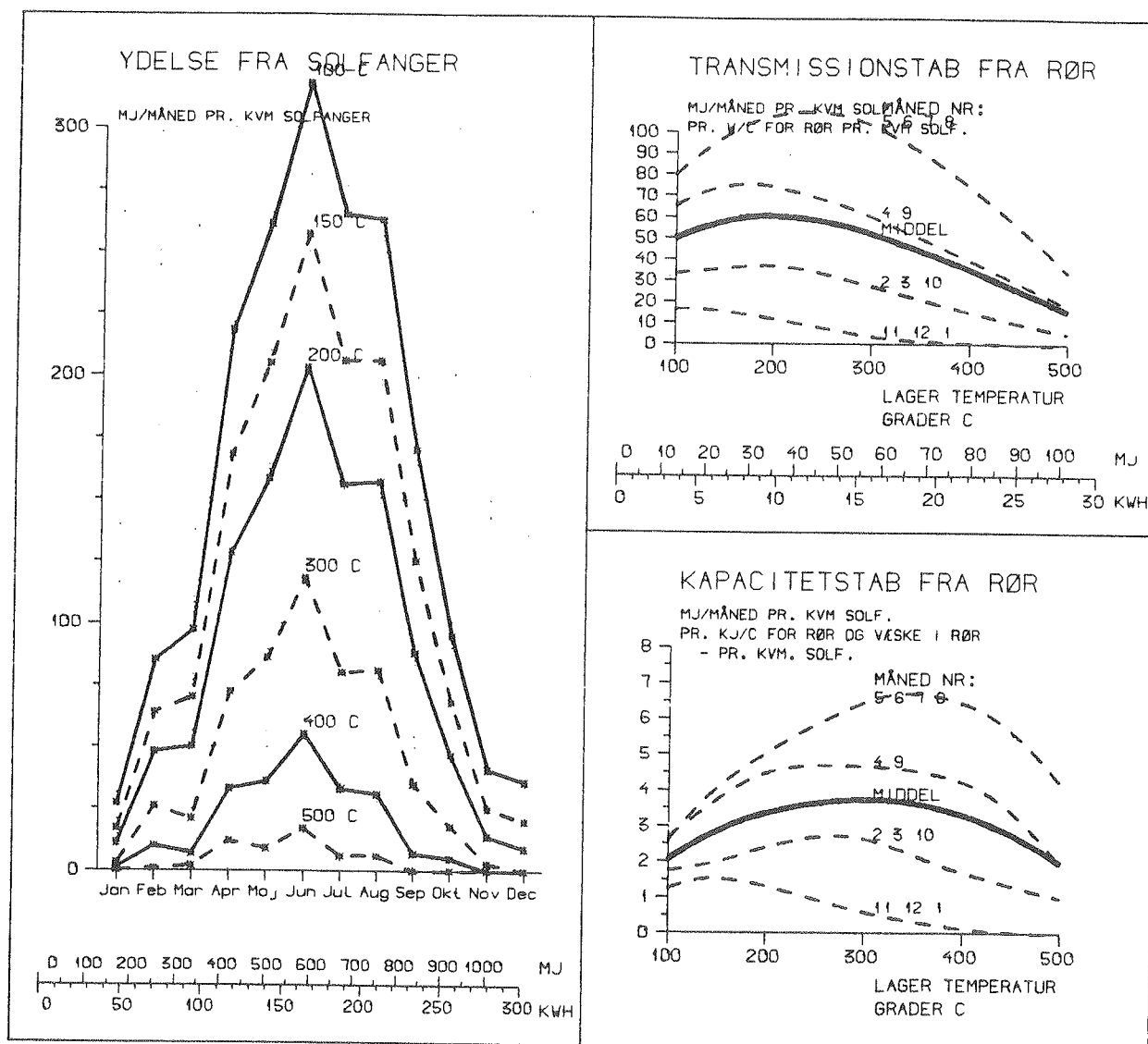
	100C	150C	200C	300C	400C	500C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1760.	1511.	1286.	900.	589.	350.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	480.	373.	287.	166.	87.	40.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	2240.	1883.	1573.	1066.	676.	391.	MJ/M2

	100C	150C	200C	250C	300C	350C	
YDELSE SOMMER YS(T)	489.	420.	357.	250.	164.	97.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	133.	104.	80.	44.	24.	11.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	622.	523.	437.	294.	188.	109.	KWH/M2

	2113.	1711.	1408.	963.	655.	410.	
DRIFTSTID	2113.	1711.	1408.	963.	655.	410.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	52.	44.	37.	25.	16.	9.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN:	21.	20.	18.	16.	13.	10.	PCT. AF AARSYDELSE

	12.7	18.7	24.8	37.9	54.4	73.9	
TRANS.TAB. INDEX	12.7	18.7	24.8	37.9	54.4	73.9	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	8.1	13.6	20.3	38.0	64.0	101.2	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

SOLFANGEREFFEKTIVITET

 $n_0 = 0,8$ $k_0 = 1,0 \text{ W/}^\circ\text{C pr. kvm. (100 til 500}^\circ\text{C)}$ 

SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M² (1190. KWH/M²) (40. PCT. DIFFUS)

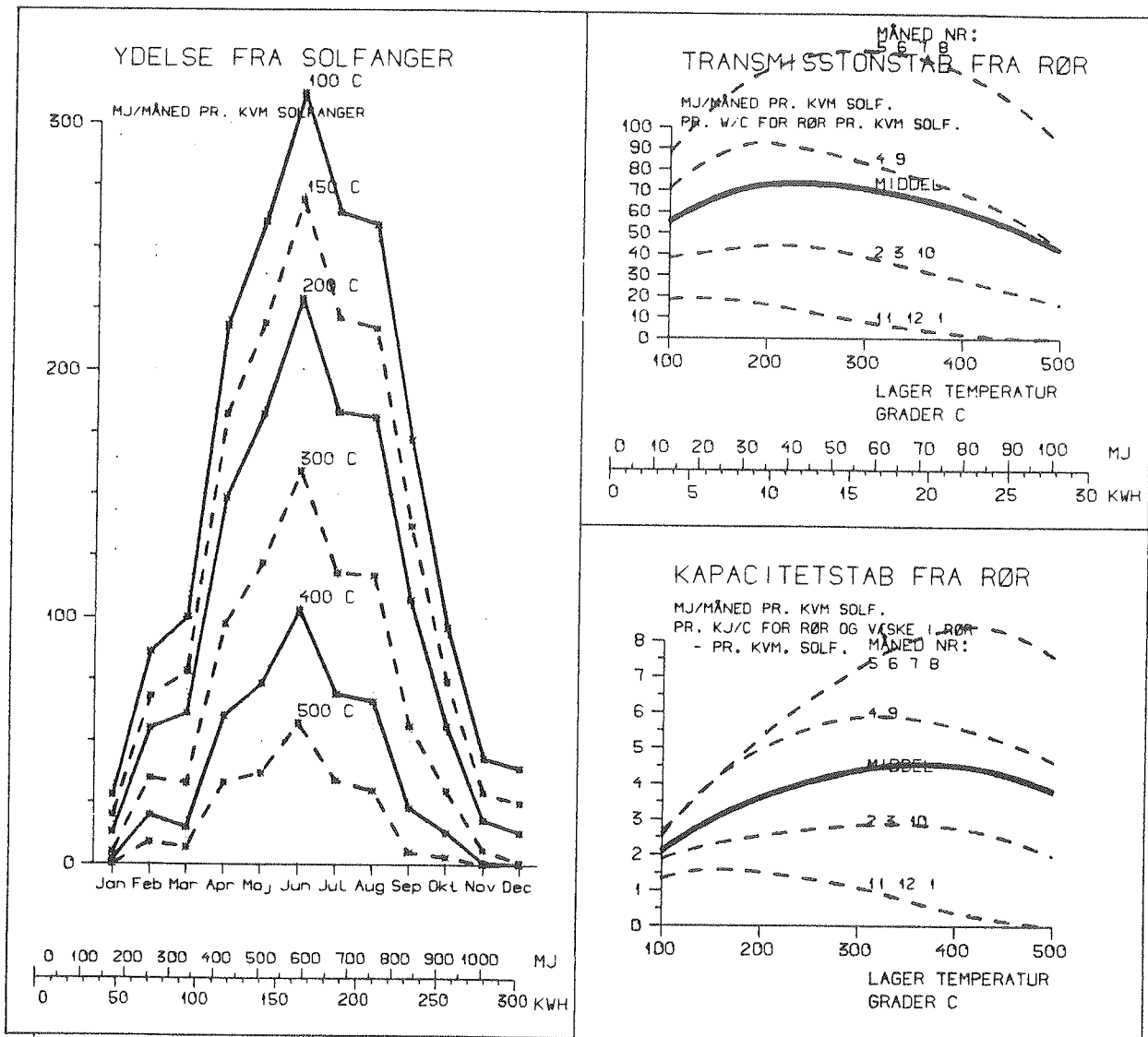
	100C	150C	200C	300C	400C	500C
YDELSE SOMMER YS(T)	1494.	1166.	890.	471.	195.	51. MJ/M ²
YDELSE VINTER YV(T)	381.	265.	179.	71.	23.	3. MJ/M ²
YDELSE AÅRET Y(T)	1875.	1432.	1069.	543.	218.	54. MJ/M ²

	100C	150C	200C	300C	400C	500C
YDELSE SOMMER YS(T)	415.	324.	247.	131.	54.	14. KWH/M ²
YDELSE VINTER YV(T)	106.	74.	50.	20.	6.	1. KWH/M ²
YDELSE AÅRET Y(T)	521.	398.	297.	151.	61.	15. KWH/M ²

	1785.	1352.	1053.	601.	303.	107.
DRIFTSTID	1785.	1352.	1053.	601.	303.	107. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	44.	33.	25.	13.	5.	1. PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	20.	19.	17.	13.	10.	6. PCT. AF AARSYDELSE

	12.7	19.4	27.1	46.1	77.6	139.0
TRANS.TAB. INDEX	12.7	19.4	27.1	46.1	77.6	139.0 PCT. V. 0.4 W/(C M ²)
KAP.TAB. INDEX	9.2	16.7	26.4	57.9	127.6	309.1 PCT. V. 7 KJ/(C M ²)

SOLFANGEREFFEKTIVITET $n_o=0,7$ $k_0=0,5$ W/°C pr. kvm. (100 til 500°C)



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

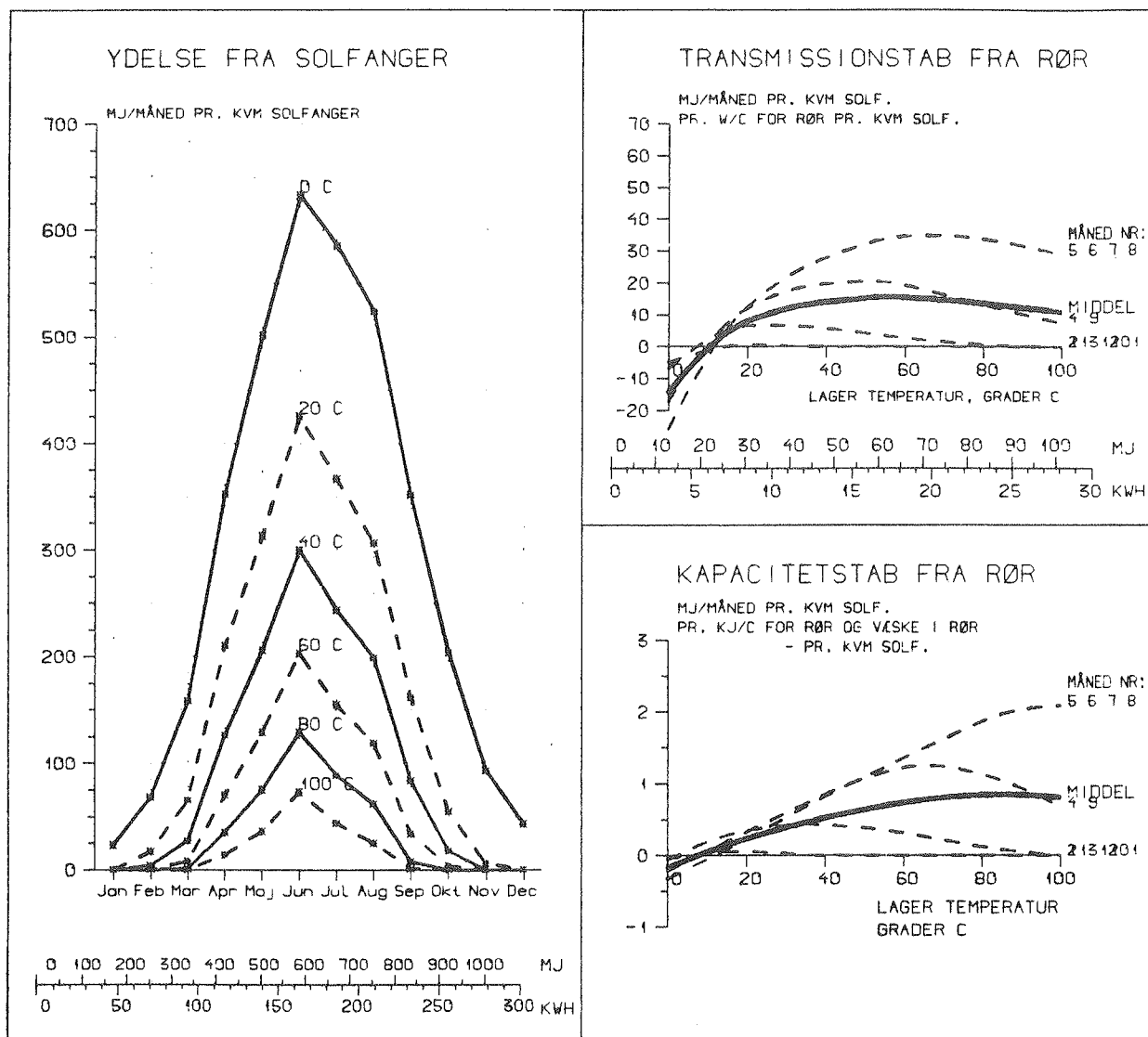
	100C	150C	200C	300C	400C	500C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1484.	1244.	1029.	668.	393.	196.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	391.	293.	217.	112.	50.	19.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	1876.	1537.	1246.	780.	442.	214.	MJ/M2

	100C	150C	200C	300C	400C	500C	
YDELSE SOMMER YS(T)	412.	346.	286.	186.	109.	54.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	109.	81.	60.	31.	14.	5.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	521.	427.	346.	217.	123.	60.	KWH/M2

	100C	150C	200C	300C	400C	500C	
DRIFTSTID	1987.	1570.	1271.	816.	521.	290.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	44.	36.	29.	18.	10.	5.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	21.	19.	17.	14.	11.	9.	PCT. AF AARSYDELSE

	100C	150C	200C	300C	400C	500C	
TRANS.TAB. INDEX	14.1	20.9	28.1	43.7	65.9	94.8	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	9.4	16.2	24.3	47.2	85.7	148.4	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

HÆLDNING 0° (vandret) solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3672. MJ/M2 (1020. KWH/M2) (49. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2947.	1783.	1158.	710.	398.	193.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	588.	143.	48.	12.	1.	0.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3535.	1926.	1206.	721.	399.	193.	MJ/M2

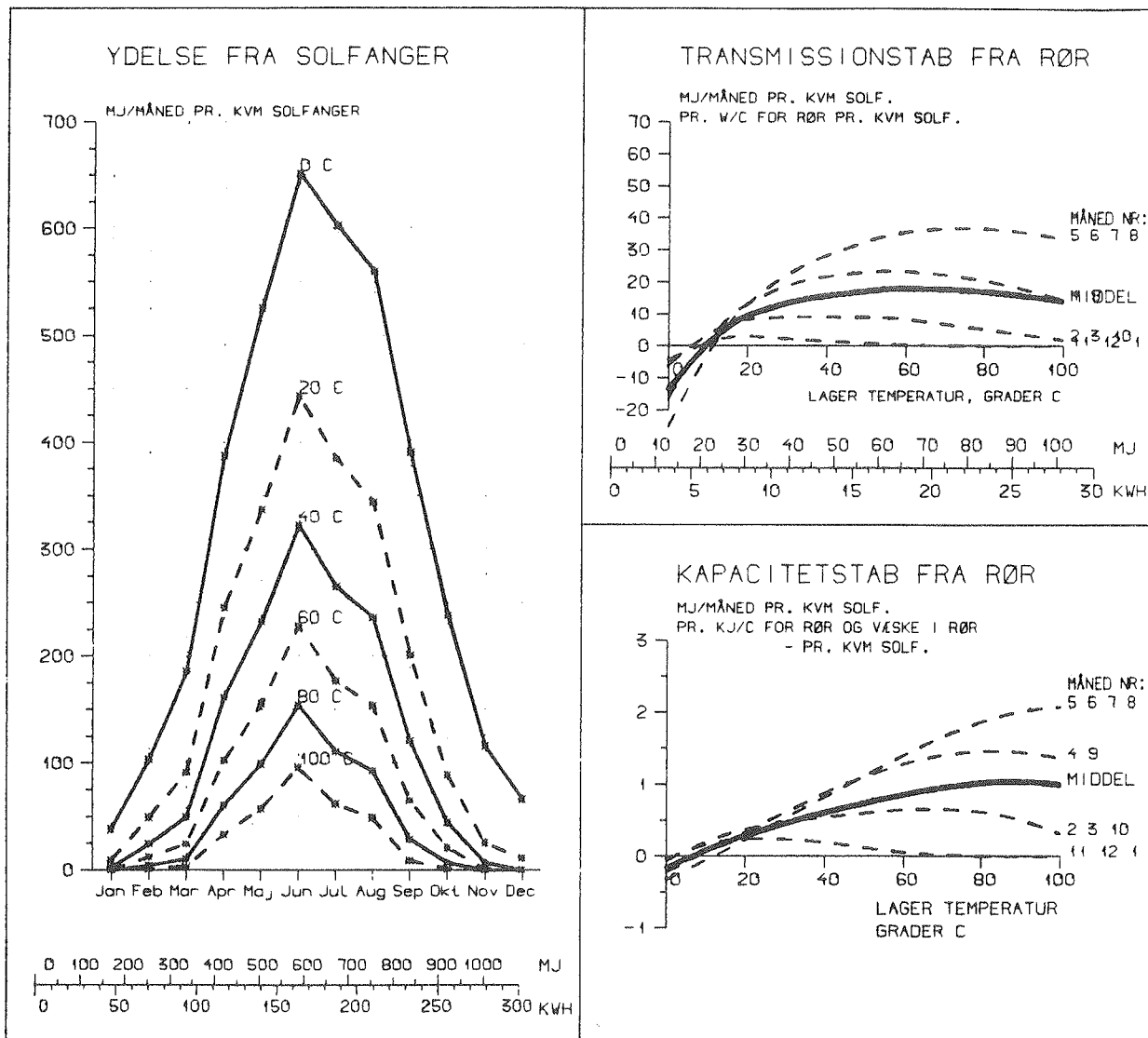
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	819.	495.	322.	197.	111.	53.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	163.	40.	13.	3.	0.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	982.	535.	335.	200.	111.	53.	KWH/M2

	7043.	2543.	1608.	1085.	689.	431.	
DRIFTSTID	7043.	2543.	1608.	1085.	689.	431.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	96.	52.	33.	20.	11.	5.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	17.	7.	4.	2.	0.	0.	PCT. AF AARSYDELSE

	-2.0	2.0	5.6	10.3	16.3	27.2	
TRANS.TAB. INDEX	-2.0	2.0	5.6	10.3	16.3	27.2	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.0	3.6	8.5	17.7	35.2	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3535. -77. *T + 0.48 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 15° (med vandret) solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4039. MJ/M2 (1122. KWH/M2) (44. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	3117.	1956.	1335.	882.	546.	305. MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	746.	273.	127.	57.	21.	5. MJ/M2
YDELSE AARET Y(T) :	3863.	2229.	1462.	938.	567.	310. MJ/M2

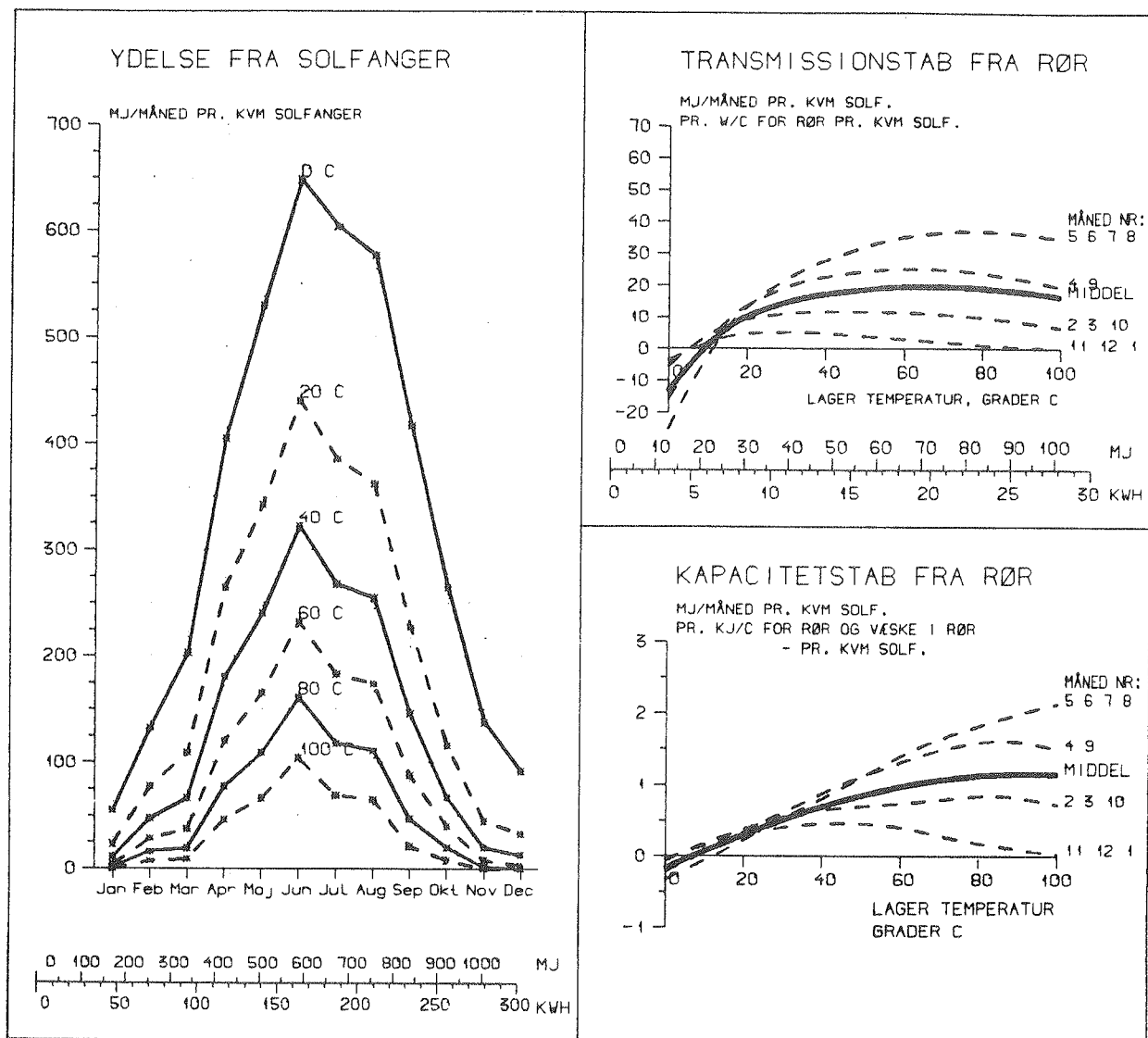
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	866.	543.	371.	245.	152.	85. KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	207.	76.	35.	16.	6.	1. KWH/M2
YDELSE AARET Y(T) :	1073.	619.	406.	261.	158.	86. KWH/M2

	7068.	2685.	1713.	1216.	835.	545.
DRIFTSTID :	7068.	2685.	1713.	1216.	835.	545. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	96.	55.	36.	23.	14.	8. PCT. AF TOT.
PCT. I VINTERPERIODEN :	19.	12.	9.	6.	4.	1. PCT. AF AARSY

	-1.7	2.0	5.1	9.1	14.3	21.7
TRANS.TAB. INDEX :	-1.7	2.0	5.1	9.1	14.3	21.7 PCT. V. 0.4 W
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.1	3.4	7.6	15.1	27.1 PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3863. -79. *T + 0.47 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 30° (med vandret) solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4247. MJ/M2 (1180. KWH/M2) (41. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3179.	2020.	1410.	962.	623.	371.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	885.	403.	225.	120.	58.	24.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4064.	2424.	1635.	1082.	682.	395.	MJ/M2

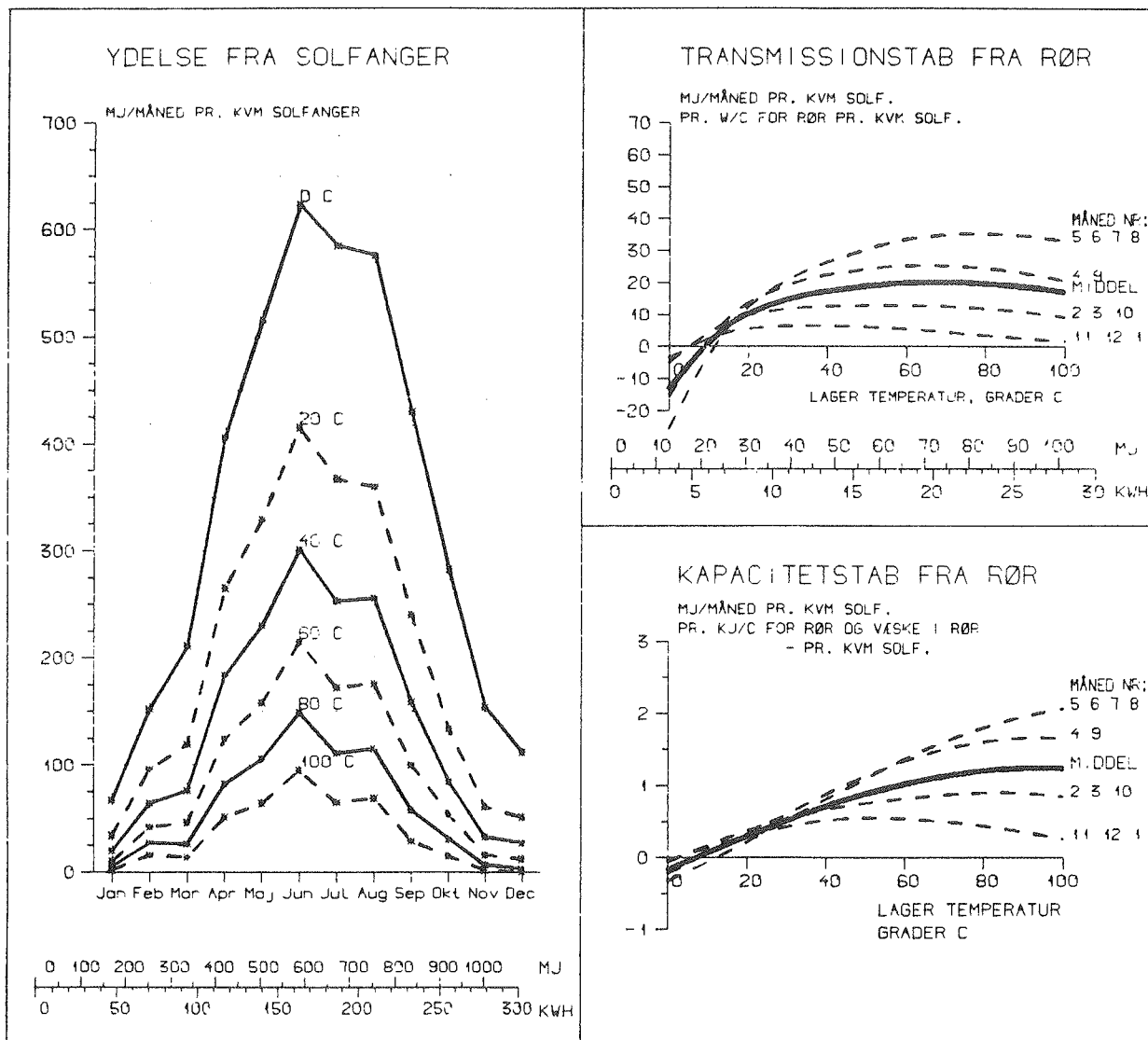
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	883.	561.	392.	267.	173.	103.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	246.	112.	63.	33.	16.	7.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1129.	673.	454.	300.	189.	110.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	7074.	2734.	1798.	1291.	922.	629.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	96.	57.	38.	25.	16.	9.	PCT. AF TOT.
PCT. I VINTERPERIODEN	22.	17.	14.	11.	9.	6.	PCT. AF AARSY

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.6	2.0	5.0	8.6	13.4	20.0	PCT. V. 0.4 W
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.0	3.5	7.5	13.9	24.4	PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4064. -79. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 45° (med vandret) solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	3133.	1977.	1381.	947.	619.	373.
YDELSE VINTER YV(T) :	979.	495.	304.	180.	99.	49.
YDELSE AARET Y(T) :	4112.	2471.	1686.	1127.	718.	422.

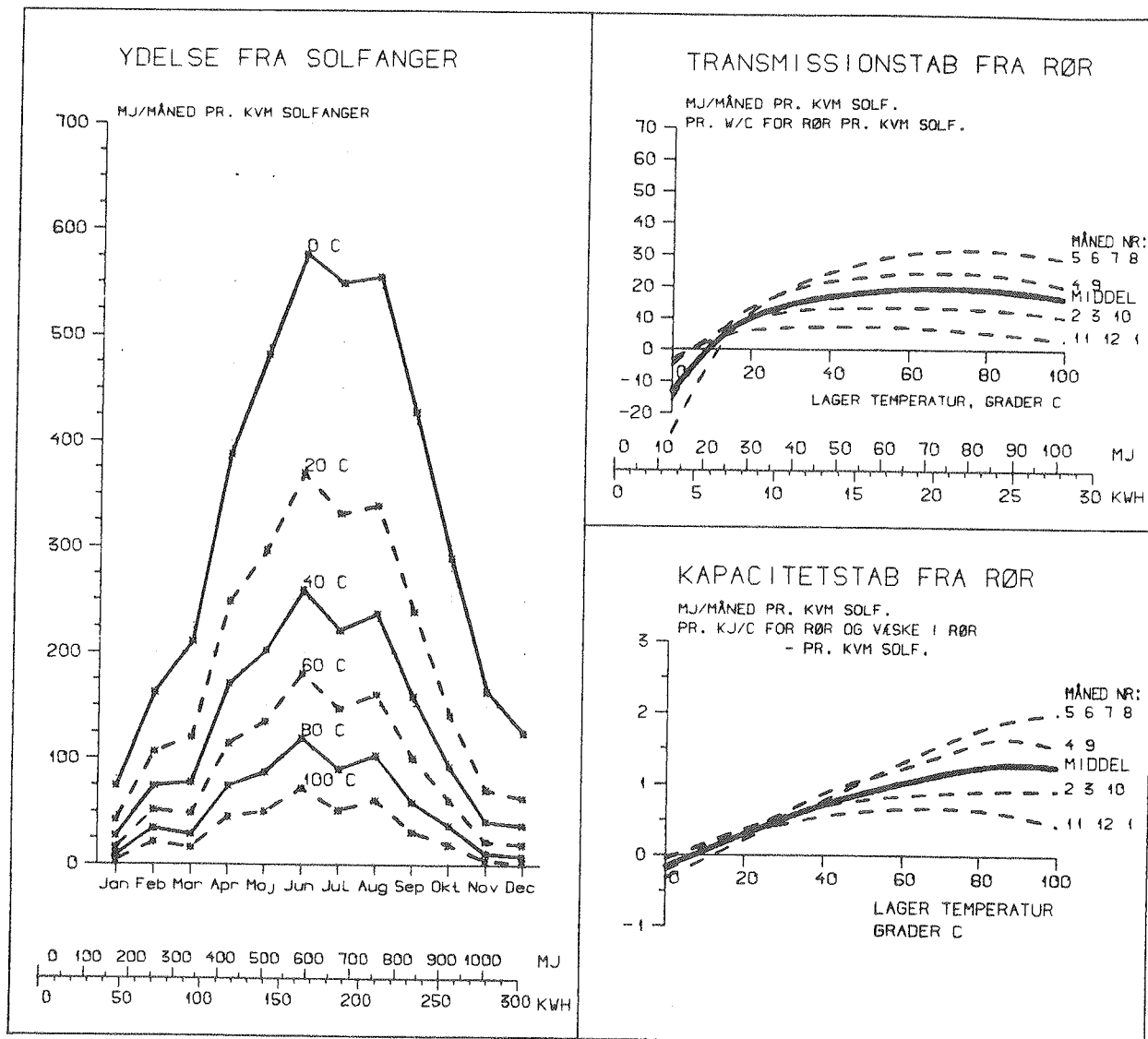
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	870.	549.	384.	263.	172.	104.
YDELSE VINTER YV(T) :	272.	137.	85.	50.	27.	14.
YDELSE AARET Y(T) :	1142.	687.	468.	313.	199.	117.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7072.	2736.	1794.	1305.	947.	649.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	96.	58.	39.	26.	17.	10.
PCT. I VINTERPERIODEN :	24.	20.	18.	16.	14.	12.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.6	2.0	4.9	8.5	13.2	19.5
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.0	3.5	7.6	14.1	24.7

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4112. -79. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 60° (med vandret) solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4131. MJ/M2 (1148. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2976.	1823.	1249.	838.	533.	308.
YDELSE VINTER YV(T) :	1025.	545.	349.	217.	126.	67.
YDELSE AARET Y(T) :	4001.	2368.	1598.	1055.	659.	375.

MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	827.	506.	347.	233.	148.	86.
YDELSE VINTER YV(T) :	285.	151.	97.	60.	35.	18.
YDELSE AARET Y(T) :	1111.	658.	444.	293.	183.	104.

KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7062.	2692.	1730.	1253.	911.	617.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	97.	57.	39.	26.	16.	9.
PCT. I VINTERPERIODEN:	26.	23.	22.	21.	19.	18.

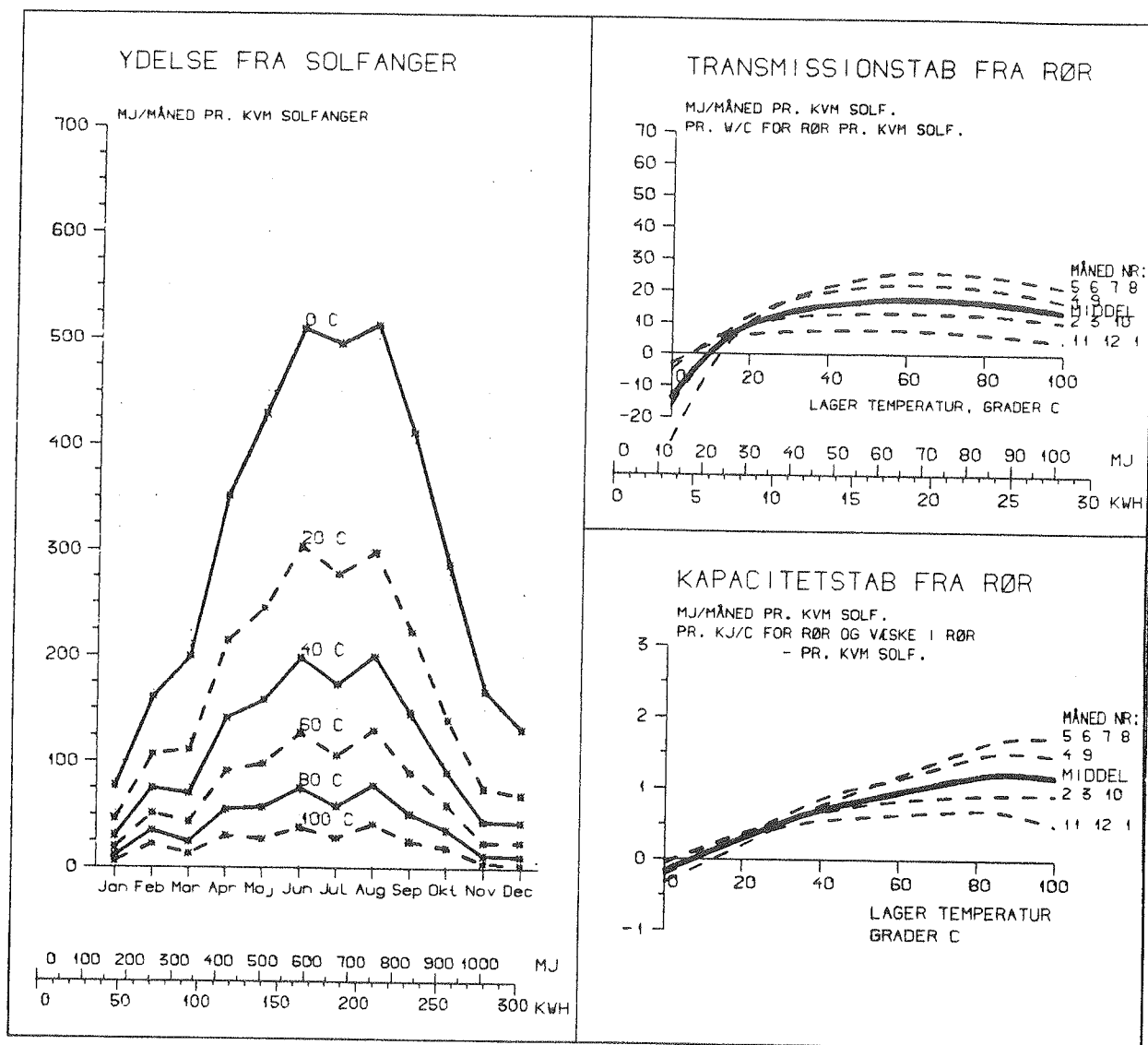
TIMER PR. AAR
PCT. AF TOT.
PCT. AF AARSY

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.6	2.0	5.0	8.7	13.9	21.0
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.0	3.7	8.0	15.8	28.1

PCT. V. 0.4 W
PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4001. -78. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 75° (med vandret) solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3786. MJ/M2 (1052. KWH/M2) (42. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2709.	1561.	1015.	642.	374.	188.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	1023.	548.	354.	221.	129.	68.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3732.	2109.	1369.	863.	503.	257.	MJ/M2

	753.	434.	282.	178.	104.	52.	
YDELSE SOMMER YS(T)	753.	434.	282.	178.	104.	52.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	284.	152.	98.	61.	36.	19.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1037.	586.	380.	240.	140.	71.	KWH/M2

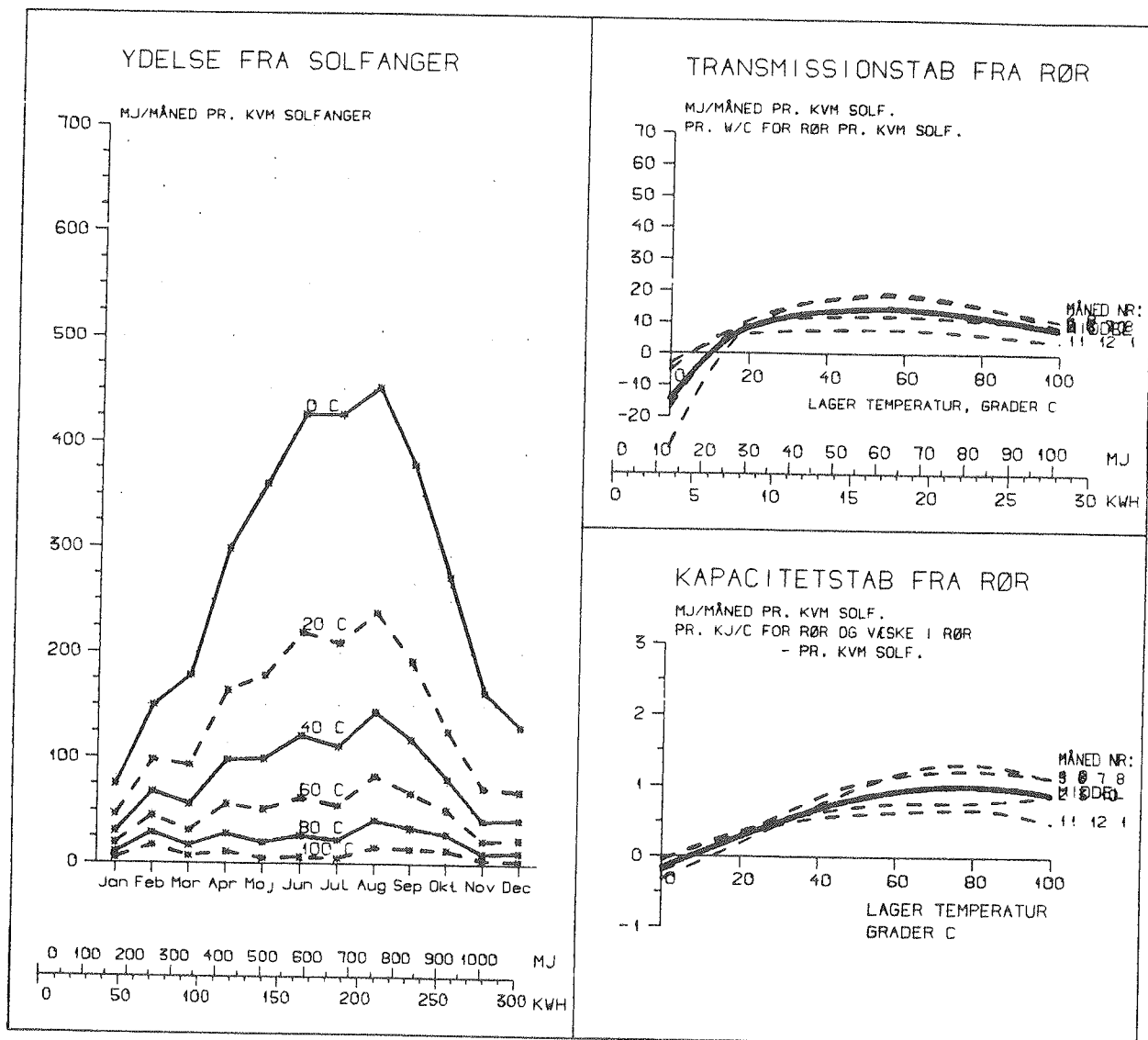
	7033.	2617.	1624.	1147.	790.	509.	
DRIFTSTID	7033.	2617.	1624.	1147.	790.	509.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	99.	56.	36.	23.	13.	7.	PCT. AF TOT.
PCT. I VINTERPERIODEN:	27.	26.	26.	26.	26.	27.	PCT. AF AARSY

	-1.8	2.1	5.4	9.7	15.8	25.2	
TRANS.TAB. INDEX	-1.8	2.1	5.4	9.7	15.8	25.2	PCT. V. 0.4 W
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.1	4.3	9.2	19.6	38.3	PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3732. -78. *T + 0.47 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 90° (lodret)

solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3259. MJ/M2 (905. KWH/M2) (45. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2342.	1199.	690.	374.	171.	56.
YDELSE VINTER YV(T)	969.	504.	317.	191.	106.	50.
YDELSE AARET Y(T)	3311.	1703.	1007.	565.	276.	106.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	650.	333.	192.	104.	47.	16.
YDELSE VINTER YV(T)	269.	140.	88.	53.	29.	14.
YDELSE AARET Y(T)	920.	473.	280.	157.	77.	30.

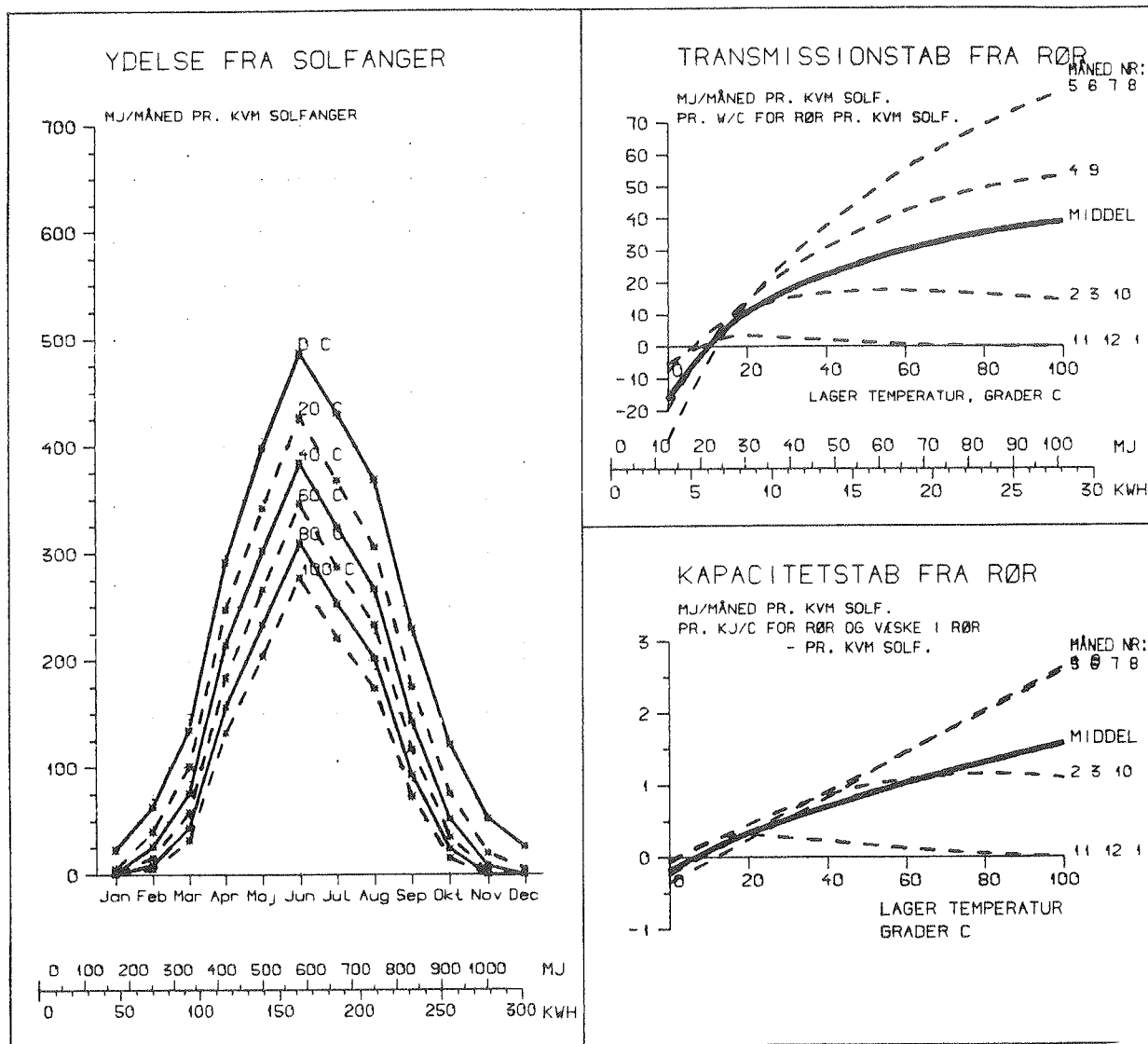
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	6973.	2507.	1446.	951.	570.	296.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	102.	52.	31.	17.	8.	3.
PCT. I VINTERPERIODEN	29.	30.	32.	34.	38.	47.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-2.2	2.3	6.4	12.1	20.6	35.6
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.4	5.6	13.8	30.4	70.4

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3311. -77. *T + 0.49 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 0° (vandret)

solfanger B



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3669. MJ/M2 (1019. KWH/M2) (49. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2207.	1864.	1635.	1431.	1249.	1082. MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	422.	246.	163.	112.	77.	52. MJ/M2
YDELSE AARET Y(T) :	2629.	2110.	1798.	1543.	1325.	1134. MJ/M2

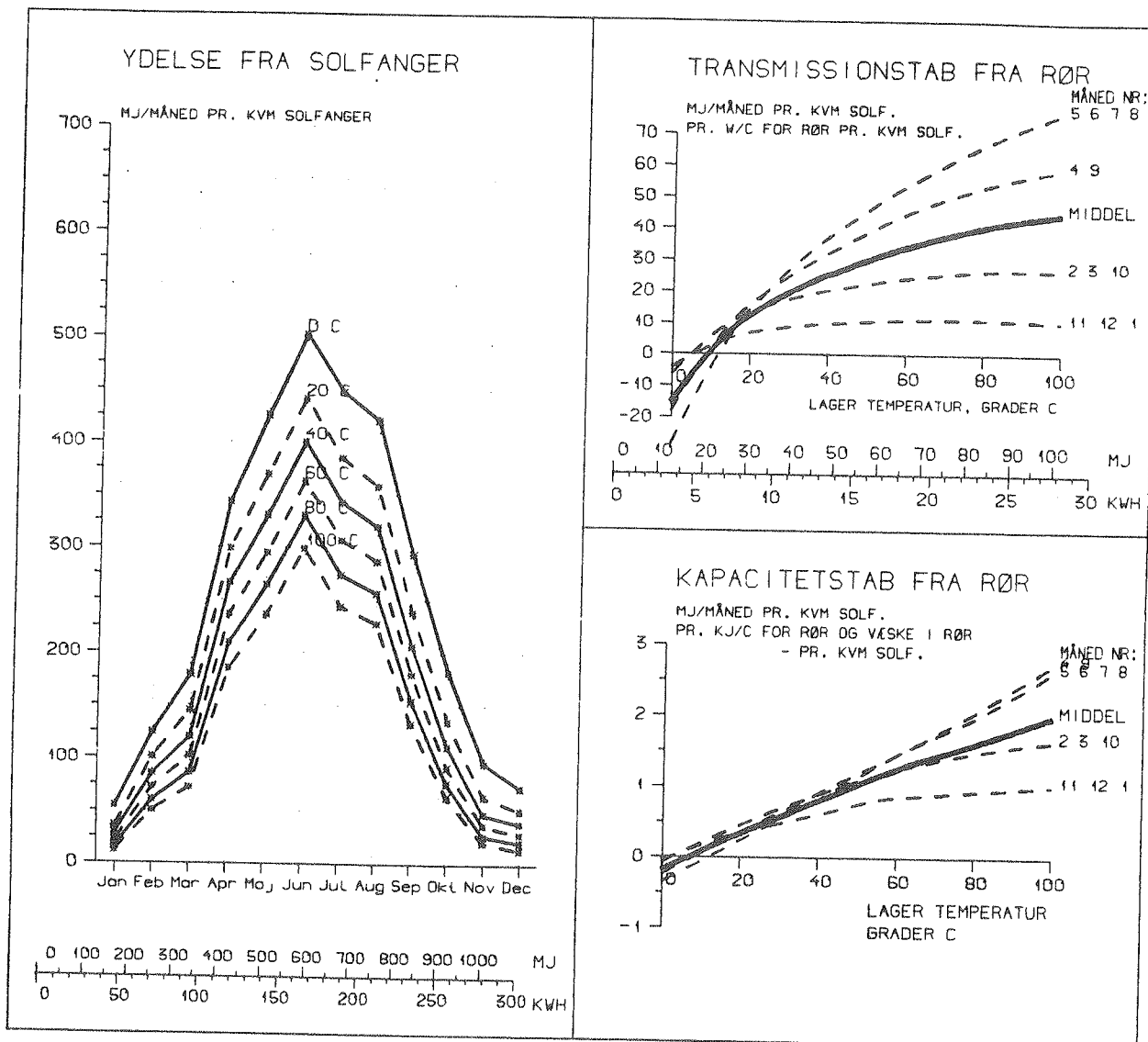
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	613.	518.	454.	398.	347.	301. KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	117.	68.	45.	31.	21.	14. KWH/M2
YDELSE AARET Y(T) :	730.	586.	499.	429.	368.	315. KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7155.	3147.	2425.	1999.	1698.	1462. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	72.	58.	49.	42.	36.	31. PCT. AF TOT.
PCT. I VINTERPERIODEN:	16.	12.	9.	7.	6.	5. PCT. AF AARSY

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-3.0	2.4	6.0	9.4	12.9	16.5 PCT. V. 0.4 W
KAP.TAB. INDEX :	-0.6	1.3	3.3	5.6	8.3	11.7 PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2629. -25. *T + 0.11 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 30° (med vandret) solfanger B



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4241. MJ/M2 (1178. KWH/M2) (41. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2433.	2091.	1866.	1667.	1488.	1326.
YDELSE VINTER YV(T)	709.	531.	432.	353.	287.	234.
YDELSE AARET Y(T)	3142.	2622.	2298.	2020.	1775.	1559.

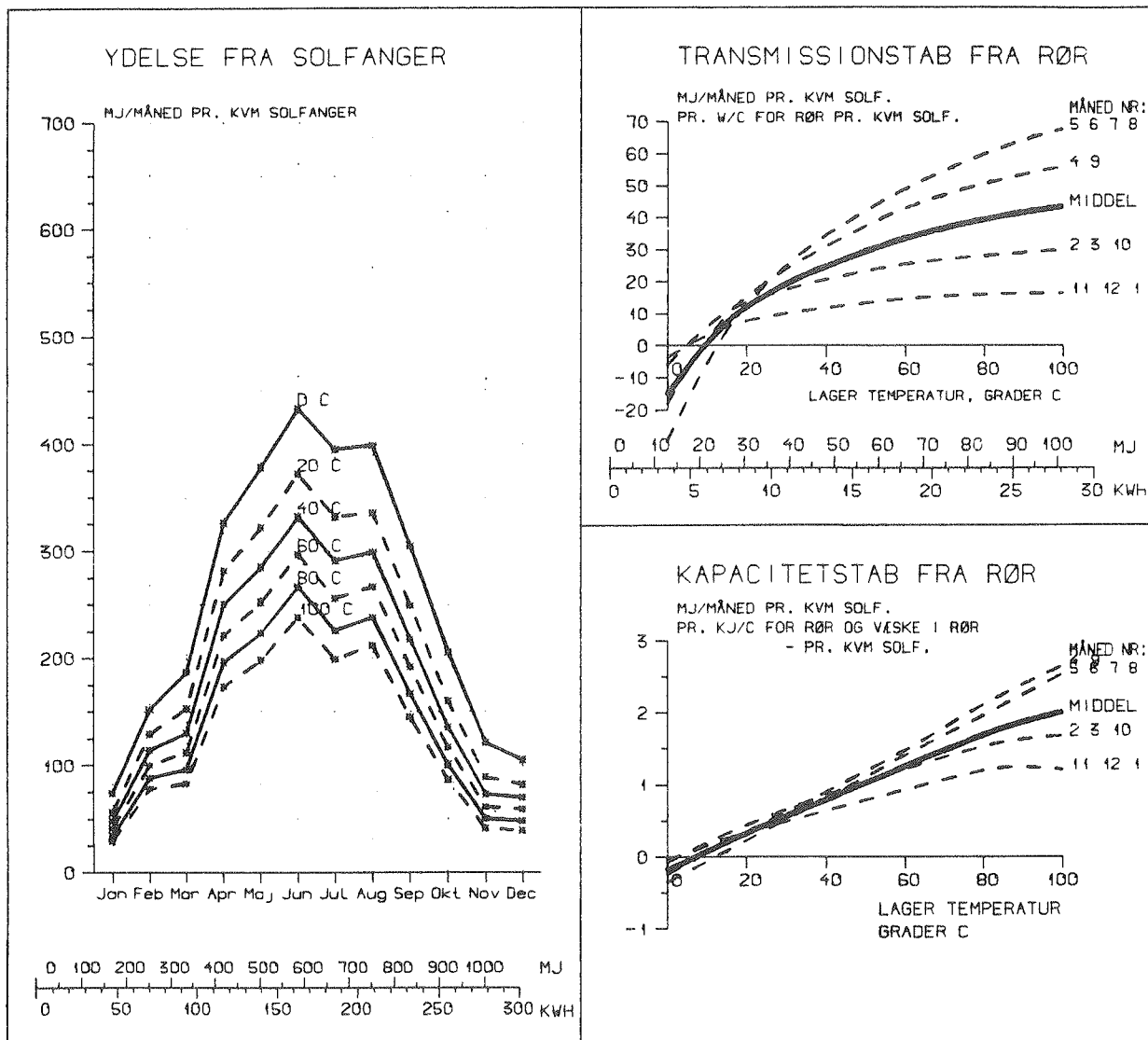
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	676.	581.	518.	463.	413.	368.
YDELSE VINTER YV(T)	197.	147.	120.	98.	80.	65.
YDELSE AARET Y(T)	873.	728.	638.	561.	493.	433.

	7178.	3250.	2578.	2170.	1874.	1629.
DRIFTSTID	7178.	3250.	2578.	2170.	1874.	1629.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	74.	62.	54.	48.	42.	37.
PCT. I VINTERPERIODEN	23.	20.	19.	17.	16.	15.

	-2.3	2.3	5.3	8.1	11.0	13.8
TRANS.TAB. INDEX	-2.3	2.3	5.3	8.1	11.0	13.8
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.1	2.9	5.2	7.6	10.7

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3142. -25. *T + 0.10 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 60° (med vandret) solfanger B



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4124. MJ/M2 (1146. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2235.	1894.	1675.	1485.	1318.	1165.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	845.	669.	571.	489.	418.	357.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3080.	2563.	2246.	1974.	1736.	1522.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	621.	526.	465.	413.	366.	324.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	235.	186.	159.	136.	116.	99.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	856.	712.	624.	548.	482.	423.	KWH/M2

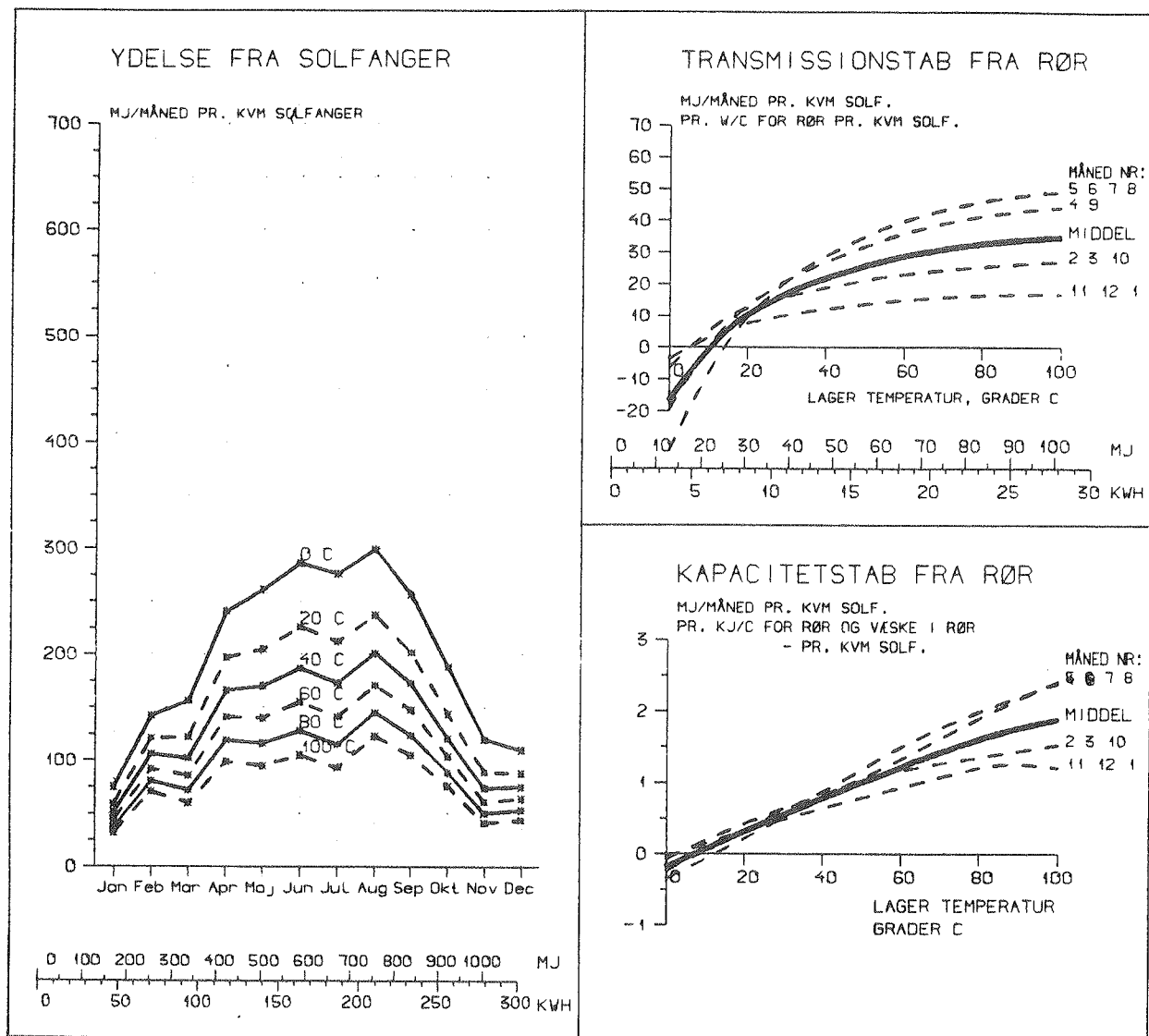
	7162.	3192.	2516.	2109.	1805.	1568.	
DRIFTSTID	7162.	3192.	2516.	2109.	1805.	1568.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	75.	62.	54.	48.	42.	37.	PCT. AF TOT.
PCT. I VINTERPERIODEN	27.	26.	25.	25.	24.	23.	PCT. AF AARSY

	-2.4	2.3	5.3	8.1	10.9	13.7	
TRANS.TAB. INDEX	-2.4	2.3	5.3	8.1	10.9	13.7	PCT. V. 0.4 W
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.1	3.0	5.3	8.2	11.1	PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3080. -25. *T + 0.10 *T**2 (MJ/M2)

HÆLDNING 90° (lodret)

solfanger B



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3253. MJ/M2 (904. KWH/M2) (45. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	1619.	1280.	1069.	897.	748.	620.
YDELSE VINTER YV(T)	793.	623.	529.	451.	383.	324.
YDELSE AARET Y(T)	2412.	1902.	1598.	1347.	1131.	944.

Units: MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	450.	355.	297.	249.	208.	172.
YDELSE VINTER YV(T)	220.	173.	147.	125.	106.	90.
YDELSE AARET Y(T)	670.	528.	444.	374.	314.	262.

Units: KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	7133.	3048.	2315.	1863.	1528.	1270.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	74.	58.	49.	41.	35.	29.
PCT. I VINTERPERIODEN	33.	33.	33.	33.	34.	34.

Units: TIMER PR. AAR, PCT. AF TOT., PCT. AF AARSY

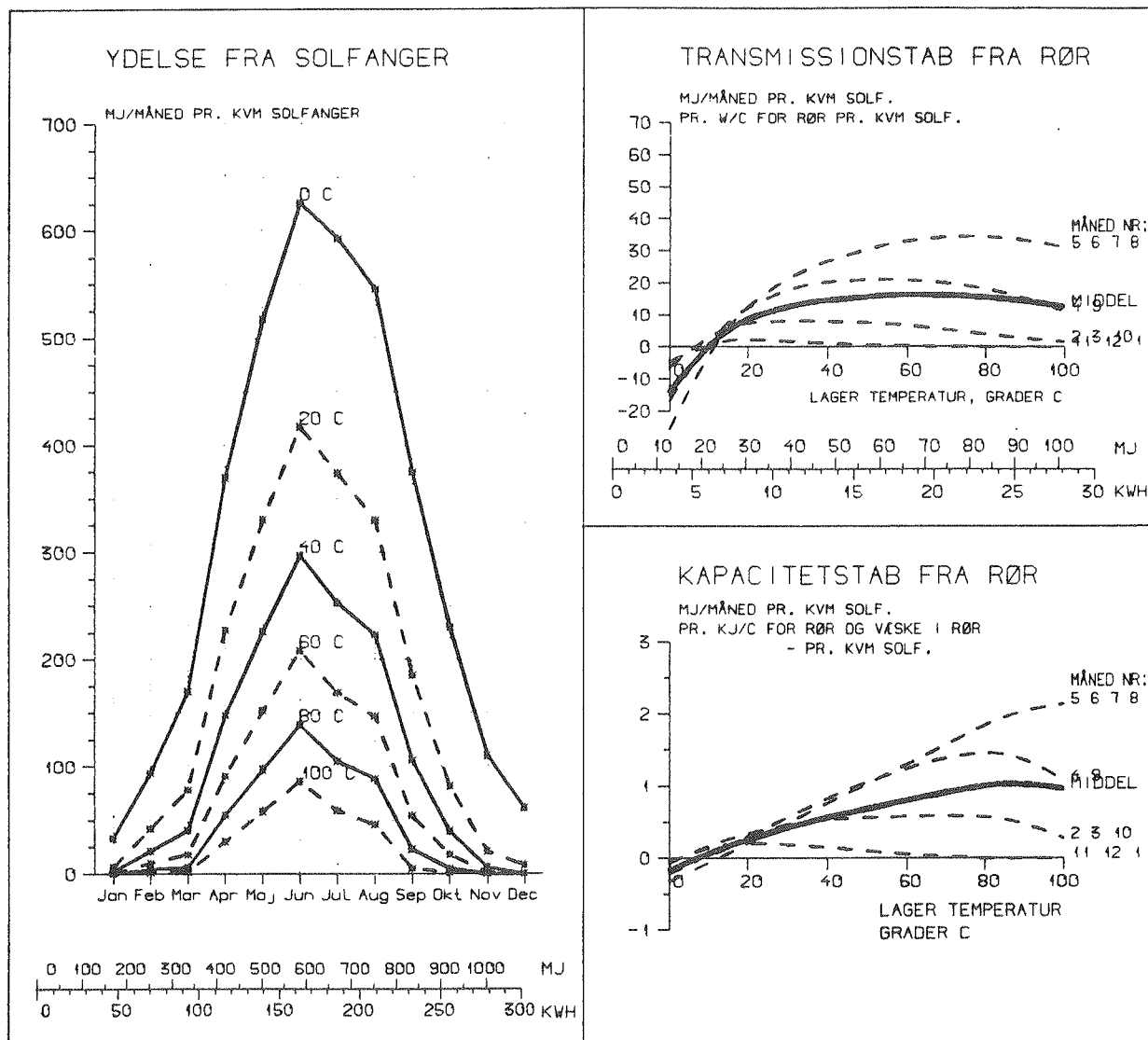
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-3.3	2.6	6.5	10.2	13.9	17.7
KAP.TAB. INDEX	-0.7	1.4	4.1	7.6	11.9	16.8

Units: PCT. V. 0.4 W, PCT. V. 7 KJ/

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2412. -25. *T + 0.11 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 67° fra syd

solfanger A, hældning 30°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3805. MJ/M2 (1057. KWH/M2) (46. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3025.	1862.	1252.	820.	507.	284.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	698.	238.	109.	47.	16.	3.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3724.	2100.	1360.	868.	522.	287.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	840.	517.	348.	228.	141.	79.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	194.	66.	30.	13.	4.	1.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1034.	583.	378.	241.	145.	80.	KWH/M2

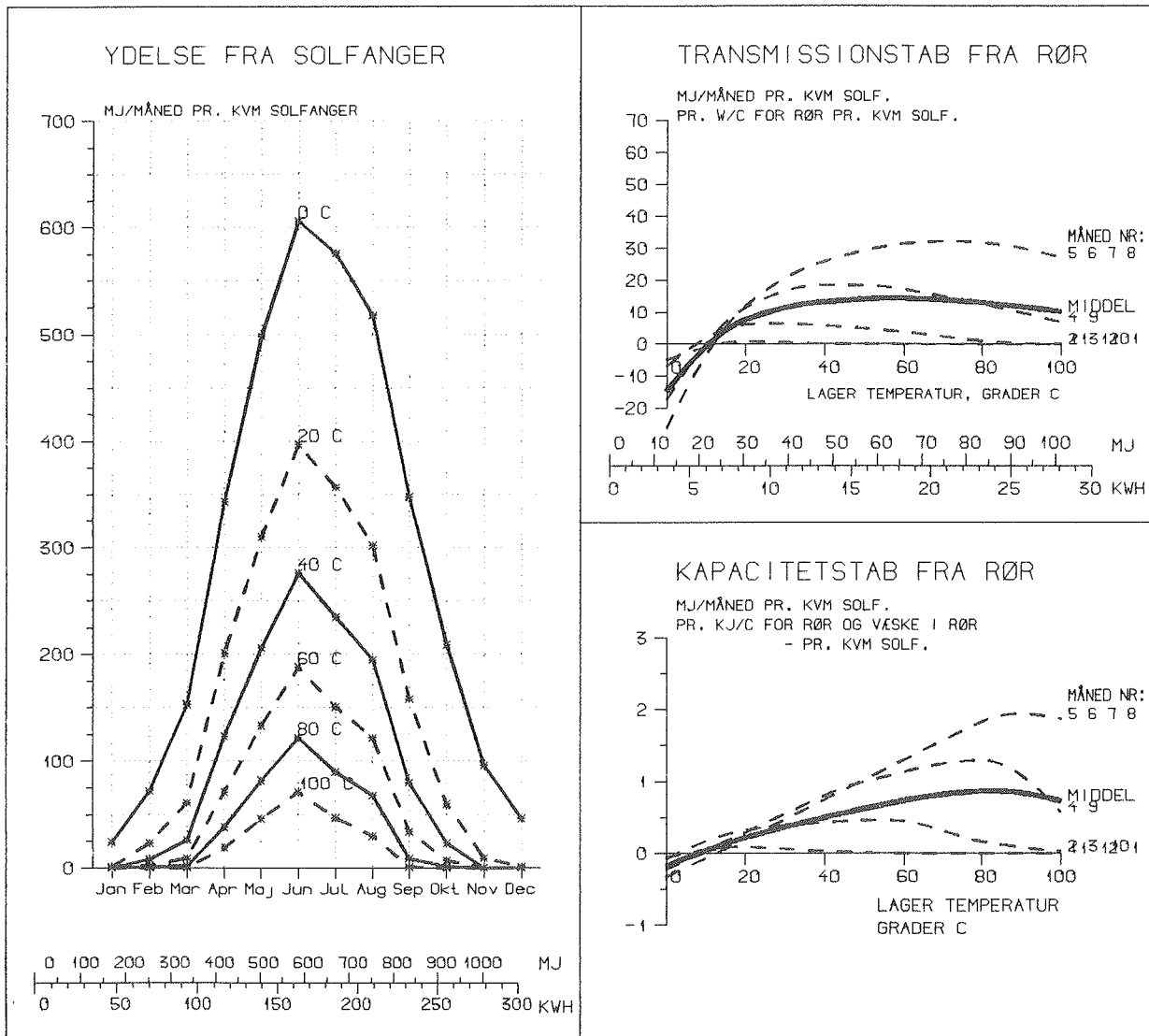
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	7028.	2571.	1619.	1112.	772.	491.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	98.	55.	36.	23.	14.	8.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	19.	11.	8.	5.	3.	1.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.8	2.0	5.1	8.9	14.2	21.0	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.0	3.5	7.7	16.0	28.2	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3724. -78. *T + 0.48 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 90° fra syd

solfanger A, hældning 30°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3506. MJ/M2 (974. KWH/M2) (50. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2889.	1724.	1114.	698.	408.	213.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	600.	155.	58.	18.	3.	0.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3489.	1879.	1172.	717.	411.	213.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	802.	479.	309.	194.	113.	59.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	167.	43.	16.	5.	1.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	969.	522.	326.	199.	114.	59.	KWH/M2

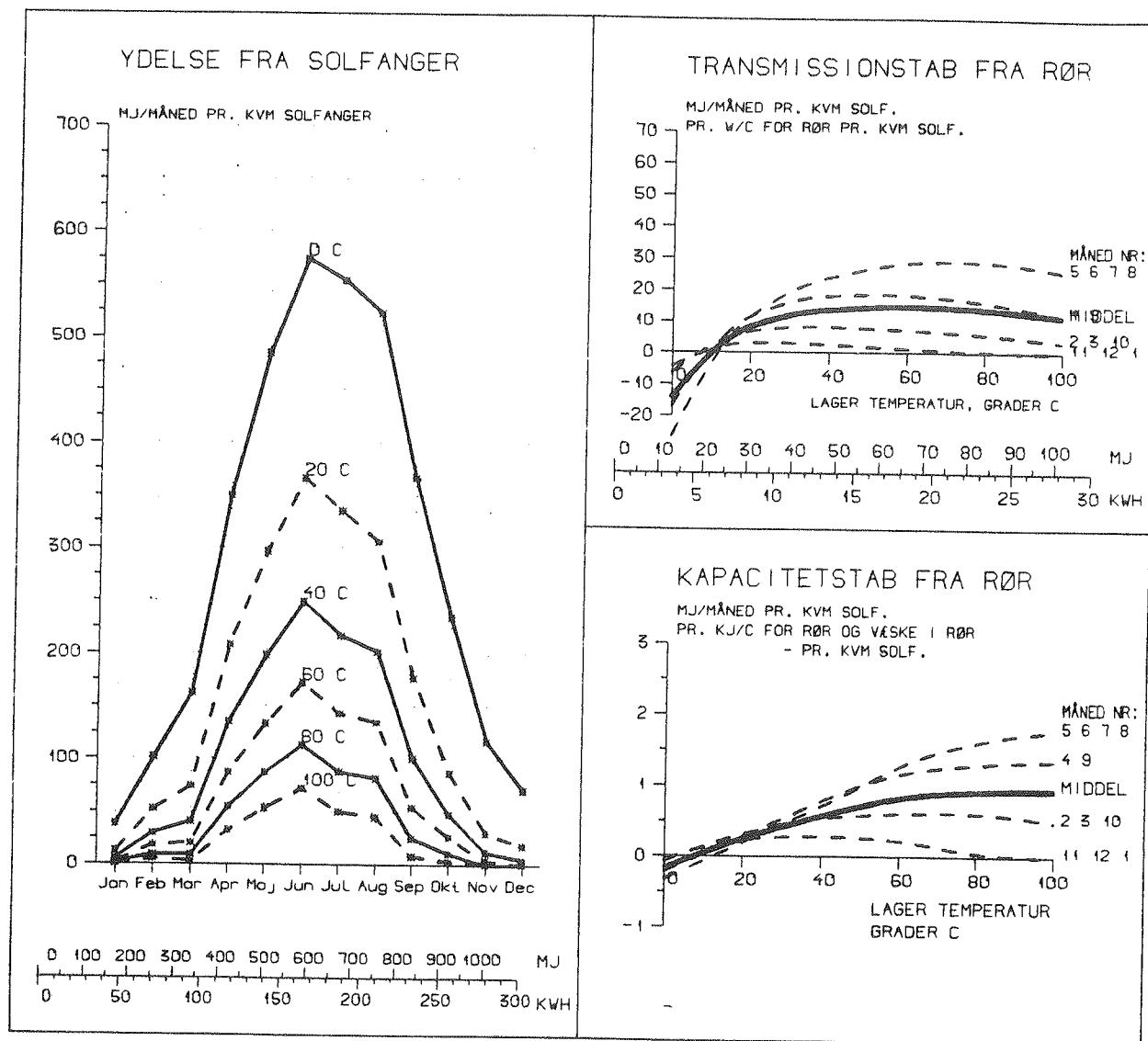
	7013.	2477.	1521.	1005.	657.	402.	
DRIFTSTID	7013.	2477.	1521.	1005.	657.	402.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	100.	54.	33.	20.	12.	6.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	17.	8.	5.	3.	1.	0.	PCT. AF AARSYDELSE

	-2.0	2.0	5.4	9.6	15.1	22.9	
TRANS.TAB. INDEX	-2.0	2.0	5.4	9.6	15.1	22.9	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.0	3.6	8.6	17.7	28.6	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3489. -77. *T + 0.49 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 67° fra syd

solfanger A, hældning 60°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3542. MJ/M2 (984. KWH/M2) (46. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2850.	1689.	1103.	722.	450.	259.
YDELSE VINTER YV(T) :	724.	274.	140.	70.	31.	11.
YDELSE AARET Y(T) :	3574.	1962.	1242.	793.	481.	270.

MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	792.	469.	306.	201.	125.	72.
YDELSE VINTER YV(T) :	201.	76.	39.	20.	8.	3.
YDELSE AARET Y(T) :	993.	545.	345.	220.	134.	75.

KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	6996.	2503.	1504.	999.	684.	439.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	101.	55.	35.	22.	14.	8.
PCT. I VINTERPERIODEN :	20.	14.	11.	9.	6.	4.

TIMER PR. AAR
PCT. AF TOT. SOL.
PCT. AF AARSYDELSE

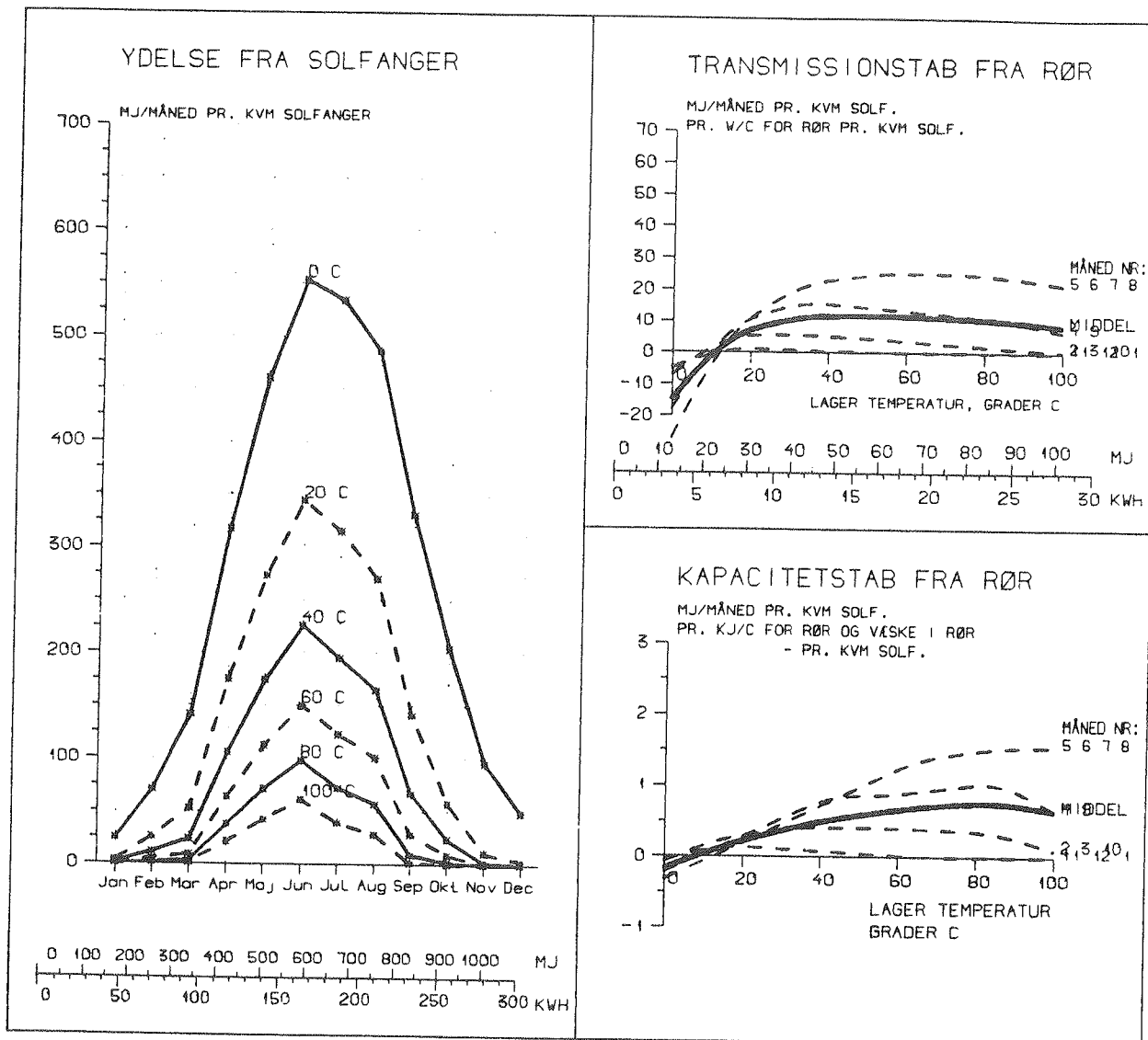
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.9	2.0	5.2	8.9	13.8	20.2
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.0	3.8	8.7	16.0	29.0

PCT. V. 0.4 W/(C M2)
PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3574. -78. *T + 0.49 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 90° fra syd

solfanger A, hældning 60°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3132. MJ/M2 (870. KWH/M2) (51. PCT. DIFFUS)

			0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE	SOMMER	YS(T)	: 2680.	1517.	931.	577.	344.	191.	MJ/M2
YDELSE	VINTER	YV(T)	: 585.	151.	60.	23.	6.	1.	MJ/M2
YDELSE	AARET	Y(T)	: 3265.	1668.	992.	600.	350.	192.	MJ/M2

YDELSE SOMMER	YS(T)	:	744.	422.	259.	160.	96.	53.	KWH/M2
YDELSE VINTER	YV(T)	:	162.	42.	17.	6.	2.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET	Y(T)	:	907.	463.	276.	167.	97.	53.	KWH/M2

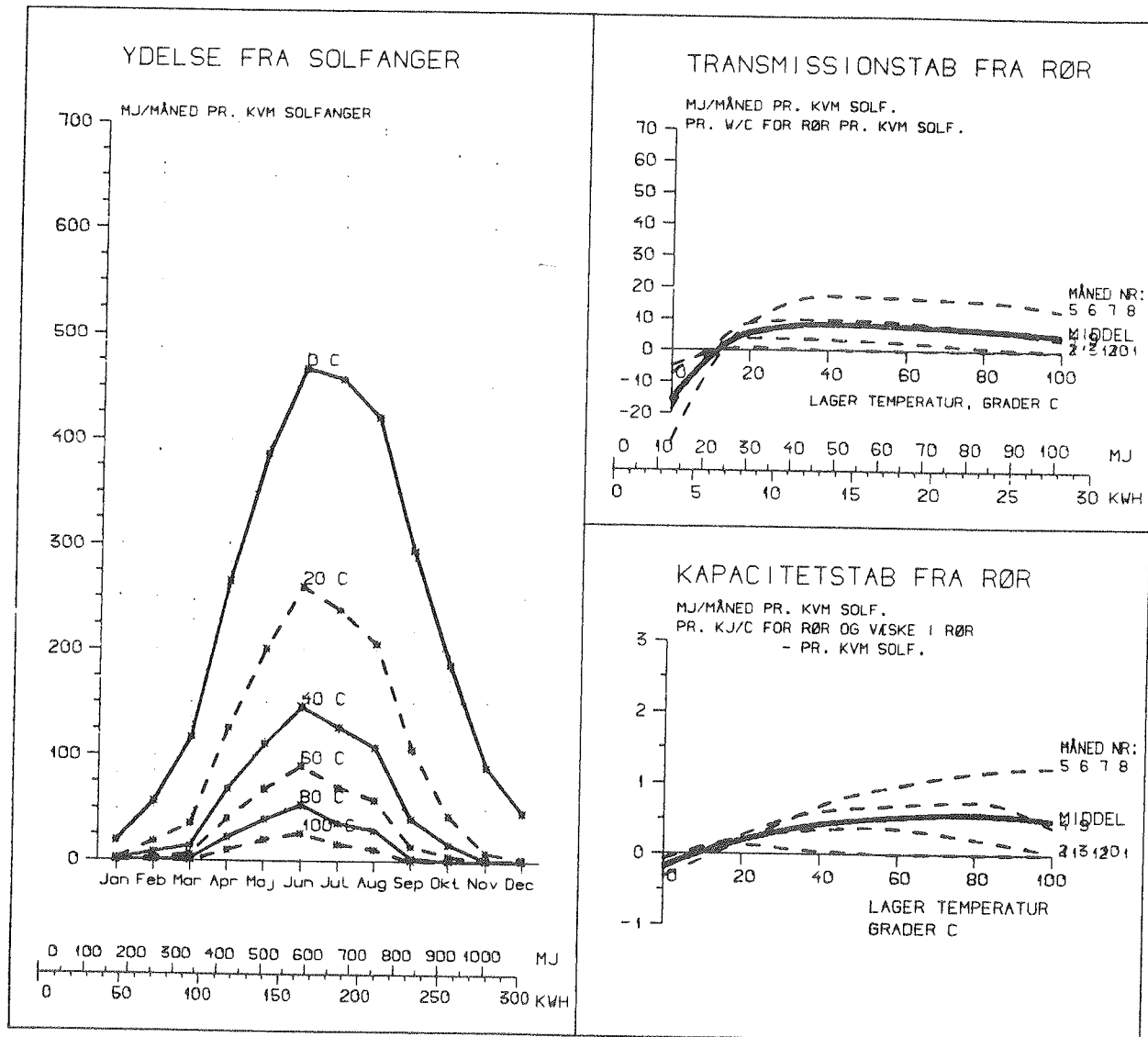
DRIFTSTID	:	6974.	2391.	1344.	807.	525.	329.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	:	104.	53.	32.	19.	11.	6.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN:	:	18.	9.	6.	4.	2.	1.	PCT. AF AARSYDELSE

TRANS. TAB. INDEX	:	-2.2	2.0	5.6	9.2	14.4	21.0	PCT. V.	0.4	W/(C M2)
KAP. TAB. INDEX	:	-0.5	1.1	4.1	9.3	18.1	28.2	PCT. V.	7	KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3265. -77. *T + 0.51 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 90° fra syd

solfanger A, hældning 90°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 2477. MJ/M2 (688. KWH/M2) (55. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2291.	1137.	600.	339.	182.	83.
YDELSE VINTER YV(T) :	514.	109.	39.	14.	3.	0.
YDELSE AARET Y(T) :	2805.	1245.	639.	353.	185.	83.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	636.	316.	167.	94.	51.	23.
YDELSE VINTER YV(T) :	143.	30.	11.	4.	1.	0.
YDELSE AARET Y(T) :	779.	346.	177.	98.	51.	23.

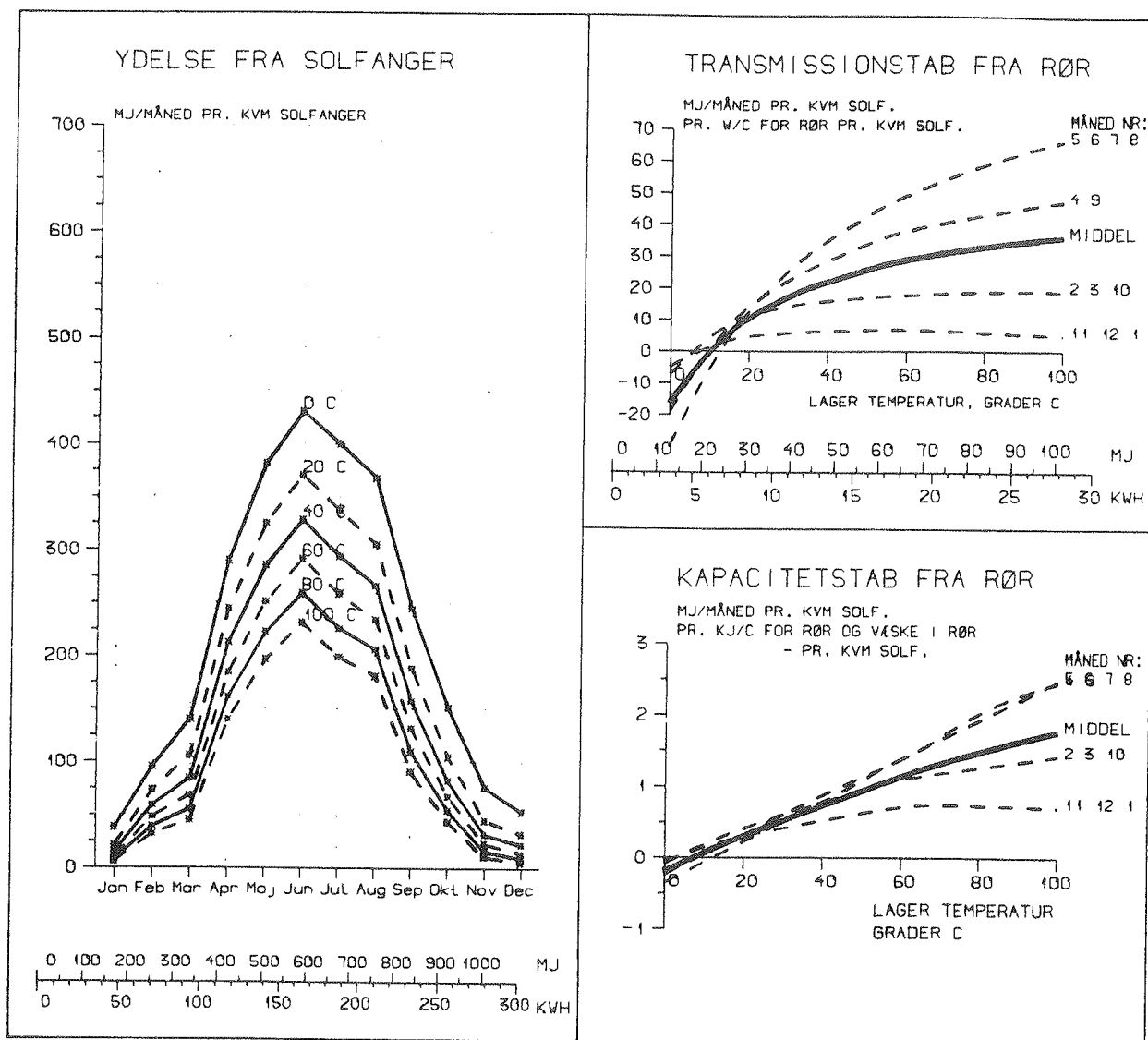
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	6848.	2203.	1020.	544.	336.	194.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	113.	50.	26.	14.	7.	3.
PCT. I VINTERPERIODEN :	18.	9.	6.	4.	1.	1.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-2.7	2.1	6.3	10.4	17.2	28.2
KAP.TAB. INDEX :	-0.5	1.3	5.5	12.4	25.4	48.5

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2805. -76. *T + 0.54 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 67° fra syd

solfanger B, hældning 60°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3538. MJ/M2 (983. KWH/M2) (46. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2113.	1769.	1543.	1350.	1185.	1039.
YDELSE VINTER YV(T)	554.	381.	295.	232.	182.	143.
YDELSE AARET Y(T)	2667.	2151.	1838.	1582.	1367.	1182.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	587.	491.	428.	375.	329.	289.
YDELSE VINTER YV(T)	154.	106.	82.	64.	51.	40.
YDELSE AARET Y(T)	741.	597.	510.	439.	380.	328.

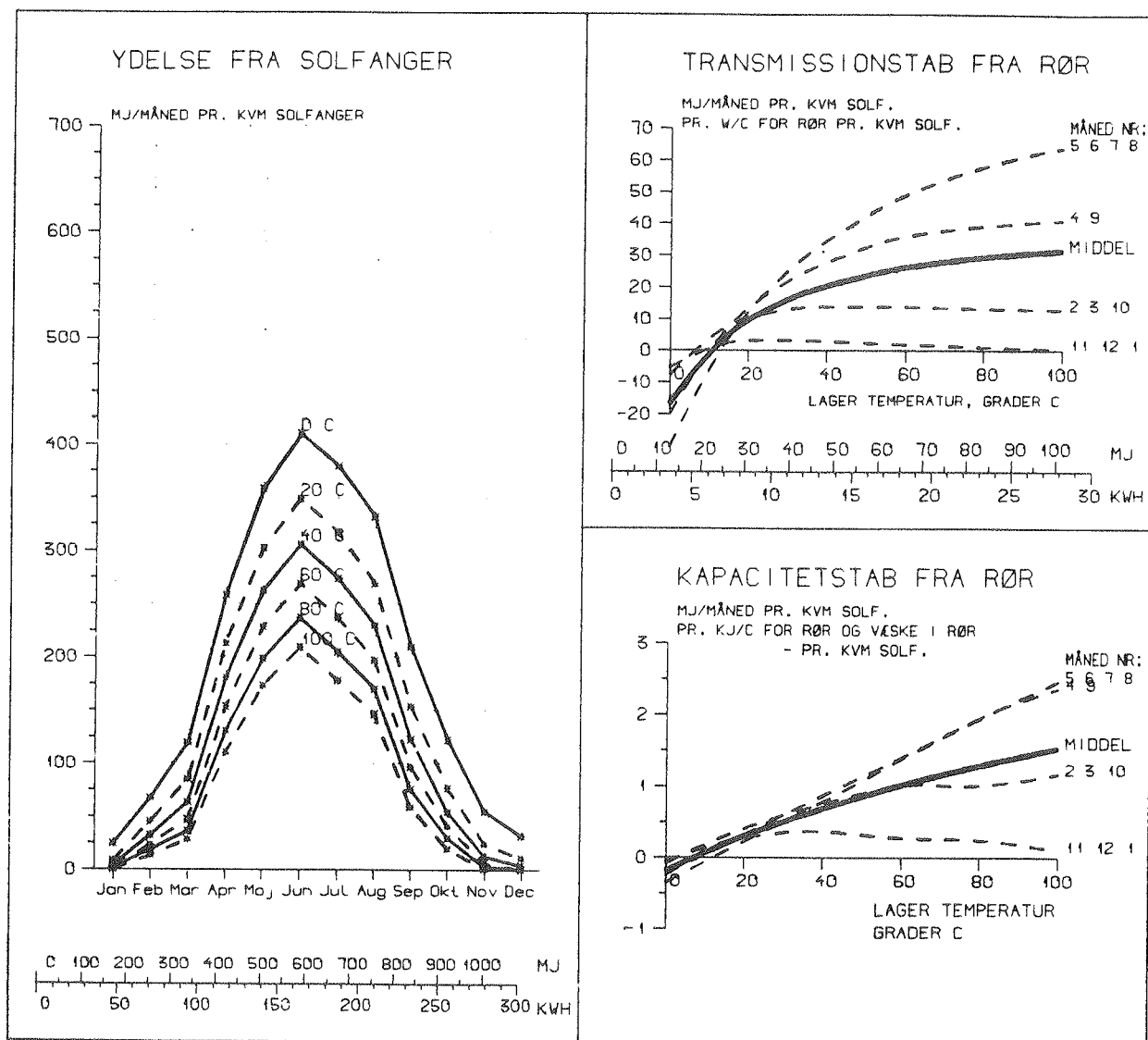
	7108.	3059.	2345.	1887.	1558.	1330.
DRIFTSTID	7108.	3059.	2345.	1887.	1558.	1330.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	75.	61.	52.	45.	39.	33.
PCT. I VINTERPERIODEN	21.	18.	16.	15.	13.	12.

	-2.9	2.3	5.7	8.8	11.6	14.6
TRANS.TAB. INDEX	-2.9	2.3	5.7	8.8	11.6	14.6
KAP.TAB. INDEX	-0.6	1.2	3.3	6.1	9.1	12.5

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2667. -25. *T + 0.11 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 90° fra syd

solfanger B, hældning 60°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3130. MJ/M2 (869. KWH/M2) (51. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1948.	1604.	1375.	1182.	1017.	874.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	421.	249.	170.	120.	87.	63.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	2369.	1853.	1545.	1302.	1104.	937.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	541.	446.	382.	328.	282.	243.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	117.	69.	47.	33.	24.	17.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	658.	515.	429.	362.	307.	260.	KWH/M2

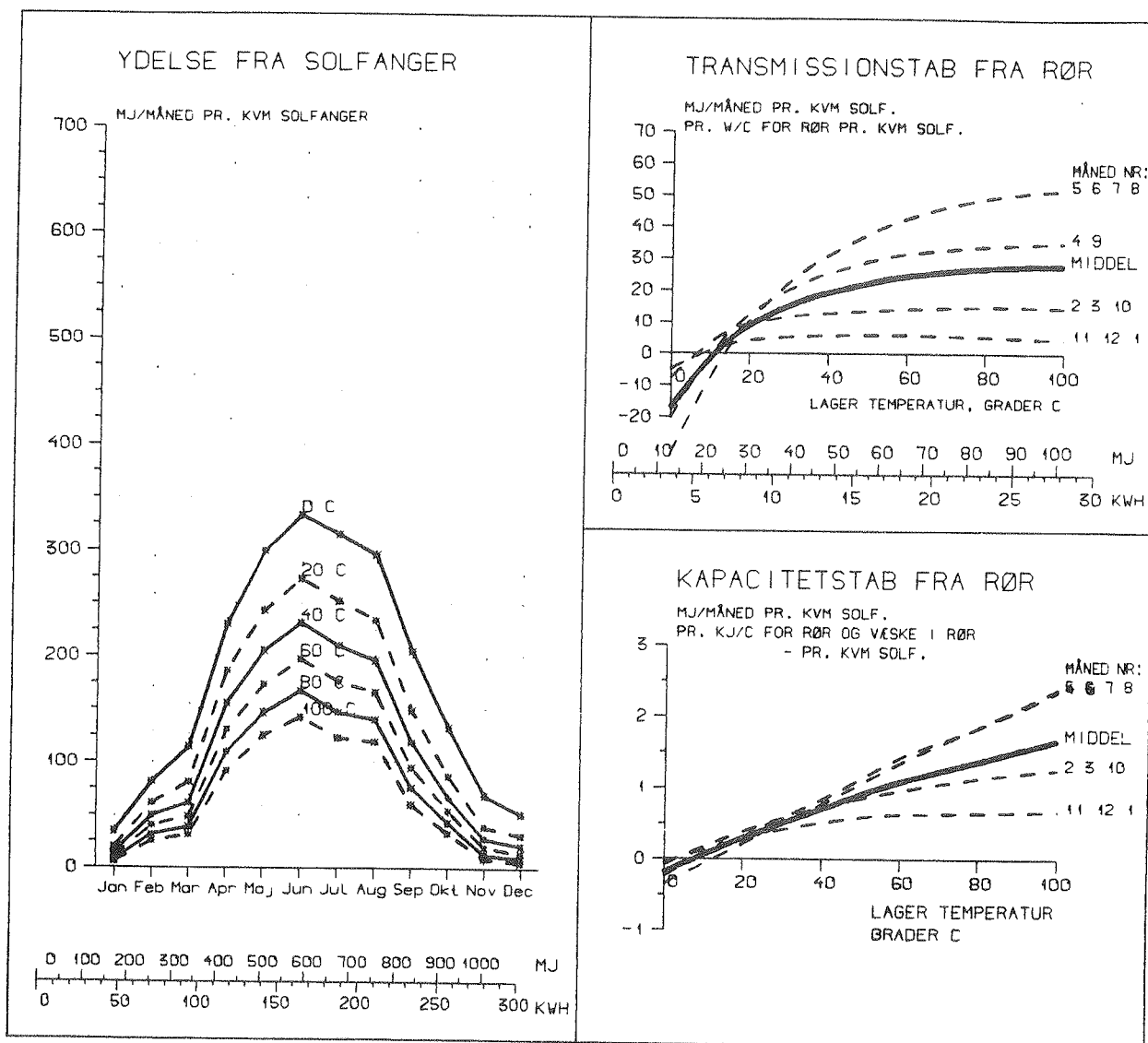
	7105.	3002.	2257.	1760.	1414.	1178.	
DRIFTSTID	7105.	3002.	2257.	1760.	1414.	1178.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	76.	59.	49.	42.	35.	30.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	18.	13.	11.	9.	8.	7.	PCT. AF AARSYDELSE

	-3.4	2.5	6.3	9.7	12.8	16.1	
TRANS.TAB. INDEX	-3.4	2.5	6.3	9.7	12.8	16.1	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.7	1.3	3.7	6.5	9.8	13.7	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2369. -25. *T + 0.12 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 67° fra syd

solfanger B, hældning 90°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 2821. MJ/M2 (783. KWH/M2) (50. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	1679.	1337.	1116.	935.	786.	660.
YDELSE VINTER YV(T)	482.	317.	240.	184.	141.	109.
YDELSE AARET Y(T)	2161.	1654.	1356.	1120.	927.	769.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	466.	371.	310.	260.	218.	183.
YDELSE VINTER YV(T)	134.	88.	67.	51.	39.	30.
YDELSE AARET Y(T)	600.	459.	377.	311.	258.	214.

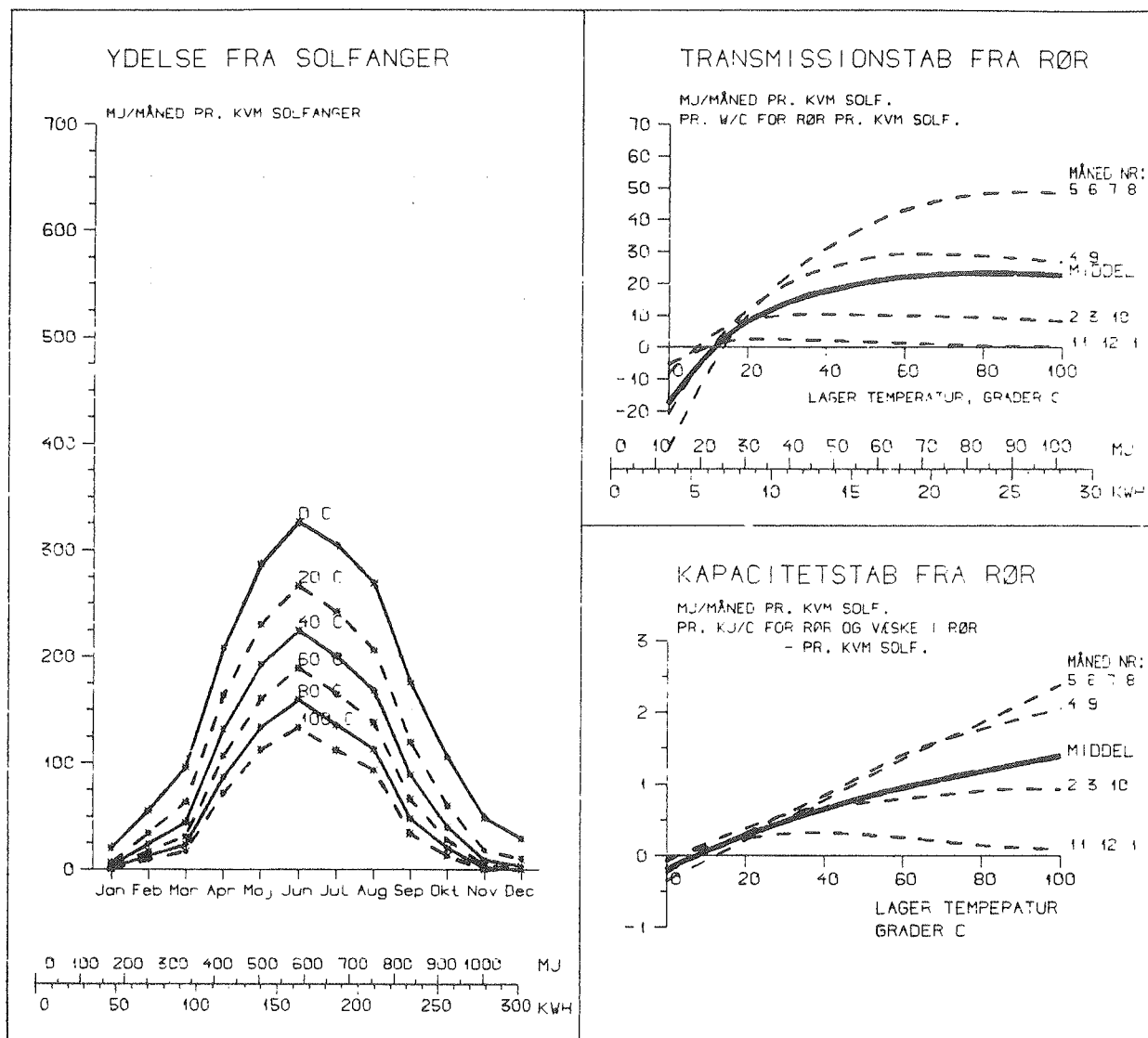
	7063.	2890.	2150.	1650.	1301.	1044.
DRIFTSTID	7063.	2890.	2150.	1650.	1301.	1044.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	77.	59.	48.	40.	33.	27.
PCT. I VINTERPERIODEN	22.	19.	18.	16.	15.	14.

	-3.8	2.6	6.8	10.5	14.0	17.4
TRANS.TAB. INDEX	-3.8	2.6	6.8	10.5	14.0	17.4
KAP.TAB. INDEX	-0.8	1.5	4.4	8.1	12.4	18.2

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 2161. -25. *T + 0.12 *T**2 (MJ/M2)

ORIENTERING 90° fra syd

solfanger B, hældning 90°



SOLINDFALD PAA SOLF. : 2477. MJ/M2 (688. KWH/M2) (55. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1570.	1228.	1005.	823.	674.	554.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	355.	191.	123.	83.	58.	40.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	1925.	1419.	1128.	906.	732.	594.	MJ/M2

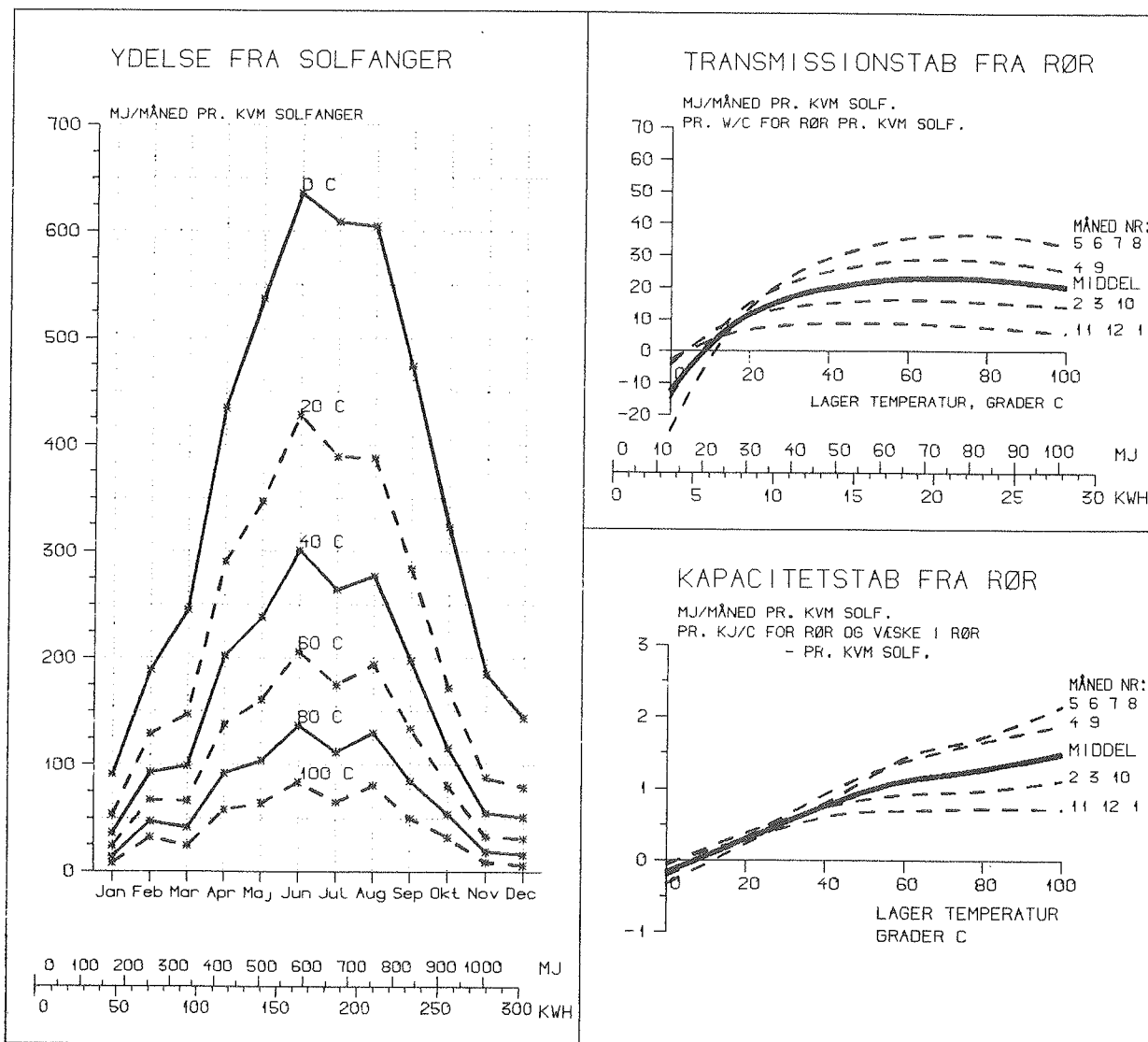
	436.	341.	279.	229.	187.	154.	
YDELSE SOMMER YS(T)	436.	341.	279.	229.	187.	154.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	99.	53.	34.	23.	16.	11.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	535.	394.	313.	252.	203.	165.	KWH/M2

	7059.	2825.	2052.	1529.	1145.	863.	
DRIFTSTID	7059.	2825.	2052.	1529.	1145.	863.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	78.	57.	46.	37.	30.	24.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	18.	13.	11.	9.	8.	7.	PCT. AF AARSYDELSE

	-4.4	2.7	7.5	11.7	15.3	18.4	
TRANS.TAB. INDEX	-4.4	2.7	7.5	11.7	15.3	18.4	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.8	1.6	4.8	8.8	13.5	19.7	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 1925. -25. *T + 0.13 *T**2 (MJ/M2)

JORDREFLEKSION solfanger A, hældning 90° . Jordrefleksion 1,0



SOLINDFALD PAA SOLF. : 5058. MJ/M2 (1405. KWH/M2) (64. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	3294.	2125.	1480.	1009.	660.	401.
YDELSE VINTER YV(T) :	1177.	670.	451.	300.	190.	113.
YDELSE AARET Y(T) :	4471.	2795.	1931.	1308.	851.	513.

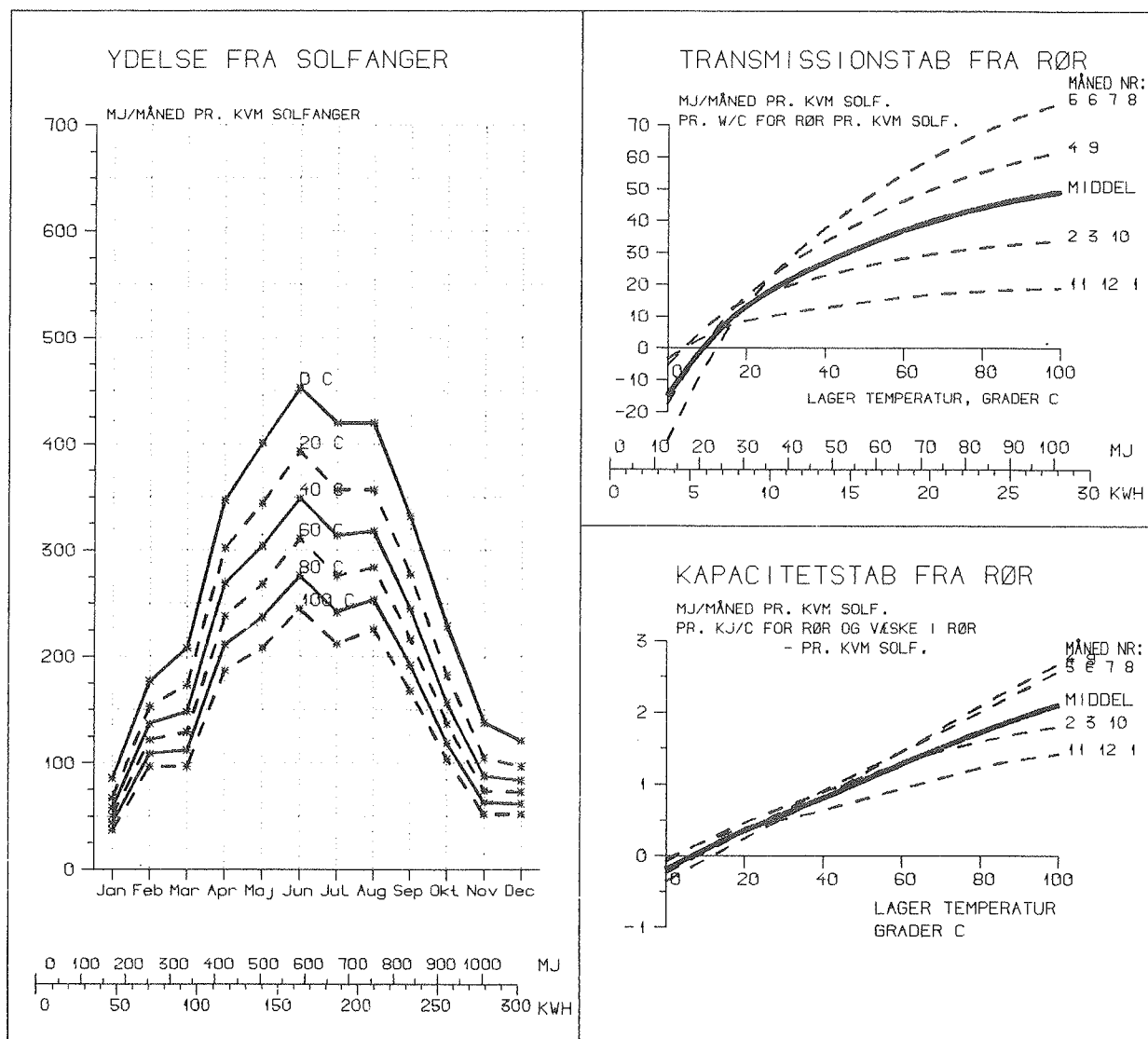
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	915.	590.	411.	280.	183.	111.
YDELSE VINTER YV(T) :	327.	186.	125.	83.	53.	31.
YDELSE AARET Y(T) :	1242.	776.	536.	363.	236.	143.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7136.	2923.	2022.	1466.	1064.	751.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	88.	55.	38.	26.	17.	10.
PCT. I VINTERPERIODEN :	26.	24.	23.	23.	22.	22.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.4	2.0	4.9	8.3	12.7	18.8
KAP.TAB. INDEX :	-0.3	0.9	3.3	7.1	12.5	24.3

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4471. -82. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

JORDREFLEKTION solfanger B, hældning 90°. Jordrefleksion 1,0



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4722. MJ/M2 (1312. KWH/M2) (62. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	2372.	2029.	1798.	1594.	1412.	1246.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	959.	778.	672.	584.	508.	439.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	3331.	2807.	2469.	2178.	1920.	1685.	MJ/M2

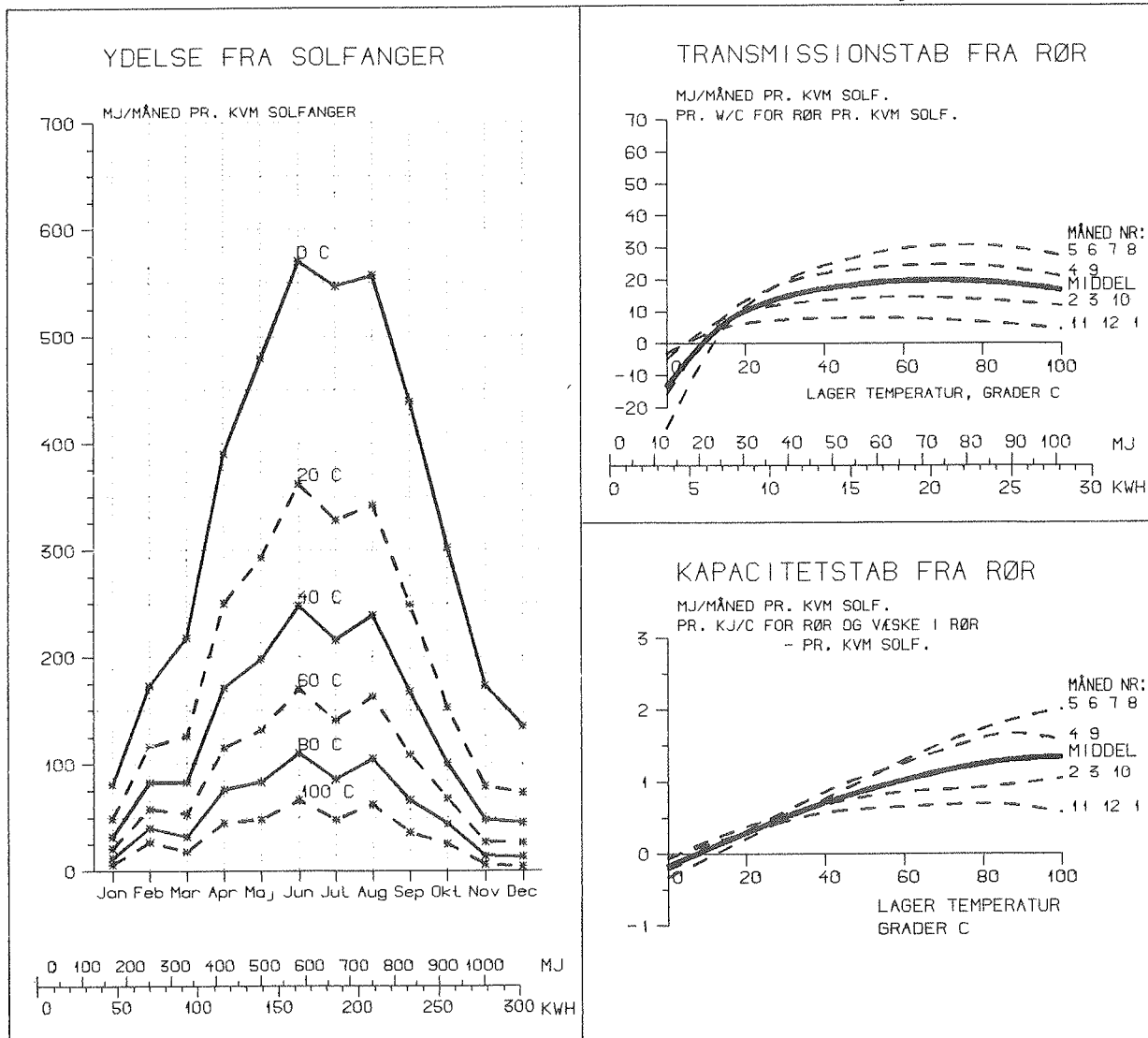
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	659.	564.	499.	443.	392.	346.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	266.	216.	187.	162.	141.	122.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	925.	780.	686.	605.	533.	468.	KWH/M2

	7200.	3357.	2728.	2331.	2029.	1771.	TIMER PR. AAR
DRIFTSTID	7200.	3357.	2728.	2331.	2029.	1771.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	71.	59.	52.	46.	41.	36.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	29.	28.	27.	27.	26.	26.	PCT. AF AARSYDELSE

	-2.1	2.3	5.2	8.1	11.1	14.0	PCT. V.	0.4	W/(C M2)
TRANS.TAB. INDEX	-2.1	2.3	5.2	8.1	11.1	14.0	PCT. V.	0.4	W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.5	1.1	2.7	4.9	7.5	10.5	PCT. V.	7	KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3331. -25. *T + 0.10 *T**2 (MJ/M2)

REFLEKSSKÆRM solfanger A, hældning 75° . $r/c=2,5$, $\rho_r=0,67$, $jordrefl.=0,0$
(fig. 5.11)



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4301. MJ/M2 (1195. KWH/M2) (49. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2982.	1825.	1240.	830.	527.	305.
YDELSE VINTER YV(T) :	1082.	596.	393.	253.	154.	87.
YDELSE AARET Y(T) :	4064.	2421.	1633.	1083.	681.	392.

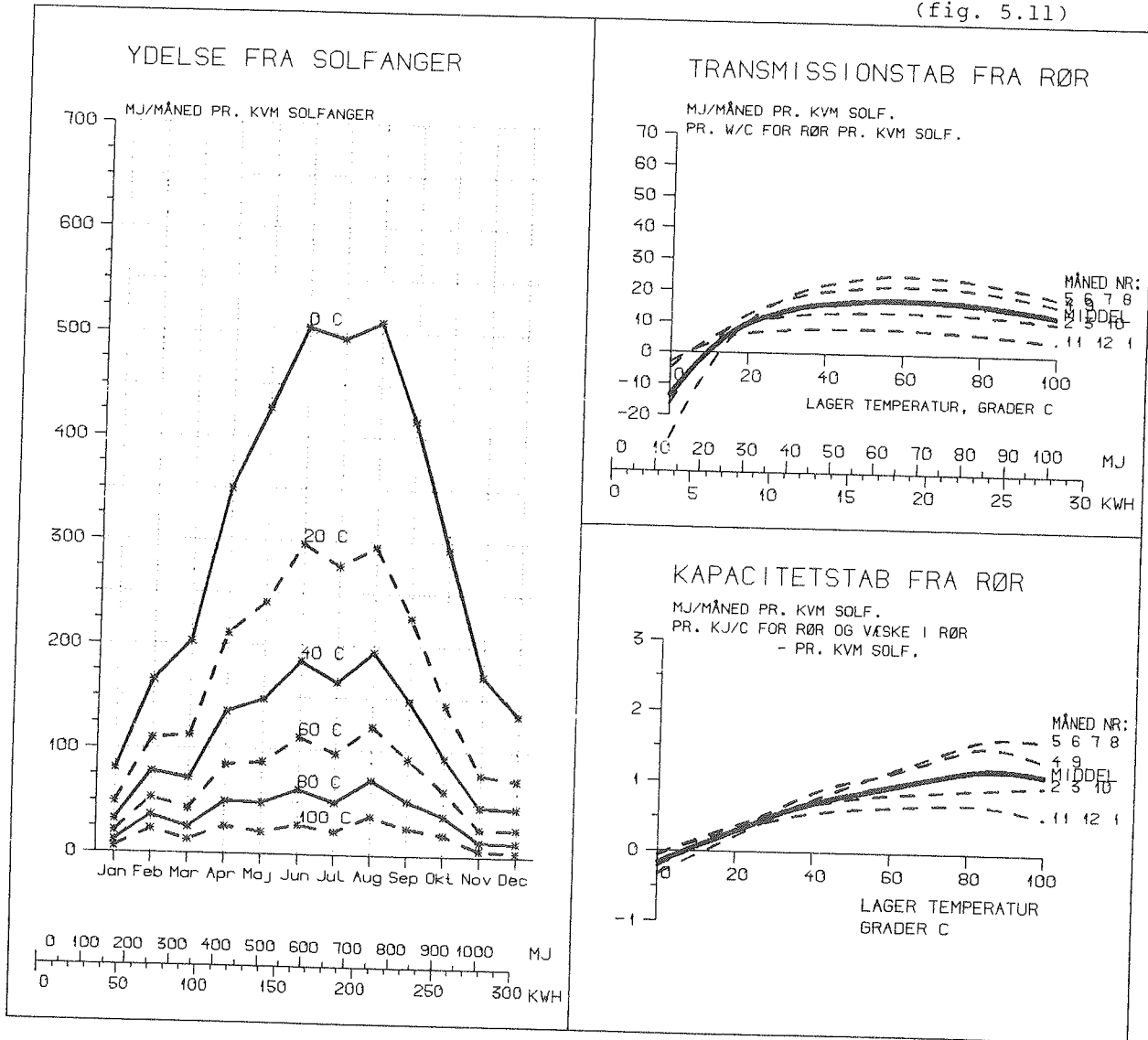
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	828.	507.	344.	231.	146.	85.
YDELSE VINTER YV(T) :	301.	166.	109.	70.	43.	24.
YDELSE AARET Y(T) :	1129.	673.	454.	301.	189.	109.

	7074.	2748.	1771.	1273.	922.	628.
DRIFTSTID :	7074.	2748.	1771.	1273.	922.	628.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	94.	56.	38.	25.	16.	9.
PCT. I VINTERPERIODEN :	27.	25.	24.	23.	23.	22.

	-1.6	2.0	5.0	8.7	13.7	20.6
TRANS.TAB. INDEX :	-1.6	2.0	5.0	8.7	13.7	20.6
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.0	3.7	7.9	15.5	28.8

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4064. -79. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

REFLEKSSKÆRM solfanger A, hældning 90° . $r/c=2,5$, $\rho r=0,67$, $\text{jordrefl.}=0,0$
(fig. 5.11)



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3941. MJ/M2 (1095. KWH/M2) (54. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2701.	1546.	975.	598.	335.	159.
YDELSE VINTER YV(T)	1049.	568.	369.	232.	137.	73.
YDELSE AARET Y(T)	3751.	2114.	1344.	830.	472.	233.

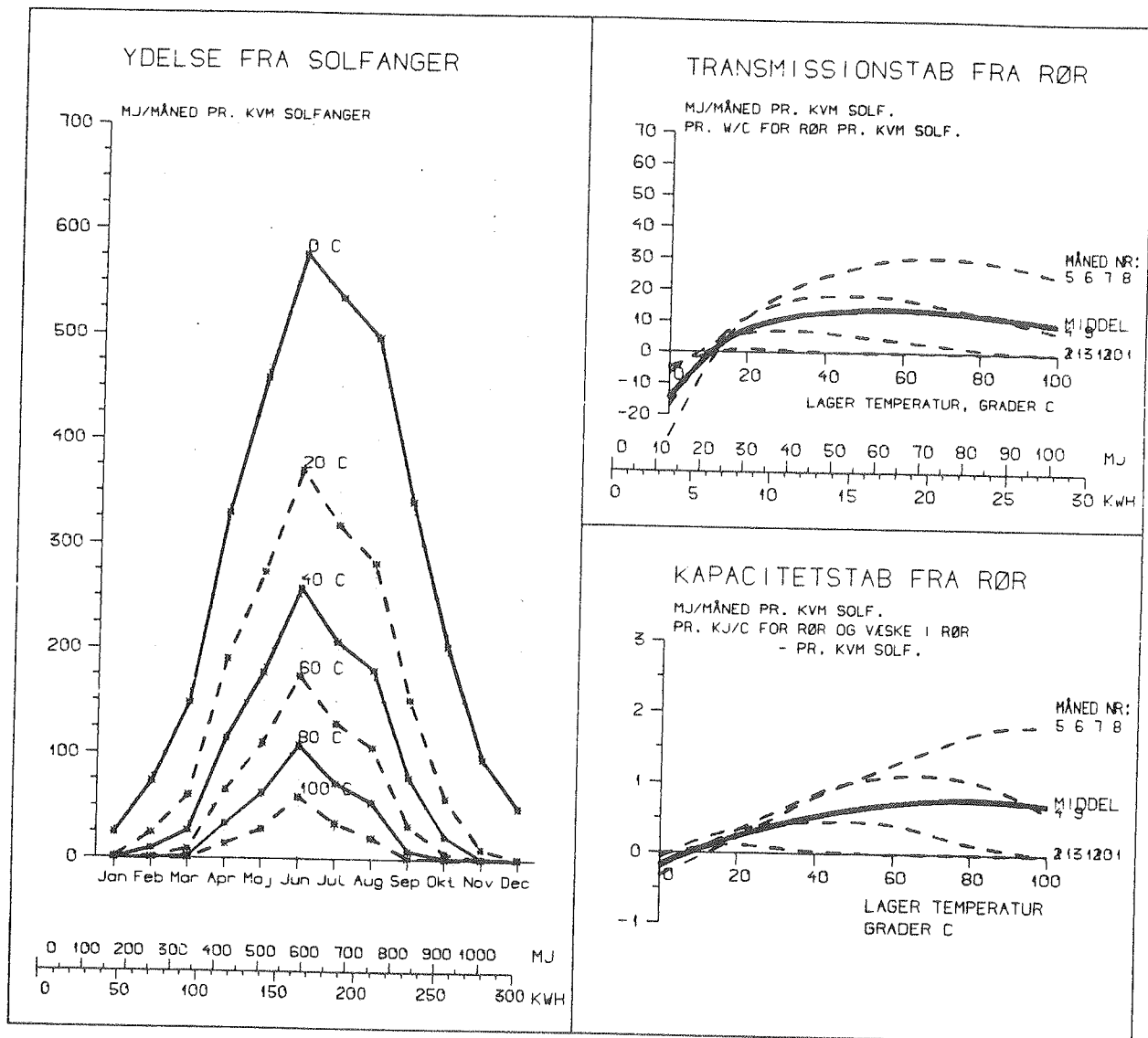
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	750.	430.	271.	166.	93.	44.
YDELSE VINTER YV(T)	291.	158.	102.	64.	38.	20.
YDELSE AARET Y(T)	1042.	587.	373.	230.	131.	65.

	7065.	2704.	1687.	1145.	772.	482.
DRIFTSTID	7065.	2704.	1687.	1145.	772.	482.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	95.	54.	34.	21.	12.	6.
PCT. I VINTERPERIODEN	28.	27.	27.	28.	29.	31.

	-1.8	2.2	5.7	10.1	16.4	26.5
TRANS.TAB. INDEX	-1.8	2.2	5.7	10.1	16.4	26.5
KAP.TAB. INDEX	-0.4	1.2	4.4	9.6	20.8	40.8

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3751. -79. *T + 0.48 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGERE I RÆKKER A/L=1,0 hældning 30° solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3182 MJ/M2 (883 KWH/M2) (43. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2736.	1585.	1014.	615.	337.	156. MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	594.	156.	58.	16.	2.	0. MJ/M2
YDELSE AARET Y(T) :	3330.	1741.	1071.	631.	339.	156. MJ/M2

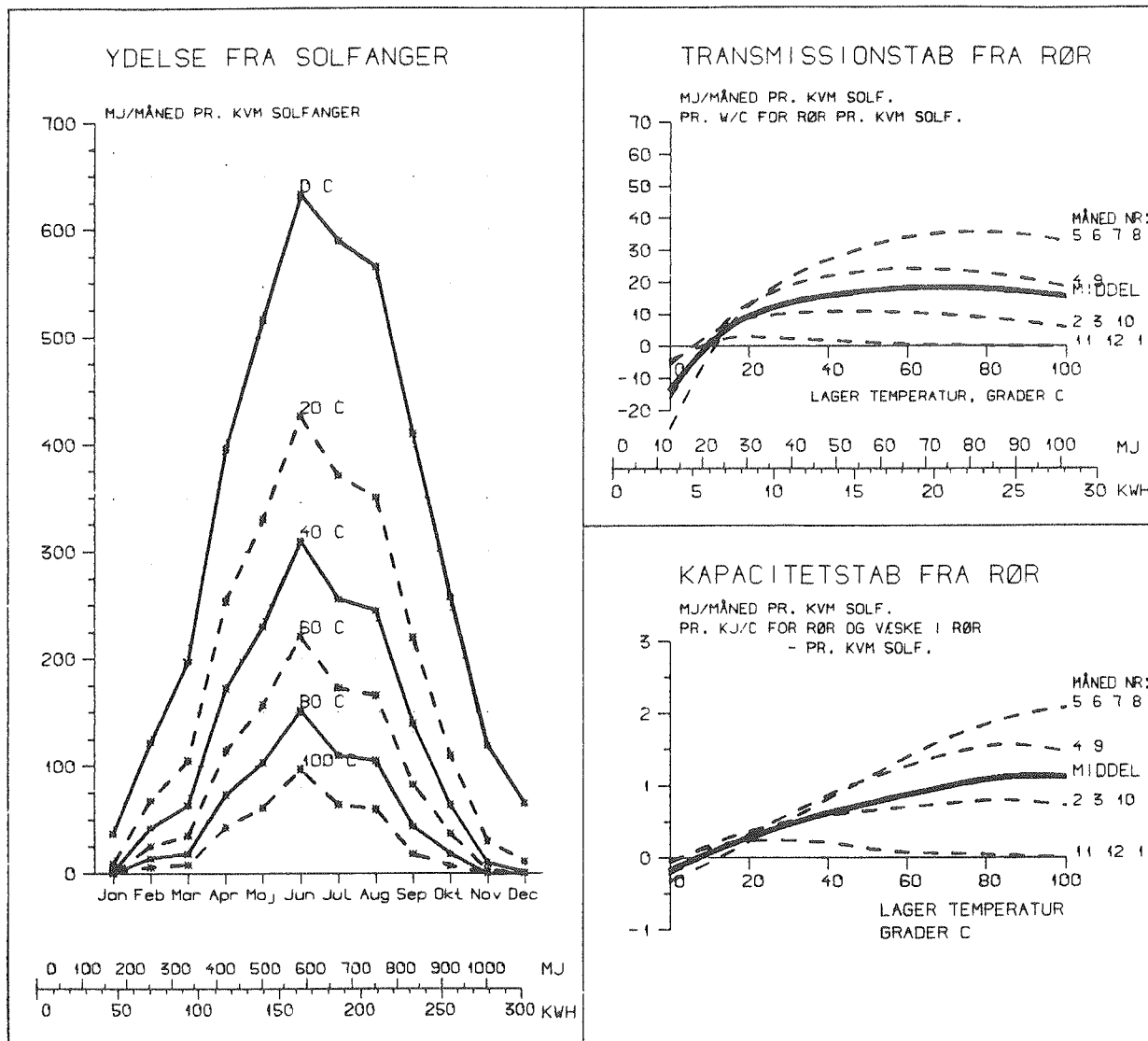
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	760.	440.	282.	171.	94.	43. KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	165.	43.	16.	4.	1.	0. KWH/M2
YDELSE AARET Y(T) :	925.	484.	298.	175.	94.	43. KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7004.	2407.	1466.	968.	616.	370. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	79.	41.	26.	15.	8.	4. PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN :	18.	9.	5.	3.	1.	0. PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-2.2	2.0	5.7	10.5	17.2	28.7 PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.1	4.1	9.4	19.1	37.7 PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3330. -76. *T + 0.48.*T**2 (MJ/M2)

SOLFANGERE I RÆKKER A/L=2,0 hældning 30° solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4009 MJ/M2 (1113 KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T) :	3109.	1953.	1353.	914.	586.	343.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	798.	333.	181.	100.	50.	21.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T) :	3907.	2286.	1534.	1014.	636.	364.	MJ/M2

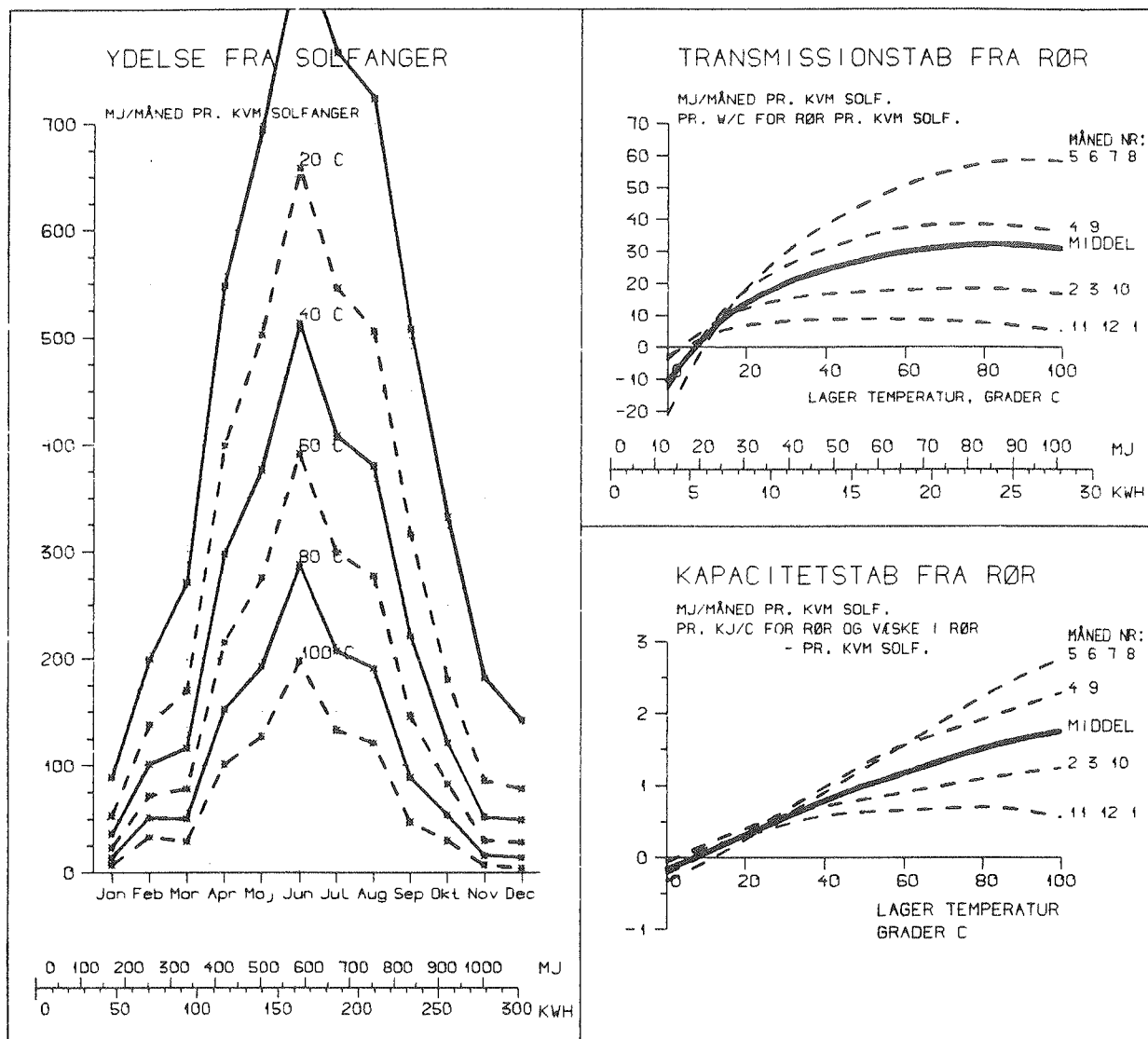
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T) :	864.	542.	376.	254.	163.	95.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	222.	92.	50.	28.	14.	6.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T) :	1085.	635.	426.	282.	177.	101.	KWH/M2

	7045.	2631.	1669.	1213.	874.	598.	
DRIFTSTID :	7045.	2631.	1669.	1213.	874.	598.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	93.	54.	37.	24.	15.	9.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN :	20.	15.	12.	10.	8.	6.	PCT. AF AARSYDELSE

	-1.7	2.0	4.9	8.6	13.5	20.6	
TRANS.TAB. INDEX :	-1.7	2.0	4.9	8.6	13.5	20.6	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.0	3.4	7.2	14.3	25.8	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3907. -78. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

DREJELIG SOLFANGER drejer vandret og lodret efter max. solindf. Solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 5748. MJ/M2 (1597. KWH/M2) (32. PCT. DIFFUS)

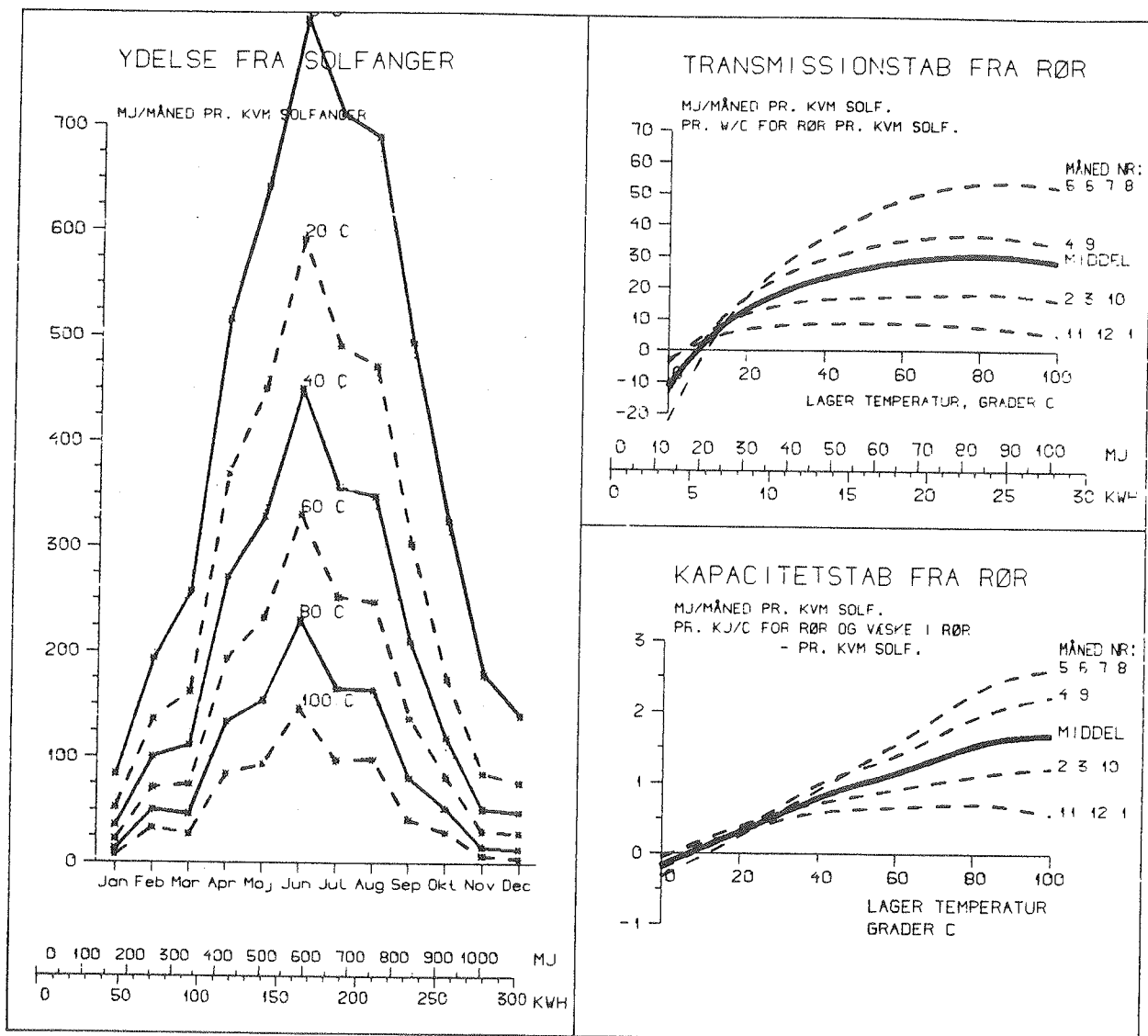
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	4110.	2927.	2195.	1602.	1118.	726. MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	1215.	703.	475.	314.	197.	111. MJ/M2
YDELSE AARET Y(T) :	5325.	3631.	2670.	1916.	1316.	837. MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	1142.	813.	610.	445.	311.	202. KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T) :	337.	195.	132.	87.	55.	31. KWH/M2
YDELSE AARET Y(T) :	1479.	1009.	742.	532.	365.	232. KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7126.	3142.	2383.	1884.	1504.	1151. TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	93.	63.	46.	33.	23.	15. PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN:	23.	19.	18.	16.	15.	13. PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.0	1.8	4.4	7.5	11.7	17.7 PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX :	-0.3	0.7	2.5	5.1	9.7	17.6 PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 5325. -83. *T + 0.41 *T**2 (MJ/M2)

DREJELIG SOLFANGER drejer vandret, hældning 75° . Solfanger A

SOLINDFALD PAA SOLF. : 5369. MJ/M2 (1491. KWH/M2) (32. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	3851.	2673.	1962.	1390.	928.	559.
YDELSE VINTER YV(T) :	1178.	685.	464.	306.	190.	106.
YDELSE AARET Y(T) :	5028.	3358.	2425.	1696.	1118.	665.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	1070.	742.	545.	386.	258.	155.
YDELSE VINTER YV(T) :	327.	190.	129.	85.	53.	30.
YDELSE AARET Y(T) :	1397.	933.	674.	471.	311.	185.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID :	7060.	3054.	2308.	1813.	1428.	1061.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	94.	63.	45.	32.	21.	12.
PCT. I VINTERPERIODEN :	23.	20.	19.	18.	17.	16.

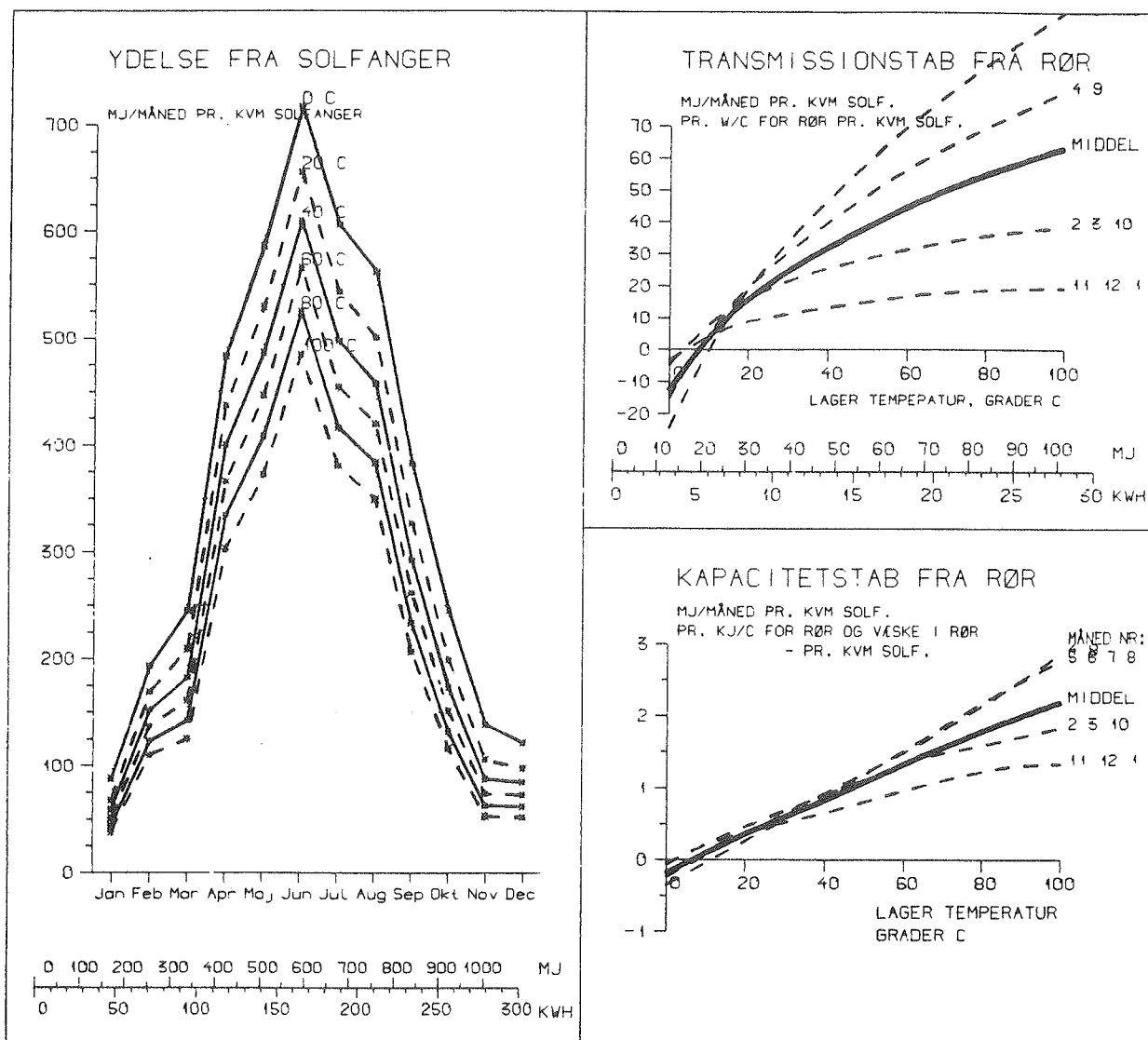
TIMER PR. AAR
PCT. AF TOT. SOL.
PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX :	-1.1	1.9	4.6	8.0	13.0	20.4
KAP.TAB. INDEX :	-0.3	0.8	2.7	5.6	11.4	21.2

PCT. V. 0.4 W/(C M2)
PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 5028. $-81. \cdot T + 0.40 \cdot T^{**2}$ (MJ/M2)

DREJELIG SOLFANGER drejer vandret og lodret efter max. solindf. Solfanger B



SOLINDFALD PAA SOLF. : 5748. MJ/M2 (1597. KWH/M2) (32. PCT. DIFFUS)

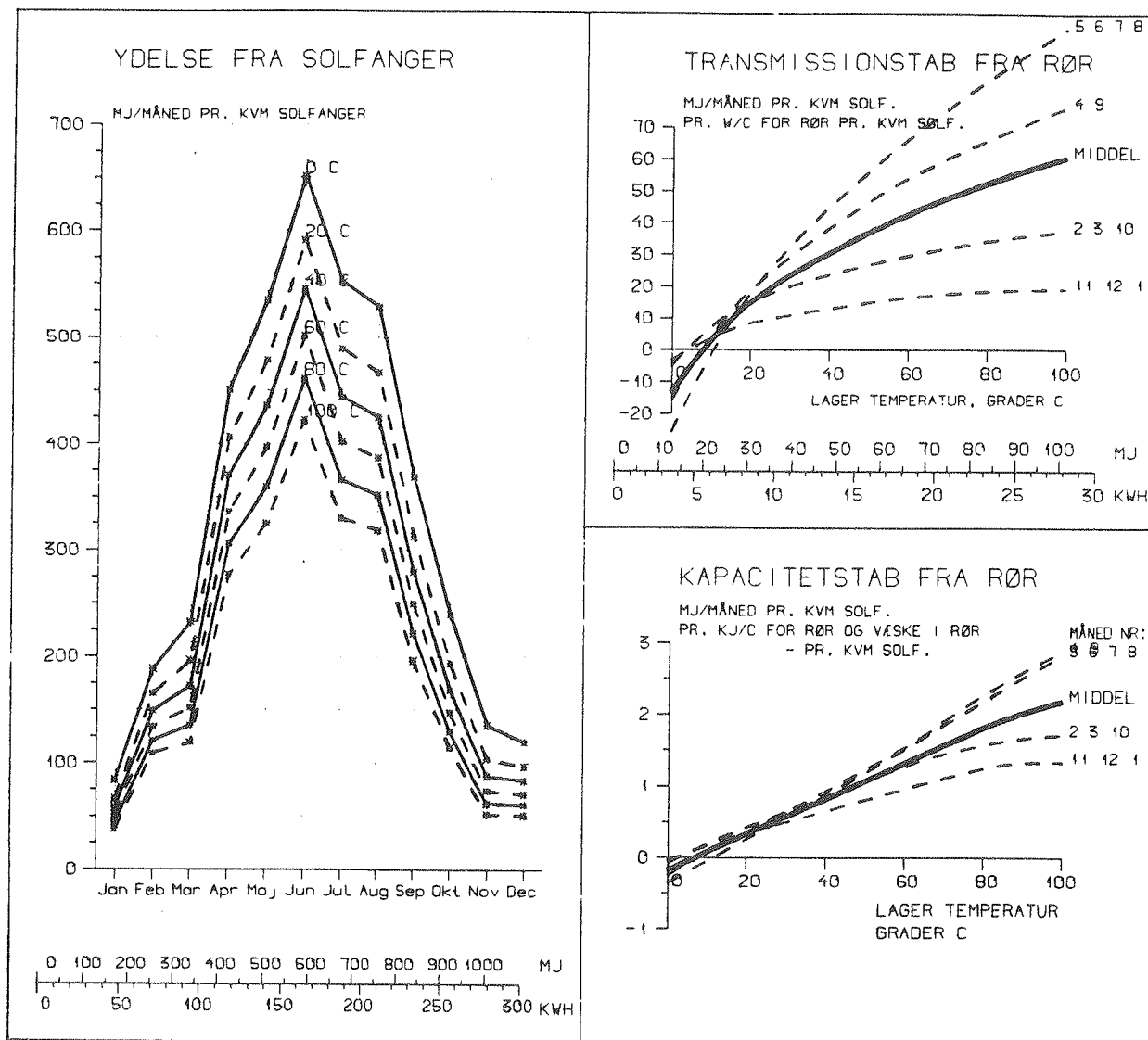
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	3338.	2995.	2745.	2514.	2301.	2098.
YDELSE VINTER YV(T)	1034.	850.	740.	648.	567.	496.
YDELSE AARET Y(T)	4372.	3845.	3485.	3162.	2868.	2594.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	927.	832.	763.	698.	639.	583.
YDELSE VINTER YV(T)	287.	236.	205.	180.	157.	138.
YDELSE AARET Y(T)	1214.	1068.	968.	878.	797.	720.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	7214.	3545.	3053.	2726.	2457.	2241.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	76.	67.	61.	55.	50.	45.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	22.	21.	20.	20.	19.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-1.4	2.0	4.4	6.8	9.2	11.7
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.8	2.0	3.5	5.2	7.1

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4372. -26. *T + 0.08 *T**2 (MJ/M2)

DREJELIG SOLFANGER drejer vandret, hældning 75° . Solfanger B

SOLINDFALD PAA SOLF. : 5369. MJ/M2 (1491. KWH/M2) (32. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	3086.	2744.	2498.	2273.	2066.	1868.
YDELSE VINTER YV(T)	999.	822.	719.	631.	552.	483.
YDELSE AARET Y(T)	4085.	3566.	3217.	2903.	2616.	2351.

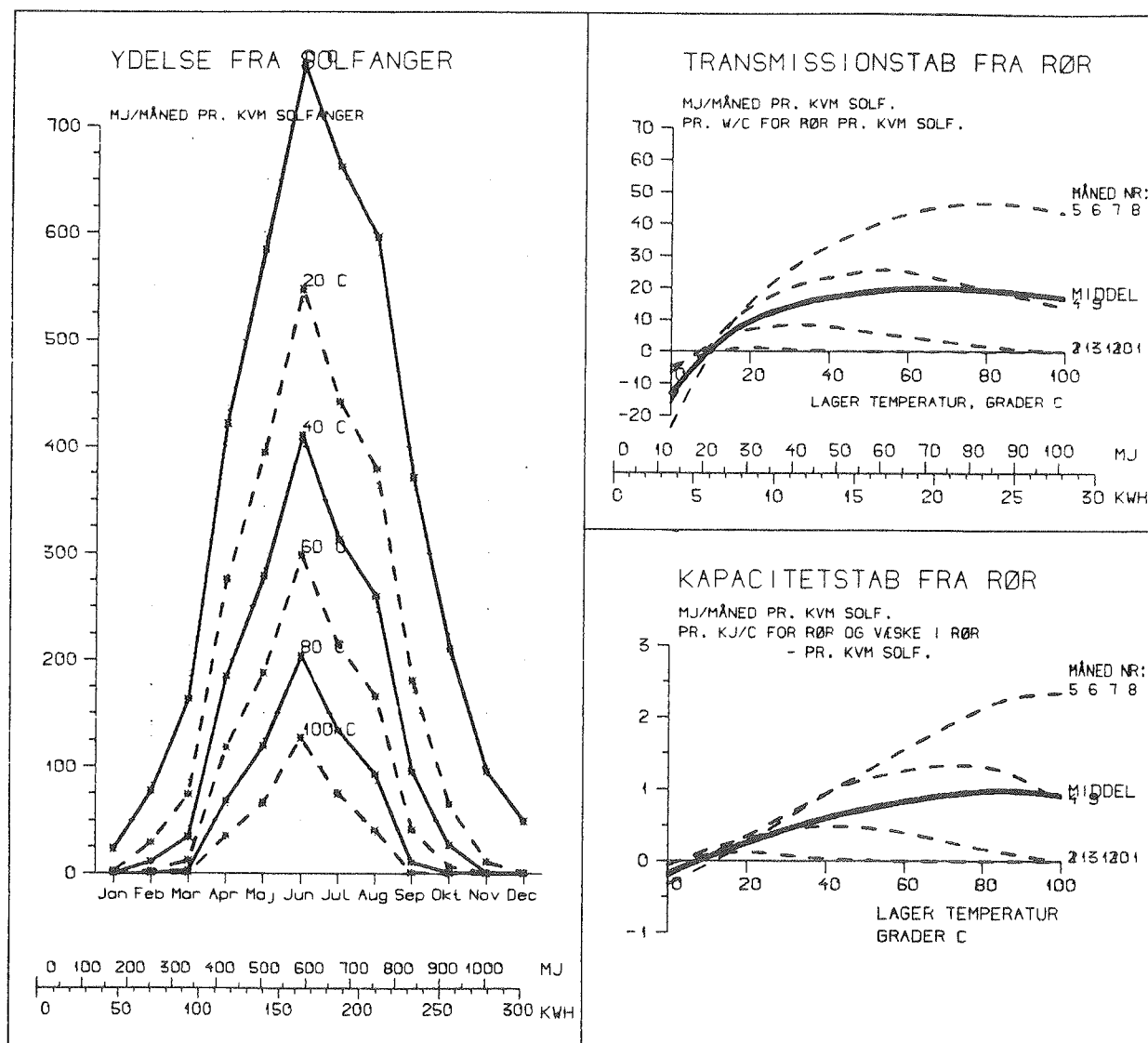
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	857.	762.	694.	631.	574.	519.
YDELSE VINTER YV(T)	278.	228.	200.	175.	153.	134.
YDELSE AARET Y(T)	1135.	991.	894.	806.	727.	653.

	7174.	3437.	2957.	2621.	2362.	2160.
DRIFTSTID	7174.	3437.	2957.	2621.	2362.	2160.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	76.	66.	60.	54.	49.	44.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	23.	22.	22.	21.	21.

	-1.6	2.0	4.5	7.0	9.6	12.4
TRANS.TAB. INDEX	-1.6	2.0	4.5	7.0	9.6	12.4
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.8	2.1	3.8	5.8	7.9

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4085. -25. *T + 0.08 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGERE I RÆKKE, DREJELIGE I VANDRET PLAN A/L=1,0 hældning 45° solf. A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 3945 MJ/M2 (1096 KWH/M2) (31. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3391.	2218.	1541.	1026.	628.	344.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	619.	181.	73.	21.	4.	0.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4010.	2398.	1614.	1047.	632.	344.	MJ/M2

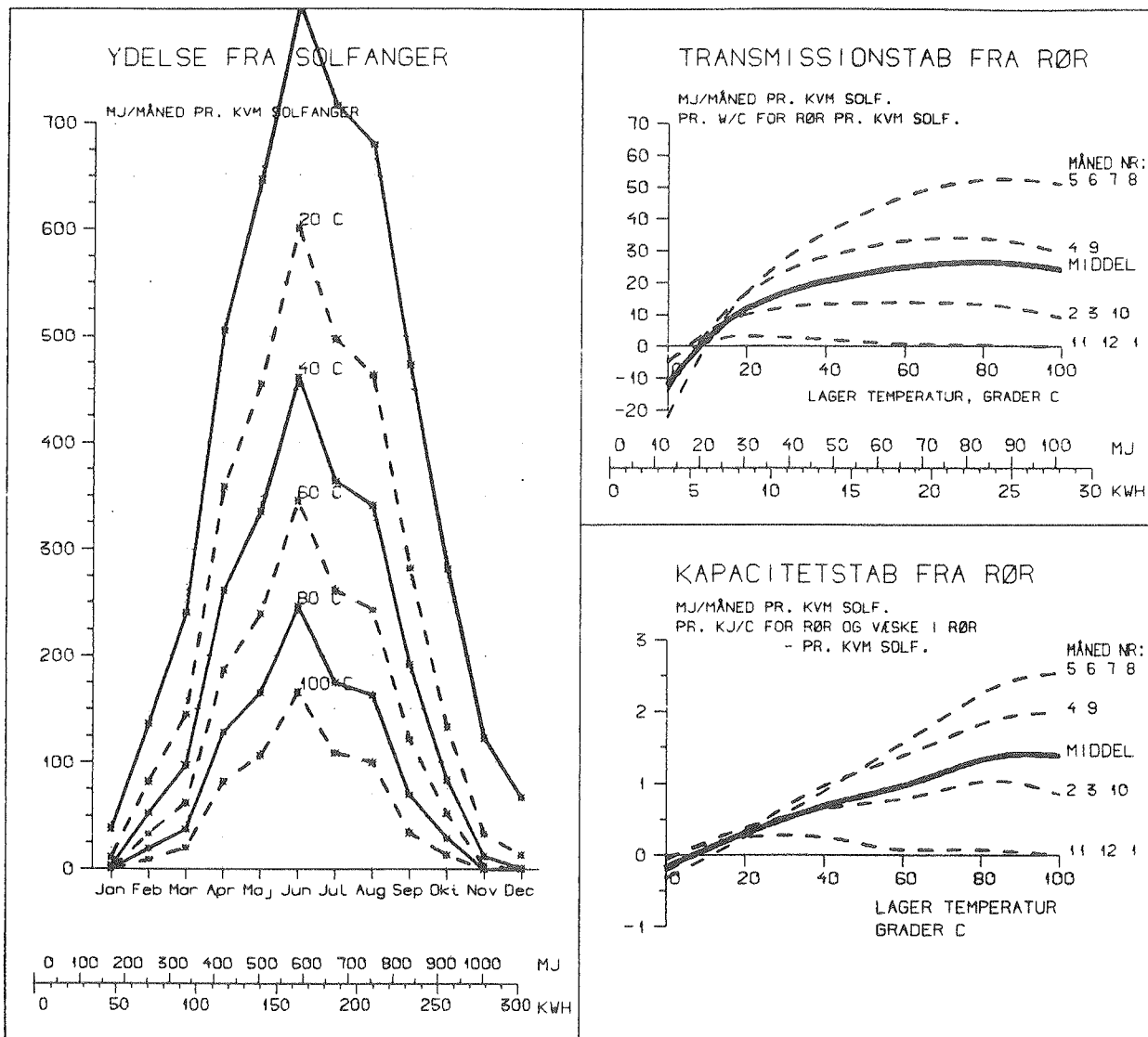
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	942.	616.	428.	285.	175.	96.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	172.	50.	20.	6.	1.	0.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1114.	666.	448.	291.	176.	96.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	6944.	2670.	1850.	1343.	949.	655.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	76.	45.	30.	20.	12.	6.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	15.	8.	5.	2.	1.	0.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.6	1.9	5.0	9.0	14.5	23.4	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.9	3.1	6.6	12.9	22.3	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4010. -78. *T + 0.44 *T**2 (MJ/M2)

SOLFANGERE I RÆKKE, DREJELIGE I VANDRET PLAN A/L=2,0 hældning 45° solf. A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 5303. MJ/M2 (1473. KWH/M2) (31. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3832.	2655.	1953.	1396.	947.	596.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	887.	416.	248.	150.	85.	42.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4718.	3072.	2201.	1547.	1032.	638.	MJ/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	1064.	738.	542.	388.	263.	166.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	246.	116.	69.	42.	24.	12.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1311.	853.	611.	430.	287.	177.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	7047.	2907.	2098.	1618.	1268.	919.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	89.	58.	42.	29.	19.	12.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	19.	14.	11.	10.	8.	7.	PCT. AF AARSYDELSE

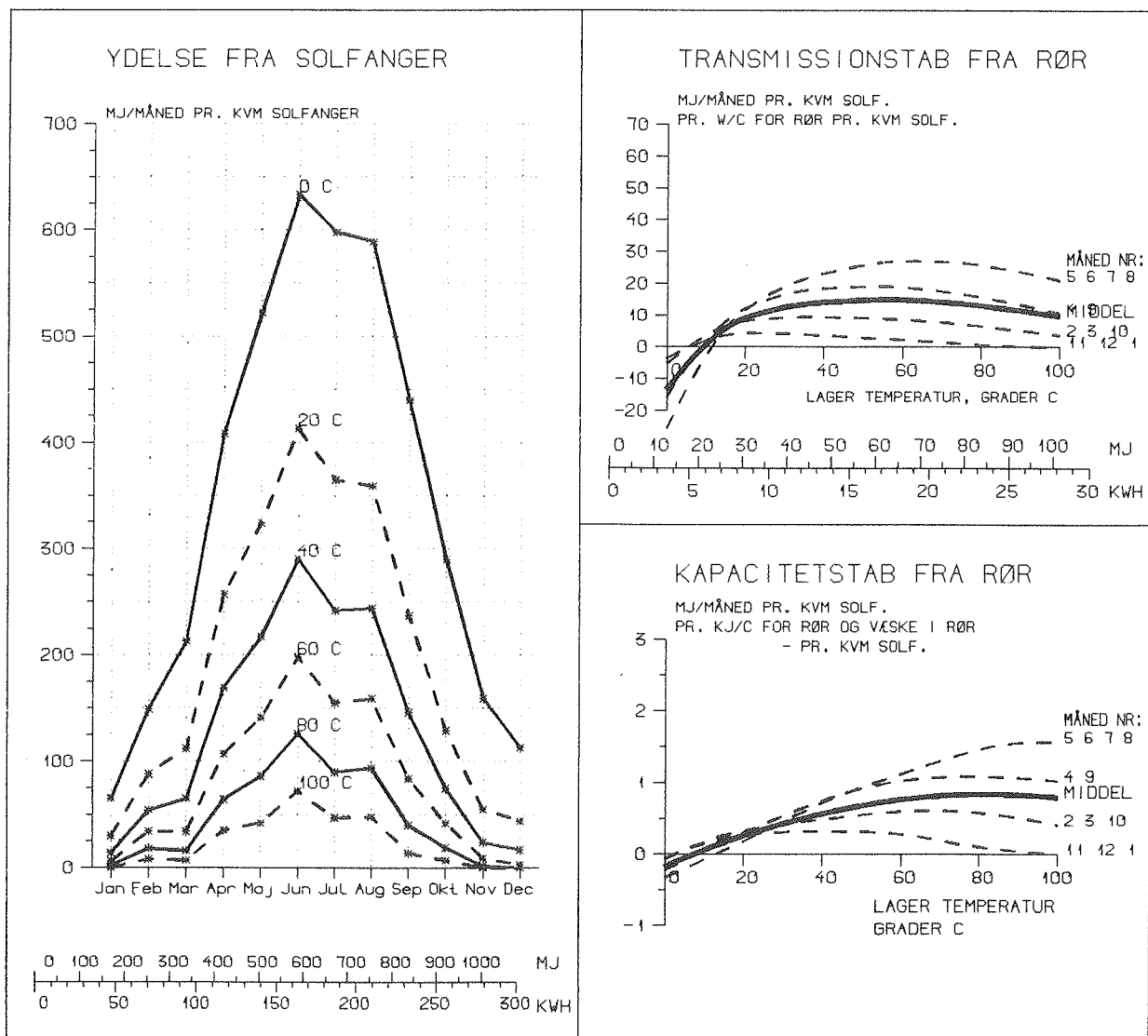
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.2	1.8	4.5	7.7	12.3	18.3	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.3	0.8	2.6	5.2	10.8	18.3	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4718. -80. *T + 0.42 *T**2 (MJ/M2)

58.

ABSORBERENS VARMEKAPACITET

kapacitet 50 kJ/°C pr. m³ solf. Solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	3190.	1955.	1309.	843.	500.	258.	MJ/M2
YDELSE VINTER YV(T)	989.	458.	248.	128.	57.	22.	MJ/M2
YDELSE AARET Y(T)	4179.	2412.	1557.	971.	557.	280.	MJ/M2

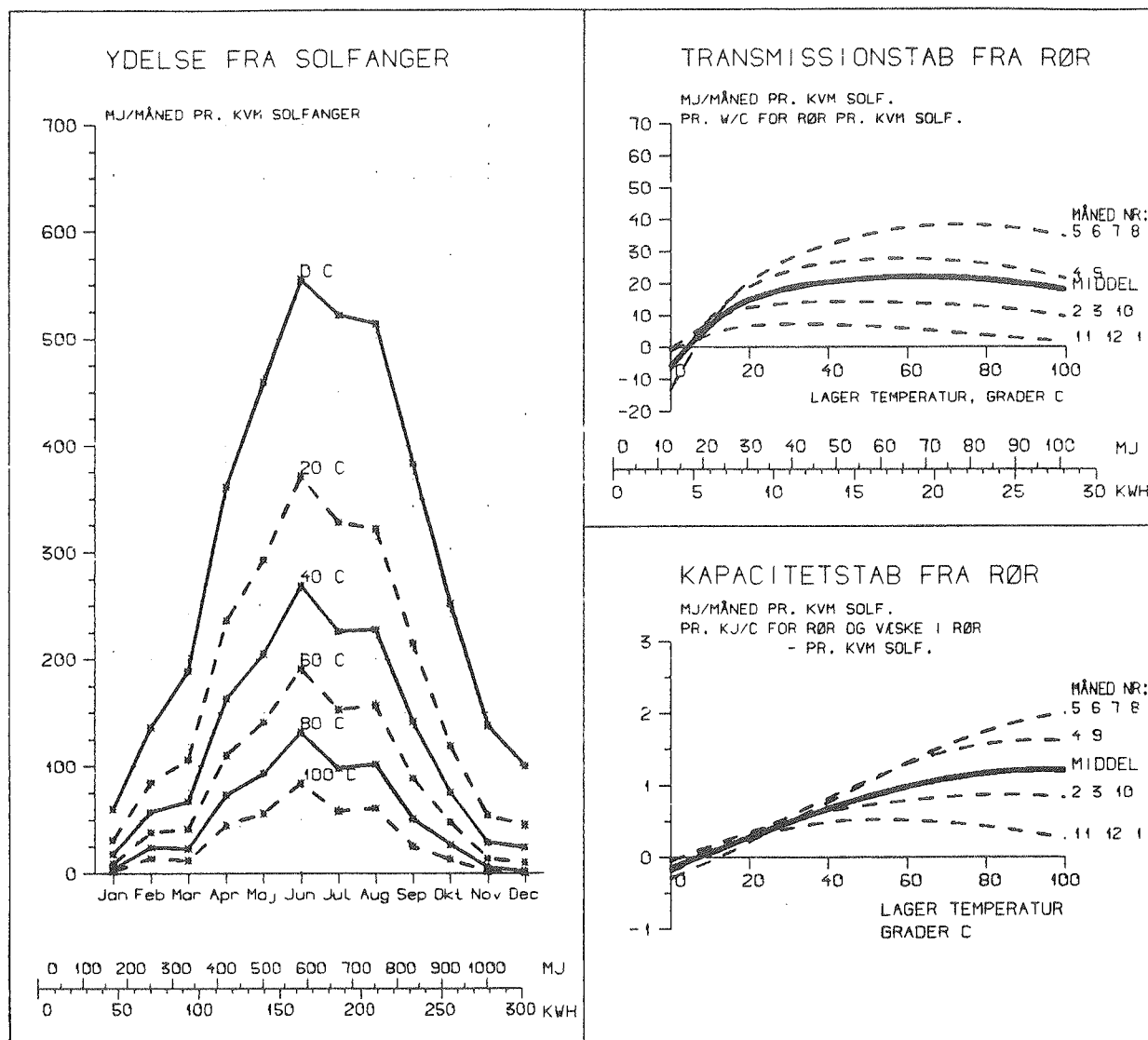
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
YDELSE SOMMER YS(T)	886.	543.	364.	234.	139.	72.	KWH/M2
YDELSE VINTER YV(T)	275.	127.	69.	35.	16.	6.	KWH/M2
YDELSE AARET Y(T)	1161.	670.	433.	270.	155.	78.	KWH/M2

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
DRIFTSTID	6888.	2429.	1467.	980.	630.	371.	TIMER PR. AAR
NYTTEVIRKNING NVS(T)	98.	56.	36.	23.	13.	7.	PCT. AF TOT. SOL.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	19.	16.	13.	10.	8.	PCT. AF AARSYDELSE

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	
TRANS.TAB. INDEX	-1.5	1.8	4.3	7.3	11.2	16.6	PCT. V. 0.4 W/(C M2)
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.9	3.0	6.6	12.6	23.7	PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4179. -86. *T + 0.51 *T**2 (MJ/M2)

FLOW I SOLFANGERKREDS 0,15 liter pr. min pr. kvm. solf. solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T) :	2795.	1764.	1231.	842.	549.	329.
YDELSE VINTER YV(T) :	874.	441.	270.	159.	87.	43.
YDELSE AARET Y(T) :	3669.	2205.	1501.	1001.	636.	372.

MJ/M2

	776.	490.	342.	234.	153.	91.
YDELSE SOMMER YS(T) :	776.	490.	342.	234.	153.	91.
YDELSE VINTER YV(T) :	243.	122.	75.	44.	24.	12.
YDELSE AARET Y(T) :	1019.	613.	417.	278.	177.	103.

KWH/M2

	7073.	2752.	1803.	1312.	951.	653.
DRIFTSTID :	7073.	2752.	1803.	1312.	951.	653.
NYTTEVIRKNING NVS(T) :	84.	51.	35.	23.	15.	9.
PCT. I VINTERPERIODEN:	24.	20.	18.	16.	14.	12.

TIMER PR. AAR
PCT. AF TOT. SOL.
PCT. AF AARSYDELSE

	-0.8	3.2	6.5	10.6	15.9	23.2
TRANS.TAB. INDEX :	-0.8	3.2	6.5	10.6	15.9	23.2
KAP.TAB. INDEX :	-0.4	1.0	3.8	8.2	15.4	27.3

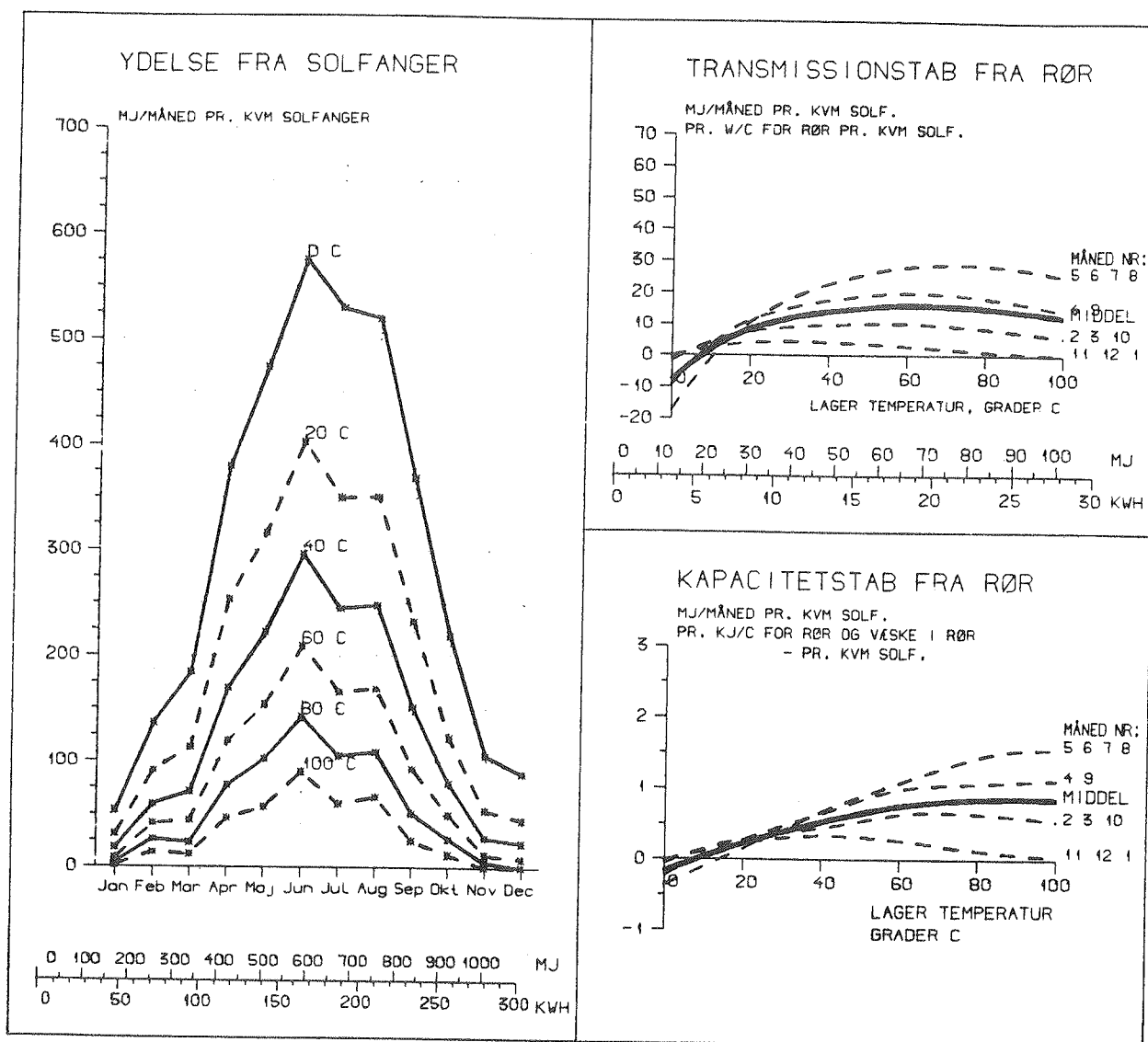
PCT. V. 0.4 W/(C M2)
PCT. V. 7 KJ/(C M2)

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3669. -70. *T + 0.41 *T**2 (MJ/M2)

STARTDIFFERENS

30°C

solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	2847.	1907.	1331.	910.	587.	344.
YDELSE VINTER YV(T)	788.	457.	279.	163.	84.	40.
YDELSE AARET Y(T)	3635.	2364.	1610.	1073.	671.	384.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	791.	530.	370.	253.	163.	96.
YDELSE VINTER YV(T)	219.	127.	78.	45.	23.	11.
YDELSE AARET Y(T)	1010.	657.	447.	298.	186.	107.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
DRIFTSTID	4307.	2171.	1441.	1040.	720.	468.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	85.	55.	38.	25.	16.	9.
PCT. I VINTERPERIODEN	22.	19.	17.	15.	13.	10.

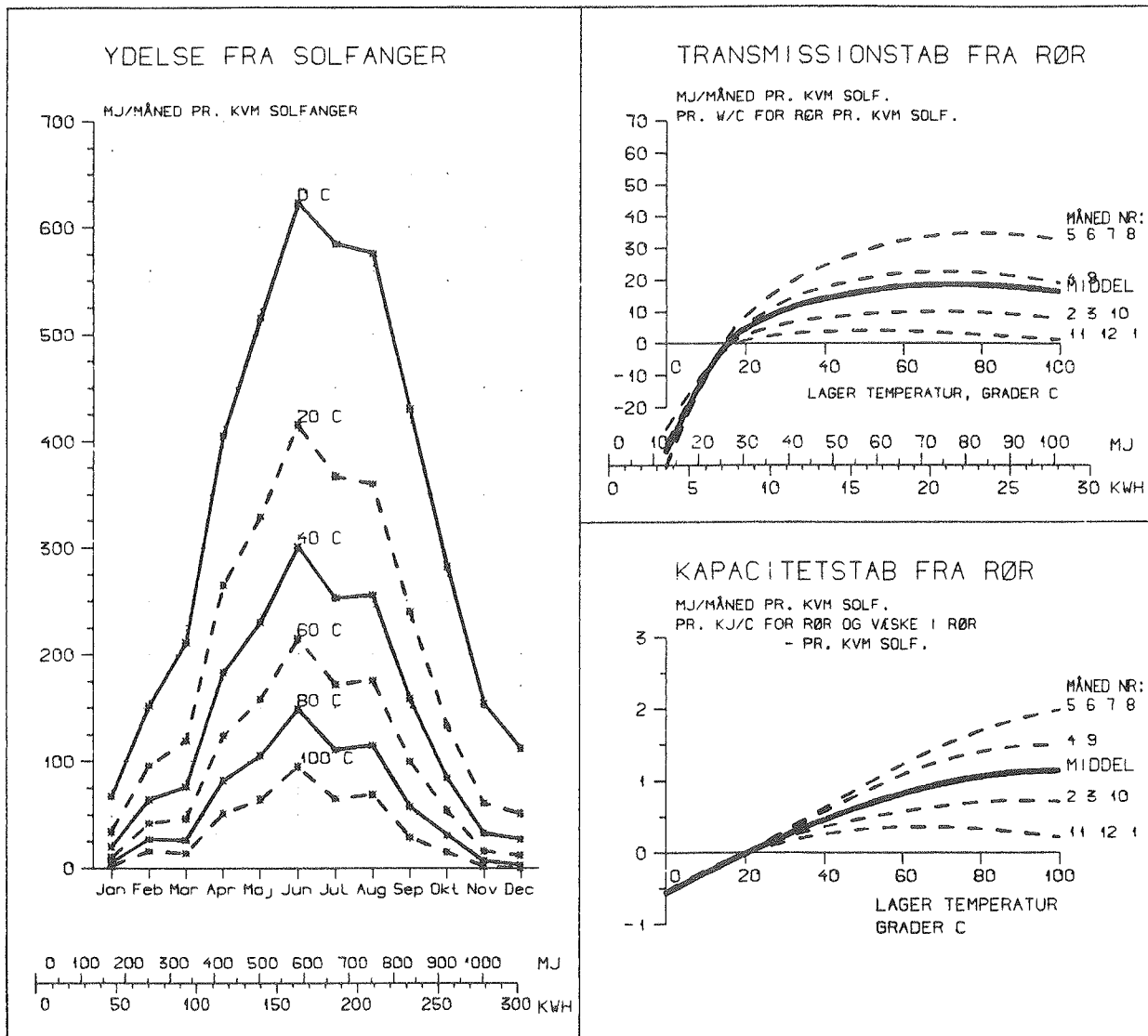
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
TRANS.TAB. INDEX	-1.0	1.7	4.1	7.1	10.7	15.4
KAP.TAB. INDEX	-0.4	0.8	2.7	5.9	10.6	18.5

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 3635. -64. *T + 0.34 *T**2 (MJ/M2)

OMGIVELSESTEMPERATUR TIL RØRSYSTEM

20°C

solfanger A



SOLINDFALD PAA SOLF. : 4283. MJ/M2 (1190. KWH/M2) (40. PCT. DIFFUS)

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	3133.	1977.	1381.	947.	619.	373.
YDELSE VINTER YV(T)	979.	495.	304.	180.	99.	49.
YDELSE AARET Y(T)	4112.	2471.	1686.	1127.	718.	422.

	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C
YDELSE SOMMER YS(T)	870.	549.	384.	263.	172.	104.
YDELSE VINTER YV(T)	272.	137.	85.	50.	27.	14.
YDELSE AARET Y(T)	1142.	687.	469.	313.	199.	117.

	7072.	2736.	1794.	1305.	947.	649.
DRIFTSTID	7072.	2736.	1794.	1305.	947.	649.
NYTTEVIRKNING NVS(T)	96.	58.	39.	26.	17.	10.
PCT. I VINTERPERIODEN	24.	20.	18.	16.	14.	12.

	-4.0	0.9	4.0	7.6	12.3	18.6
TRANS.TAB. INDEX	-4.0	0.9	4.0	7.6	12.3	18.6
KAP.TAB. INDEX	-1.2	-0.0	2.3	6.1	12.4	22.7

AARSYDELSE=F(T-LAGER): 4112. -79. *T + 0.46 *T**2 (MJ/M2)

FORSKNINGSUDVALGET FOR ENERGIANVENDELSE I BYGNINGER

J. Kelnæs, afd.chef, Teknologisk Institut (formand)
Ole Jensen, civilingeniør, Statens Byggeforskningsinstitut
(sekretær)
M.R. Byberg, lektor, civilingeniør, Laboratoriet for Varme-
isolering, Danmarks Tekniske Højskole
Erik Christophersen, afd.leder, civilingeniør, Statens
Byggeforskningsinstitut
Vagn Korsgaard, professor, civilingeniør, Laboratoriet for
Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole
M. Malte Johansen, afd.chef, Jysk Teknologisk
P.J. Snare, eksped.sekr., Energistyrelsen
Bent Petersen, kontorchef, Byggestyrelsen
Peter Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut
Olaf Smith-Hansen, civilingeniør, Rockwool A/S
Knud Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S
Jørgen S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch & Krogboe K/S
Peter Dorph-Petersen, fuldmægtig, Energiministeriet

LISTE OVER UDSENDTE RAPPORTER

Solvarmeprogrammet

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg. Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1979.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg. Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1979.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, februar 1980.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg. For TI59 programmerbar lommeregnekalkulator. Teknologisk Institut, 1980.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand, 1/2 års målinger. Teknologisk Institut, juli 1980.
6. Solvarmeanlæg i Greve. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1980.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed. Erfaringer med solfanger udsat for det naturlige vejrlig under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år på prøvestand. Teknologisk Institut, juli 1980.
8. Solvarmesystemprøvestand. Resultater fra det første projekt på prøvestanden. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, 1981.
9. Solvarmeanlæg på Juelminde campingplads. Brugsvand, 3 års målinger. Teknologisk Institut, august 1980.
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. Laboratoriet for Varmeisolering, december 1980.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød. 2 1/2 års målinger på 10 m² brugsvandsanlæg. Teknologisk Institut, maj 1981.
15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, august 1981.

16. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på 1 års målinger på 2 anlæg. Laboratoriet for Varmeisolering, september 1981.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge. Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri. Teknologisk Institut, maj 1982.
18. Korrosion i solfangerabsorbere. En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres væskekanaler. Teknologisk Institut/Korrosionscentralen, juli 1982.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm. Forundersøgelse. Risø, september 1982.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1983.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg. Teknisk-økonomisk analyse af systemkombinationer. Teknologisk Institut/Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, maj 1983.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed. Teknologisk Institut, februar 1984.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre. Teknologisk Institut, februar 1984.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl.Holte. En vurdering efter et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1983.
25. Sol i boligen - et idé-katalog. Teknologisk Institut, marts 1984.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1984.
27. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg i Næstved. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juni 1984.
28. Et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Målinger på systemprøvestand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1984.
29. Billig solfanger/lager unit til brugsvand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, december 1984.
30. Projekteringsvejledning for passiv solvarme. Teknologisk Institut og Laboratoriet for Varmeisolering, december 1985.
31. Plast og gummi i solvarmeanlæg. Teknologisk Institut, maj 1985.
32. Hydrofil solfanger - Prøvning af prototype. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. September 1985.

33. Solvarmeanlæg med stort udbytte - demonstration. Teknologisk Institut, oktober 1985.
34. Solvarmeanlæg i Brøndby. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand i en etageejendom, 2 års målinger. Teknologisk Institut, januar 1986.
35. Selvcirkulerende solvarmeanlæg i Lyngby - resultater og erfaringer fra et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Januar 1986.
36. Konstruktion af solfangere - En håndbog/idébog. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Marts 1986.
37. Driftserfaringer med solvarmeanlæg: Erfaringer fra besigtigelse af 51 anlæg. Teknologisk Institut, januar 1987.
38. Solvarme i offentlige bygninger - demonstration. 1 års målinger på et 18 m² solvarmeanlæg på en kommunal materielgård. Teknologisk Institut, februar 1987.
39. Solvarme i nybyggeri. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, marts 1987.
40. Selektive overflader i solfangere. Teknologisk Institut, oktober 1987.
41. Solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Demonstrationsanlæg i Ejby. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1987.
42. To forslag til udformning af solvægge. En undersøgelse baseret på indendørs målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1987.
43. Konvektionsdreven hydrofil solfanger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1987.
45. Små konkurrencedygtige solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, februar 1988.
46. Solvarmeanlæg af plast. Brugsvandsanlæg. Teknologisk Institut, juli 1988.
47. Solvægge i den eksisterende boligmasse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1988.

Varmelagerprogrammet (LfV)

1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre. Peter L. Christensen, august 1979.
2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Udført af Dipco Engineering ApS, november 1979.

3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). En metode til brug for bordregnemaskiner. Anker Nielsen, februar 1980.
4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). Brugervejledning for TI-59. Anker Nielsen, februar 1980.
5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg. Simon Furbo, april 1980.
6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug. Anker Nielsen, oktober 1980.
7. Vinduets betydning for enfamiliehusenes energiforbrug. Anker Nielsen, november 1980.
8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle. Simon Furbo, december 1980.
9. Enfamiliehus med glasbeklædte uderum. Anker Nielsen, marts 1981.
10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis. Peter L. Christensen, december 1981.
11. Varmtvandsforbrug i boliger. Niels Mejlhede Jensen, februar 1982.
12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo og Jan-Erik Larsen, november 1982.
13. Solopvarmning gennem vinduer. Niels Mejlhede Jensen, november 1982.
14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Sven Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing, december 1982.
15. Birkerød solhus. Beregninger og målinger. Niels Mejlhede Jensen, december 1983.
16. Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo, marts 1984.
17. Prøvning af kemisk varmepumpelager. Otto Dyrnum, april 1984.
18. Varmeovergang i små solvarmelagre. Søren Østergaard Jensen, november 1984.
19. Varmelagring ved hjælp af en kemisk varmepumpe med vandig saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, november 1984.

20. BLAST - EDB-program til beregning af passiv solvarme. Jørgen Erik Christensen, november 1984.
21. Solvarmeanlæg med bygningsintegrerede varmelagre. Lars Olsen, december 1984.
22. Prøvning af et kemisk varmepumpelager med saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, marts 1985.
23. Smeltevarmelagre baseret på salthydrater placeret i plastslanger. Simon Furbo, august 1987.