



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R108:1978

**Grundläggande
förutsättningar för
soluppvärmning av
byggnader i Skandinavien**

**Beräkningsmetod, parameter-
analys, effektivitet och
optimering**

Valdis Girdo

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Byggforskningen

R108:1978

GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLUPPVÄRMNING
AV BYGGNADER I SKANDINAVIEN

Beräkningsmetod, parameteranalys, effektivitet
och optimering

Valdis Girdo

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
750016-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Inst. för byggnadsteknik, KTH, Stockholm

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKONEN FOR VAG- OCH VAETEM
BIBLIOTEKET

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Redigering och layout: Birgitta Andersson,
institutionen för byggnadsteknik, KTH

Nyckelord:

solvärme
byggnader
instrålning
energibesparing
optimering
kostnader

UDK 620.9.003
551.521
69.003
697.7

R108:1978

ISBN 91-540-2949-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

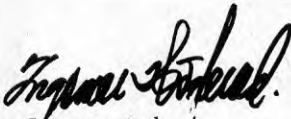
This publication is a part of a programme

SOLAR HEATING OF BUILDINGS IN SCANDINAVIA

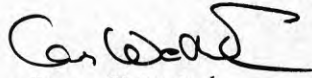
In Scandinavia the amount of solar radiation reaching vertical surfaces oriented southwards is of an order of magnitude such that solar energy can be considered a possible alternative source of energy for the heating of buildings. Since an estimated 50% of Sweden's total energy utilization goes to the heating of buildings, the potential saving of other energy sources by using solar energy is substantial. Within the Energy Centre at the Royal Institute of Technology a project designated Solar Energy and Buildings is being carried out. It is sponsored by the Swedish Council for Building Research and is aimed at developing means of heating buildings with solar energy. The principal members of the research team are Bo Carlsson, Valdis Girdo, Ingemar Höglund, Per Isakson, Hans Stymne and Gunnar Wettermark.

The programme started 1974

Stockholm nov. 1978



Ingemar Höglund
Division of Building Technology



Gunnar Wettermark
Division of Physical Chemistry

ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
S-100 44 STOCKHOLM 70 Sweden

FÖRORD

Detta arbete har till stor del finansierats genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadsteknik, Kungl. tekniska högskolan. Denna rapport utgör delrapport vad avser ett långsiktigt forskningsprojekt om solenergens utnyttjande för husuppvärmning i skandinaviskt klimat.

Min förhoppning är dels att de beräkningar av solinstrålning och solvärmesystems prestanda som presenteras i denna rapport ska ge en översikt över möjligheterna för uppvärmning av byggnader med solenergi i skandinaviskt klimat, dels att den för detta arbete utvecklade beräkningsmetoden även ska direkt kunna användas vid projekterings- och konstruktionsarbete av praktiskt verk samma ingenjörer och arkitekter.

Jag är mycket tacksam mot projektledaren, professor Ingemar Höglund, som har givit mig uppslaget till denna rapport och ett ovärderligt aktivt stöd under arbetets genomförande. Givande diskussioner har även förts med andra forskare vid institutionen främst civ.ing. Per Isakson som dessutom på ett förtjänstfullt sett konstruerat anläggningen för experimentell utvärdering av solfångare. Några företag har bidragit med försöksobjekt. Civ.ing Lars-Erik Flordal har genomfört spektrometriska bestämningar av reflexion och transmission hos glas, absorbator och reflektor. Regelbundna rapporter om molnighet vid SMHI Bromma har lämnats av meteorolog Raoul Iseborg. Ing. Åke Lidman har hjälpt till vid det experimentella arbetet. Civ.ing Igo Zarembski har bistått vid utvärderingen av teoretiskt och experimentellt erhållna resultat.

Till ovan nämnda och övriga medarbetare vid institutionen för byggnadsteknik, KTH, och utomstående som på olika sätt bidragit med sitt stöd till det genomförda arbetet framför jag ett stort tack.

Stockholm i november 1978

Valdis Girdo

INNEHÅLL

BETECKNINGAR	9	
1	INLEDNING. UPPVÄRMNING AV BYGGNADER MED SOLENERGI - EN KORT PROBLEMORIENTERING	11
1.1	Energibehovet i Sverige	11
1.2	Solvärme för svenska förhållanden	12
2	ARBETETS MÅLSÄTTNING OCH OMFATTNING	19
3	FÖRENKLINGAR VID UPPBYGGNADEN AV DEN EGNA BERÄKNINGSMETODEN	24
4	DEN EGNA BERÄKNINGSMETODENS UPPBYGGNAD	29
4.1	Avgiven effekt och infångad energi	29
4.2	Beräkning av irradianser av direkt och diffus strålning för klara, halvklara och mulna dagar	32
4.2.1	Beräkning av instrålning mot en horisontell yta	34
4.2.2	Direkt strålning vinkelrätt mot strålningens normalplan, I_{DN}	37
4.2.3	Jordens deklination	38
4.2.4	Direkt strålning mot en lutad yta vänd mot söder	38
4.2.5	Tidpunkter för soluppgång och solnedgång. Tidpunkter för påbörjad och avslutad direkt strålning mot en lutande yta vänd mot söder	40
4.2.6	Diffus strålning mot en lutad yta	41
4.3	Uteluftens temperatur	45
4.4	Försörjningsgrader och nyttiggjorda energimängder från solvärmesystem	45
4.4.1	Försörjningsgraden och utnyttjandegraden med solvärmesystem vars energilagringsskapacitet endast räcker för att fördela den infångade energin jämnt under ett dygn	45
4.4.2	Försörjningsgraden med solvärmesystem vars energilagringsskapacitet räcker för mer än ett dygns värmebehov	52
4.5	Plana reflektorer	61
4.5.1	Riktad reflekterad strålning från reflektorn till solfångaren	63
4.5.2	Diffus reflekterad strålning från reflektorn till solfångaren	70
5	JÄMFÖRELSE AV RESULTAT FRÅN BERÄKNINGAR ENLIGT DEN EGNA METODEN MED RESULTAT FRÅN SIMULERINGSBERÄKNINGAR	74

6	EXPERIMENTELLA FÖRSÖK MED PLANA SOLFÅNGARE. JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNAD OCH EXPERIMENTELLT BESTÄMD EFFEKTIVITET	81
6.1	Målsättning med experimenten	81
6.2	Teori och försöksuppläggning	82
6.3	Anläggning för experimentell utvärdering av solfångares effektivitet vid institutionen för byggnadsteknik, KTH	92
6.3.1	Presentation av anläggningen	92
6.3.2	Kalibrering av mätgivare i anläggningen	96
6.3.2.1	Termoelement	97
6.3.2.2	Termostaplar	98
6.3.2.3	Motståndstemperaturgivare	99
6.3.2.4	Pyranometrar	100
6.3.2.5	Vattenflödesmätare	101
6.4	Optiska egenskaper hos solfångarens glasning och absorbator. Reflektorns reflexionsegenskaper	102
6.4.1	Solfångarens glasning	102
6.4.2	Solfångarens absorbatoryta	103
6.4.3	Reflektorns reflexionsegenskaper	103
6.5	Experimentellt bestämda koefficienter för solfångarens effektekvation	105
6.5.1	Metod för bestämning av koefficienterna A_1 och A_2 då mätningar av andelen diffus instrålning saknas	106
6.5.2	Bestämning av värden på koefficienterna A_1 , A_2 och k från mätresultat utomhus på experimentbryggan	110
6.5.3	Bestämning av värden på koefficienterna A_1 , A_2 och k utifrån några andra utgångspunkter	114
6.5.4	Diskussion av de olika bestämda värdena på koefficienterna A_1 , A_2 och k	116
6.6	Instrålad och infångad mängd solenergi. Jämförelse mellan experimentellt bestämda och beräknade värden för klara, halvklara och mulna dagar	118
6.6.1	Dagtypbestämning	120
6.6.2	Ingångsdata vid beräkningen av instrålning och infångad mängd solenergi	123
6.6.3	Jämförelse mellan experimentellt bestämda och beräknade värden på instrålning och infångad mängd energi för klara, halvklara och mulna dagar	124
6.7	Inverkan på solfångarens effektivitet av värmekapacitet i solfångaren	128

6.8	Inverkan på solfångarens effektivitet av styrstrategin för pumpcirkulationen	133
6.8.1	Förenklad teoretisk studie av verknings sättet hos en styrautomatik för pumpcirkulationens till- och frånslag	133
6.8.2	Simulerad styrning av pumpcirkulationens till- och frånslag	138
6.9	Sammanfattning och slutsatser av den experimentella undersökningen	140
7	PARAMETERVARIATION, FÖRSÖRJNINGSGRADER OCH OPTIMALA SYSTEMDIMENSIONER FÖR OLIKA SOLVÄRMESYSTEM OCH BYGGNADER I SKANDINAVISKT KLIMAT	142
7.1	Orientering om beräkningarnas omfattning	143
7.1.1	Små lokala solvärmesystem	143
7.1.2	Stora solvärmecentraler	145
7.2	Optimeringsproblemet	146
7.3	Förutsättningar och antaganden vid genomförda beräkningar enligt den egna beräkningsmetoden	149
7.4	Beräkning med datorprogrammet enligt den egna beräkningsmetoden	157
7.5	Optimering av små lokala solvärmesystem - beräkningsresultat	159
7.5.1	Variation av solfångarens lutning	161
7.5.2	Solfångare med och utan plan reflektor framför	164
7.5.3	Variation av den plana reflektorns lutning	167
7.5.4	Glasning med järnfritt och anti-reflexbehandlat glas	169
7.5.5	Antal glas och absorbatorns emissionsfaktor för långvågig strålning	170
7.5.6	Drifttemperatur	174
7.5.7	Horisontavskärmning	176
7.5.8	Två olika energibehov. 1960-tals- huset och det värmesnåla huset	178
7.5.9	Investeringskostnader för optimalt dimensionerat solvärmesystem	184
7.6	Försörjningsgrader för passivt soluppvärmda hus	200
7.7	Solvärmesystems effektivitet på några olika orter i Sverige	203
7.8	Stora solvärmecentralers effektivitet och ekonomi	209
7.8.1	Optimal plan solfångare för solvärmecentral	214

7.8.2	Ekonomi	217
7.8.2.1	Värmesnåla småhus anslutna till en solvärmecentral	218
7.8.2.2	Äldre bebyggelse ansluten till en solvärmecentral	224
8	SAMMANFATTNING AV RESULTAT OCH SLUTSATSER	230
Appendix I:		
	TILLÄMPNING AV SOLFÅNGARENS VÄRMEBALANSEKVATION PÅ PLANA SOLFÅNGARE MED SLUTNA VÄTSKEKYLDA ABSORBATORER	234
Appendix II:		
	HÄRLEDNING AV EKVATIONER FÖR BERÄKNING AV RIKTAD REFLEKTERAD STRÅLNING FRÅN REFLEKTORN TILL SOLFÅNGAREN	248
Appendix III:		
	BERÄKNING AV FLÖDESAKTORN F_R FÖR SOLFÅNGARE AV FABRIKAT LENNOX LSC 18-1	261
Appendix IV:		
	BERÄKNING AV KOEFFICIENTERNA A_1 OCH A_2 I SOLFÅNGARENS EFFEKTEKVATION FÖR SOLFÅNGARE AV FABRIKAT LENNOX LSC 18-1	264
Appendix V:		
	VÄRMEBEHOV HOS DET VÄRMESNÅLA SMÅHUSET, KLIMATDATA M.M. FÖR BERÄKNING AV FÖRSÖRJNINGSGRADER PÅ OLIKA ORTER I SVERIGE	268
Appendix VI:		
	EXEMPEL PÅ EN RESULTATUTSKRIFT FRÅN EN DATORBERÄKNING I FÖRKORTAD ÅTERGIVNING	279
	LITTERATUR	290

BETECKNINGAR

Nedan har sammanställts betydelsen av de väsentligaste beteckningarna som förekommer i rapportens huvudtext. Några beteckningar har olika betydelse i olika avsnitt vilket har markerats med avsnittsnummer inom parentes. I sammanställningen har tillfälliga beteckningar, såsom hjälpvariabler, inte medtagits. Samtliga förekommande beteckningar finns förklarade i anslutning till deras förekomst i rapporten.

A	area, m^2 (4.4, 4.5, 6, 7) skenbara solarkonstanten (4.2)
A_0	andel absorberad total strålning (6.5)
A_1	andel absorberad direkt strålning
A_2	andel absorberad diffus strålning
B	energibehov, kWh (4.4) atmosfärens extinktionskoefficient (4.2) solfångarens höjd/bredd (4.5, 7)
C	reflektorns bredd/solfångarens bredd (4.5, 7) värmeförlust genom värmeutstrålning mot atmosfären, W/m^2 (6)
D	reflektorns längd/solfångarens bredd (4.5, 7)
E_b	energibehov, kWh/dygn
F_R	flödesfaktor
I	irradians, W/m^2
L	latitud (4.2) energilagringsskapacitet (4.4, 7)
M	molnighetsgrad
N	antal glas i solfångaren
Q	energimängd från solfångare, kWh
R	värmeutstrålning mot atmosfären, W/m^2
W_1	energimängd för långtidslagring, kWh

c	solasimut räknad från söder
a	absorptionskoefficient för solstrålning
c	värme kapacitivet, $\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$
f	Threlkelds faktor
h	solhöjd
h_a	horisontavskärmning
i	infallsvinkel
k	värmeförlustkoefficient (4.1, 5, 6, 7)
m	värmemotstånd, $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$ (6.7) antal dagar (4.1, 6.2)
m_u	yttre värmeövergångsmotstånd, $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$
\dot{m}	vattenflöde, kg/s
p	effekt från solfångare, W/m^2
q	energimängd från solfångare, $\text{Wh/m}^2\text{dygn}$, $\text{kWh/m}^2\text{dygn}$
r	reflexionsfaktor
t	tid, dagar (4.4) löpande tidsvariabel (4.2, 6)
u	utnyttjandegrad
θ	temperatur, $^{\circ}\text{C}$
ϕ	försörjningsgrad (4.4, 7) kontrollfunktion (4.1, 6.2)
ϕ_{ij}	vinkelkoefficient
Ω	antal energiomsättningar (4.4)
β	vinkel mellan ett plan och horisontalplanet
δ	jordaxelns deklination (4.2)
ϵ	emissionskoefficient för värmestrålning
η	verkningsgrad
ξ	andel diffus strålning av total
ω	timvinkel från kl. 12 ⁰⁰ sann soltid.

1 INLEDNING. UPPVÄRMNING AV BYGGNADER
MED SOLENERGI -
EN KORT PROBLEMIORIENTERING

1.1 Energibehovet i Sverige

Energibehovet i Sverige liksom i övriga världen har före oljekrisen visat starkt uppåtgående trend. Emellertid förväntas den tillväxttakt av Sveriges energibehov som pågått under ett par decennier i fortsättningen bli väsentligt lägre bl.a. genom höjda energipriser, den ökade medvetenheten om energins betydelse och inträdande mättnadseffekter. (Se bl.a. energiprognosutredningen SOU 1974:64.)

Nästan hälften av Sveriges totala energibehov kan relateras till uppvärmning av byggnader (~170 TWh/år brutto). Denna energi räknas som lågtemperaturvärme (max.tem. ca 100°C).

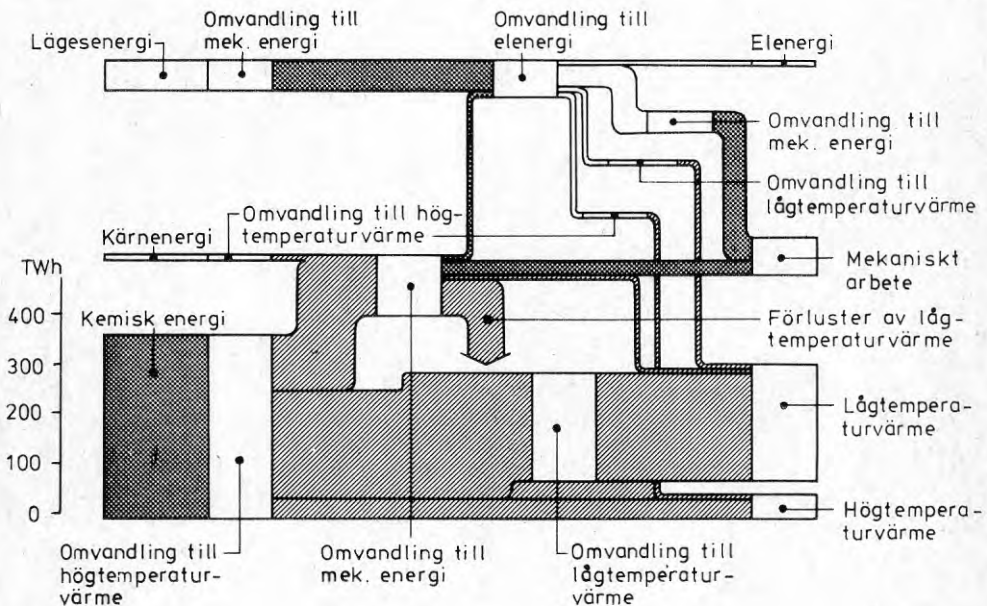


FIG. 1.1. Sveriges energiförsörjning 1971. Omvandlingskedja från primär energi till slutlig användning. Källa: SOU 1974:72.

Av FIG. 1.1, tagen från Energiprogramkommitténs betänkande SOU 1974:72, framgår att en stor del av lågtemperaturvärmen erhålls genom förbränning av högvärdiga bränslen. Den dominerande delen utgörs av olja. (Lågtemperaturvärme utgör här ett något vidare begrepp jämfört med ovanstående.) Detta förfarande är termodynamiskt föga rationellt sett mot bakgrund av den osäkra framtida försörjningen med högvärdiga bränslen. En stor del av lågtemperaturvärmen skulle eventuellt i framtiden i stället kunna utgöras av solenergi.

1.2 Solvärme för svenska förhållanden

De allmänna klimatiska förutsättningarna för solvärmens utnyttjande inom lågtemperaturområdet som råder i Sverige kan sammanfattas:

- i första hand föreligger ett uppvärmningsbehov
- årsvariationerna av instrålning och värmebehov är i motfas, se FIG. 1.2 och 1.3. Endast värmelagring under ett halvårs tid kan ge tillgång till solvärme under vintermånaderna i någon större omfattning
- instrålningsvariationerna från dygn till dygn kan vara stora. En bedömning av energiförsörjningsgraden får inte okritiskt baseras på medelinstrålning.

I själva verket har dagens byggnader möjlighet att tillgodogöra sig en icke oväsentlig del solenergi. Ett fönster orienterat mot en sydlig riktning är en solfångare med hög verkningsgrad. Byggnader med stor andel sydligt orienterade fönster tillförs således betydande energimängder. Tyvärr har byggnader ofta planerats på ett felaktigt sätt så att å ena sidan rum orienterade mot söder lätt blir överhettade om inte dyra effekt- och energikrävande skyddsåtgärder sätts in medan rum mot norr å andra sidan måste tillföras värme. (Höglund, 1974; Elmroth & Höglund, 1973; Höglund, 1963.)

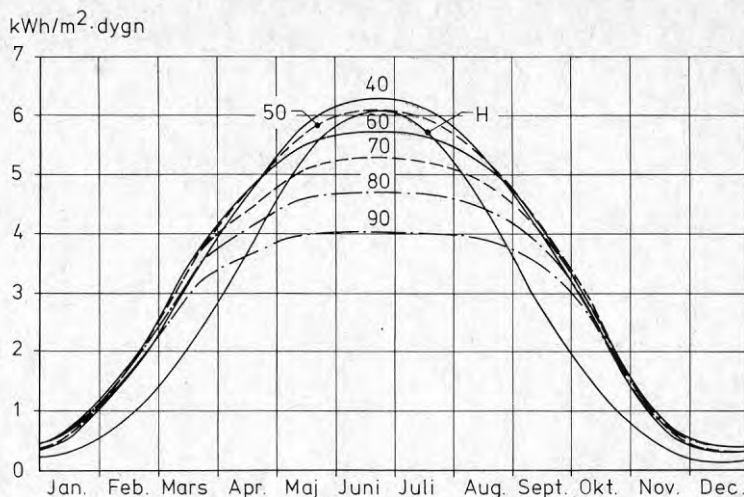


FIG. 1.2. Beräknad medelinstrålning per dygn i Stockholm mot olika orienterade ytor. Lutningen mot horisontalplanet är varierad från 40° till 90° . H = horisontell yta. Figuren återgiven från kap. 7.

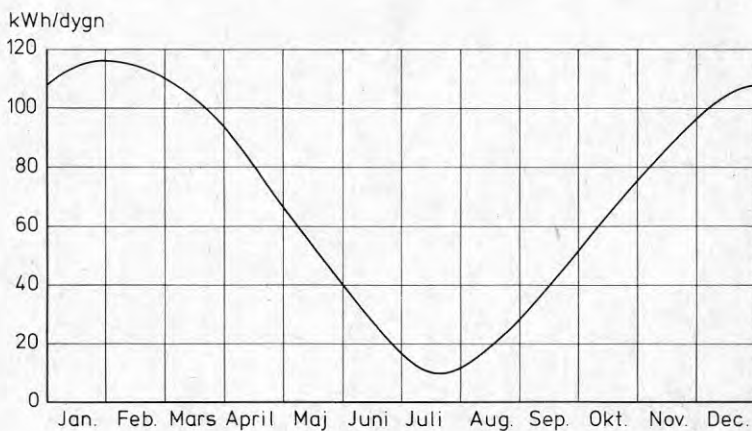


FIG. 1.3. Fördelningen under året av energibehovet för en villas uppvärmning och varmvatten i Stockholm med årsbehovet 22 MWh. Exemplet valt från Isfält, SOU 1974:76.

Solinstrålning genom fönster kan och bör utnyttjas för att skapa värmebalans i byggnader. Detta förutsätter

dock god byggnadsplanering, temperaturreglering i varje rum samt en lämplig avvägning av byggnadsdelarnas värmemotstånd och kapacitet. För att åskådliggöra sambandet mellan värmetillskott och värmeförlust under eldningssäsongens olika månader och för olika orienterade fönster har ett s.k. ekvivalent k-värde beräknats, FIG. 1.4. Beräkningarna, som tar hänsyn bl.a. till molnighet och skuggade ytor, stöder sig på fältundersökningar i provhus under motsvarande tidsperiod.

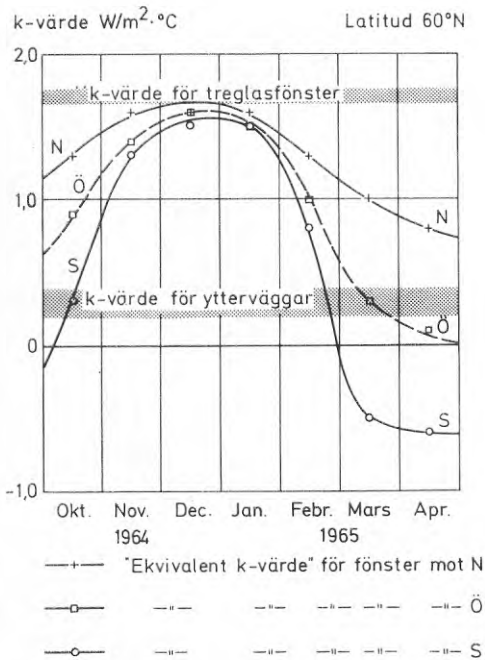


FIG. 1.4.

Beräknade "ekvivalenta k-värden" för treglasfönster. (Höglund, 1974.)

Genom en målmedveten konstruktiv utformning av en byggnad kan en stor del av energibehovet tillgodoses med solenergi. Här är värmebesparande åtgärder inte minst väsentliga. Man skiljer allmänt mellan aktiva och passiva system för soluppvärmda byggnader. Skillnaden ligger däri att i en aktivt soluppvärmd byggnad styrs energitransporten med hjälp av installationstekniska åtgärder medan i en passivt soluppvärmd byggnad bestäms energitransporten enbart av den byggnadstekniska och

arkitektoniska utformningen. Gränsdragningen är endast teoretisk. I det praktiska utförandet äger en byggnad en kombination av aktiva och passiva egenskaper med tyngdpunkten mer eller mindre förskjuten åt någöndera hållet. (Höglund & Isakson, 1975.)

Ett aktivt solvärmesystem innehåller följande komponenter:

- plan solfångare
- värmeöverföringssystem
- värmelager
- värmedistributionssystem
- reglerutrustning.

Uppbyggnaden av en plan solfångare framgår av FIG. 1.5. Solstrålning (våglängdsintervallet $0,3-2 \mu\text{m}$) absorberas i en skiva kallad absorbator. Skivan skyddas mot värmeförluster framåt av ett fönster och bakåt av vanlig värmeisolering. I absorbatorn strömmar ett värmetransportmedium, t.ex. vatten eller luft, som för värmen från absorbatorn till ett värmelager. Solstrålningen består av direkt och diffus strålning. Den diffusa strålningen kommer dels från solens absoluta närhet och himlavalvet i övrigt, dels från markens och omgivningens reflexion, FIG. 1.6. Irradiansen av diffus strålning kan nå betydande nivåer speciellt genom strålande molnkanter eller upprepad reflexion mellan snötäckt mark

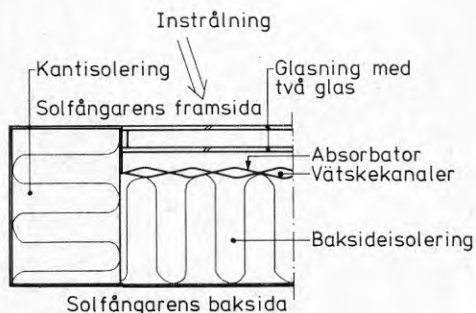


FIG. 1.5.

Principiell uppbyggnad av en plan solfångare med två glas och en vätskekyld sluten absorbator.

och moln. En stor fördel hos plana solfångare framför koncentrerande är att även den diffusa strålningen absorberas. Den plana solfångarens form erbjuder dessutom utmärkta möjligheter att integrera solfångaren i byggnadens ytterkonstruktioner. Lämpligaste solfångarlutning för en solfångare riktad mot söder är $40-80^\circ$ mot horisontalplanet. En avvikelse på $\pm 45^\circ$ från sydriktningen har inte så stor betydelse. I FIG. 1.7 visas mycket förenklat hur stor värmeeffekt en vanlig plan solfångare kan avge vid olika instrålningsintensiteter.

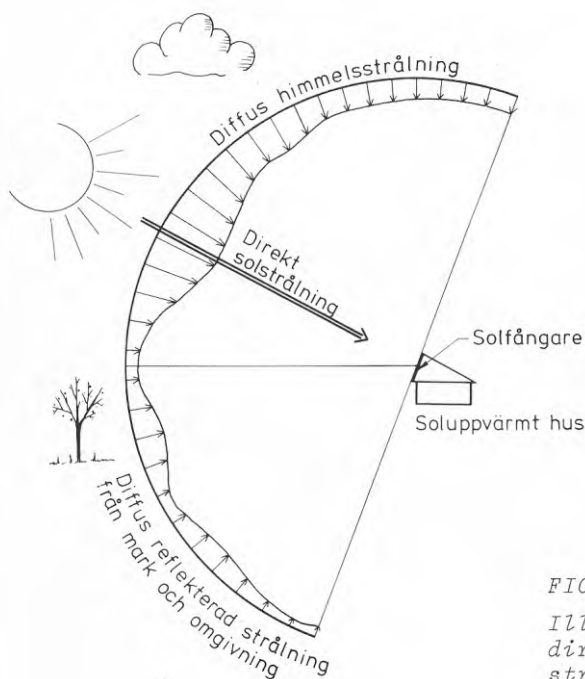


FIG. 1.6.

Illustration av direkt och diffus strålning.

I ett solvärmesystem som ska ge väsentliga energibidrag måste det finnas möjligheter att lagra värme i första hand för dygnets mörka timmar och för korta solfattiga perioder. Vinterns energibehov kan inte täckas utan långtidslagring av energi från sommaren. Bland metoder att lagra energi ligger närmast till hands:

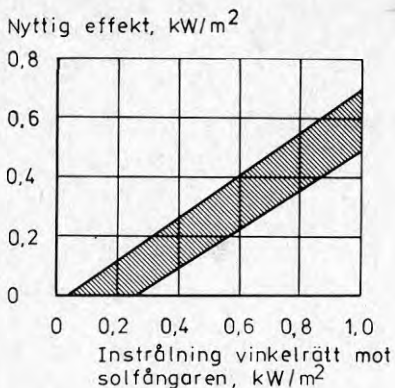


FIG. 1.7.

En mycket förenklad bild av en plan solfångares avgivna värmeeffekt i relation till instrålningen.

Figuren utgör en sammanfattning av ett antal beräknade typiska fall och kan därför uppfattas vara representativ för vanliga plana solfångare.

- temperaturhöjning i vatten- eller stenmagasin

- fasomvandling av salhydrater

- reversibla kemiska reaktionsprocesser.

Lagring av värme i vatten- och stenmagasin är den helt dominerande metoden i dagens solhus. Med ett räkneexempel är det lätt att påvisa denna tekniks begränsningar. Värmekapaciteten hos vatten är $1,16 \text{ kWh/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$. I ett system där värme från 40°C och uppåt kan användas är det möjligt att utnyttja en temperaturhöjning av ca 50°C . Det medför att lagringskapaciteten är ca 60 kWh/m^3 , vilket kan jämföras med oljas energiinnehåll som är ca $10\,000 \text{ kWh/m}^3$. 1 m^3 olja motsvarar alltså ungefär 200 m^3 varmvatten.

En värmelagringsenhet med sten är ungefär dubbelt så stor som en motsvarande enhet med vatten. Värmeförlusterna från stora värmemagasin kan bli betydande p.g.a. den långa lagringstiden. Däremot kan ett stort värmelager ges ett förmånligare förhållande mellan omslutande area och volym än ett litet. Det är helt uppenbart att installationer av till volymen stora värmelager i enstaka hus är förenade med åtskilliga praktiska svårigheter och utgör därför inte någon lösning för framtiden att räkna med.

Lagring av värme i salhydrater har en rad fördelar framför värmelagring i vatten. Volymerna blir dock i båda fallen av samma storleksordning eftersom värdena på

smältvärmen för de aktuella ämnena ligger i området 50-100 kWh/m³ (Carlsson et al., 1978). Den stora fördelen med ett salthydrat är att energin lagras och tas ut vid en nära konstant temperatur. Detta medför att solfångaren kan arbeta vid en lägre temperatur och därmed med en högre verkningsgrad än när lagringen sker i en vattenmassa vars temperatur ökar med värmeinnehållet. Detta medför också att värmeförlusterna från salthydratlagret blir mindre.

Värmelagring genom reversibla kemiska reaktionsprocesser har ännu inte tillämpats i någon större skala men tekniken förefaller vara mycket lovande (Carlsson et al., 1978). Bland positiva egenskaper kan nämnas hög lagringstäthet, upp till ca 700 kWh/m³, och möjlighet att lagra energin under obegränsad tid genom att förvara reaktionsprodukterna separerade. Härigenom är det även tänkbart att lagra upp energi på en plats med god energitillgång och transportera reaktionsprodukterna (eller enbart den ena, den andra kan vara t.ex. vatten) till en annan plats där det finns ett energibehov. Tyvärr kräver de flesta av dessa kemiska processer hög temperatur, flera hundra °C. Det finns dock destillationsprocesser - en speciell form av reversibla kemiska reaktionsprocesser - som kan arbeta vid storleksordningen 70°C och har den höga lagringstätheten av ca 1000 kWh/ton (≈700 kWh/m³) (Forskning och Framsteg 6/78, Salt värmer huset).

I en passivt soluppvärmd byggnad sker värmelagringen i byggnadens ordinarie tunga byggnadsdelar. Dessa kan utvecklas för att bättre kunna tjäna som värmelager, t.ex. genom inbyggda saltlager i väggar och bjälklag.

Arbetets huvudmålsättning har varit att *kartlägga förutsättningarna och möjligheterna för uppvärmning av byggnader med solenergi i skandinaviskt klimat*. Målsättningen innebär att undersöka nivåer och fördelningar av solinstrålning, hur stor del av solinstrålningen som kan tillgodogöras och hur stor del av förekommande värmebehov i olika typer av bebyggelse som kan täckas med solenergi.

Någon samlad behandling av detta breda problemområde har inte tidigare redovisats av andra. Det man här i första hand söker svar på är hur stora solfångarareor och värmelagringsvolymmer som erfordras för att med ett solvärmesystem täcka ett givet värmebehov. Om man kan uppskatta kostnaderna för de ingående komponenterna i solvärmesystemet kan en energikostnad beräknas och jämföras med energikostnader för annan typ av energitillförsel eller för energibesparande åtgärder. Resultat från denna typ av undersökning kan bl.a. ingå som underlag för olika energiplaner för framtiden.

En bred undersökning av det aktuella slaget måste av praktiska skäl till största delen bestå av beräkningar. Beräkningarna i detta arbete omfattar lokala och centrala solvärmesystem med ny och äldre bebyggelse. De valda typerna av bebyggelse representerar olika typiska fördelningar av värmebehov under året. En mängd parametrar har varierats som beskriver den plana solfångarens konstruktion, solvärmesystemets storlek, omgivningskaraktäristika etc. Beräkningar har genomförts för olika orter i Sverige.

Dessa beräkningar har bl.a. resulterat i samband mellan tillgodogjorda energimängder från solvärmesystem, ofta uttryckta som försörjningsgrader, och dimensioner hos solfångare och energilager.

På detta underlag har en enkel uppskattning gjorts av kostnader för solenergin vid en tänkt framtida mass-tillverkning av systemkomponenter. En mer inträngande ekonomisk analys av solenergens kostnader ligger utanför ramen för detta arbete. I de exempel på optimering av solvärmesystem som visas har en konventionell kalkylmetod tillämpats med annuiteten 10 %. Kostnaderna för solenergin från system byggda i dagsläget är helt odiskutabelt betydligt högre än de kostnader som framkommer i denna rapport.

Beräkning av solvärmesystems prestanda kan ske med högst olika ambitionsnivåer i vad avser detaljeringsgrad i förutsättningar och resultat.

De mest komplicerade beräkningsmetoderna bygger på simuleringsprincipen. Varje komponent i ett system modelleras och systemet beskrivs av komponenternas inbördes förbindelser. Beräkningen som utförs med dator sker i tidssteg om t.ex. en timme varvid en mängd jämviktsvillkor exempelvis energibalanser ska vara uppfyllda under ett tidssteg innan nästa tidssteg tas. Metoden medger största tänkbara flexibilitet vid val av systemutformning, klimatdata, driftstrategier, resultatframställning m.m. Möjlighet finns att detaljstudera olika komponenters funktion och söka bästa detaljutformning. Simuleringsberäkningar kräver stort förberedelsearbete i form av systembeskrivning m.m., stora indata mängder och beräkningarna är i allmänhet kostsamma (storleksordningen 100-1000 kr för simulering av ett givet system under ett år). Bland mera kända simuleringsprogram kan nämnas det amerikanska TRNSYS, utvecklat vid University of Wisconsin (Klein et al., 1975).

De enklaste beräkningsmetoderna är de i vilka man utnyttjar beräkningsresultat och beräkningsförutsättningar från tidigare genomförda simuleringsberäkningar. Beräkningsresultaten från simuleringsberäkningar har då anpassats till funktioner av några fundamentala variabler t.ex. solfångararea, värmebehov etc. Systemutform-

ningen och dimensionsrelationerna mellan komponenterna är i stort sett fastställda och konsekvenser av egna antagna avvikelser från dessa går i allmänhet inte att bedöma med någon säkerhet. Likaså är klimatpåverkan i stort sett fastställd även om möjlighet kan finnas att välja mellan några olika klimattyper. Resultaten utgörs av tillgodogjorda energimängder, försörjningsgrader etc. I vissa metoder finns ekonomiska ställningstaganden inbyggda så att beräkningarna resulterar i optimala systemdimensioner. En sådan metod är mycket enkel att tillämpa och det är inte nödvändigt att använda dator. Exempel på en sådan beräkningsmetod är F-Chart (Klein et al., 1976) vars underlag utgör simuleringsberäkningar med det tidigare nämnda programmet TRNSYS.

För beräkningarna i detta arbete förelåg inga krav på detaljerade systemstudier. Däremot var det önskvärt att fritt variera dimensionerna och utförandet hos de viktigaste komponenterna solfångare och energilager. Beräkningarna skulle ske med svenska klimatdata men i förenklad form för att nedbringa förberedelse- och räknearbetet utan att för den skull nämnvärt påverka kvaliteten hos det sökta resultatet. Antalet kombinationer av parametervärden för vilka solvärmesystemens prestanda skulle beräknas under ett år uppgår till flera 1000-tal. En lämplig beräkningsmetod för detta ändamål måste bygga på fysikaliska grunder för att kunna möta kravet på flexibilitet i systemutformning men måste samtidigt innehålla förenklingar så att beräkningsarbetet för varje parameterkombination går snabbt och smidigt och till låg kostnad (ca 0,1-1 kr per parameterkombination). Av detta framgår att ambitionsnivån hos en lämplig metod för detta arbete ligger någonstans mellan de två tidigare beskrivna metodernas ambitionsnivåer. Någon sådan metod lämplig för skandinaviska förhållanden var inte känd. Därför har en beräkningsmetod utvecklats inom detta projekt som:

leder snabbt till resultat så att många beräkningsfall kan behandlas med rimliga resurser

- är flexibel så att flera olika typer av solvärmesystem kan behandlas och parametervärden väljas godtyckligt
- erfordrar klimatdata av det slag som finns lätt tillgängliga för orter i Sverige.

Ett önskemål var dessutom att beräkningar skulle kunna genomföras med rimlig arbetsinsats för hand. En sådan möjlighet är intressant från främst pedagogisk synpunkt då personer för första gången stiftar bekantskap med tekniken för soluppvärmning av byggnader. Det är dock ofrånkomligt att då många beräkningsfall ska behandlas är ett datorprogram ett självskrivet hjälpmedel. Efter det att beräkningsmetoden tagits fram konstruerades således även ett datorprogram för denna. Detta datorprogram är mycket enkelt att använda. Det kan utnyttjas i små moderna datorer och är därigenom lämpat för i praktiskt projekterings- och konstruktionsarbete verk samma ingenjörer och arkitekter.

Resultat erhållna med den egna beräkningsmetoden har jämförts med dels resultat från simuleringsberäkningar dels med experimentella bestämningar.

Jämförelsen med simuleringsberäkningar avser ett värme-snålt småhus i Danmark eller Skåne vars solvärmesystem har värmelagring i vatten. Jämförelsen omfattar i första hand beräknade försörjningsgrader.

De experimentella bestämningarna har genomförts med institutionens provningsanläggning för solfångare. Jämförelsen omfattar främst solinstrålning mot lutande yta och mängd infångad solenergi vid varierande molnighetsförhållanden.

I denna rapport behandlas:

- den egna beräkningsmetodens uppbyggnad och teoretiska bakgrund

• jämförelser mellan resultat från beräkningar med den egna beräkningsmetoden och simuleringsberäkningar med ett danskt simuleringsprogram

• jämförelser mellan resultat från beräkningar med den egna beräkningsmetoden och experimentella bestämningar vid naturliga klimatförutsättningar

• beräknade

- instrålade och av solfångare infångade mängder solenergi
- försörjningsgrader med olika typer av solvärmesystem och bebyggelse varvid parametrar har varierats som beskriver den plana solfångarens konstruktion, solvärmesystemets storlek, omgivningskaraktäristika etc.
- samband mellan försörjningsgrader och solvärmesystemens dimensioner
- optimala systemdimensioner

Såväl lokala som centrala solvärmesystem behandlas.

3 FÖRENKLINGAR VID UPPBYGGNADEN
AV DEN EGNA BERÄKNINGSMETODEN

Den egna beräkningsmetoden har utvecklats med målsättningen att man med metodens hjälp ska kunna uppskatta mängden solenergi som kan tillgodogöras från ett solvärmesystem betraktat under systemets ekonomiska livslängd. När man behandlar denna problemställning är det angeläget att i beräkningarna kraftigt reducera de variationer hos klimatpåverkan som solvärmesystemet och anslutna byggnader kan antas bli utsatta för under denna tid. Eftersom framtida variationer hos klimatpåverkan inte kan förutsägas med någon högre grad av precision finns det ingen anledning till att försöka beakta dessa variationer mera än i starkt förenklad form vid dimensionering av solvärmesystem. De variationer hos klimatpåverkan som är viktiga att beakta är de stora dragen hos årsvariationen av instrålningen under helklara förhållanden, fördelningen månadsvis av instrålningens variation på grund av molnighet och årsvariationen av uteluftens temperatur så att de därpå grundade beräknade infångade mängderna solenergi får i stort sett

- rätt nivå
- rätt läge i tiden på året.

Det ligger nära till hands att beskriva dessa förenklade variationer utgående från någon form av långtidsmedelvärden hämtade från en statistisk beskrivning av klimatobservationer under något eller några tiotal år. Det är därmed inte säkert att sådana långtidsmedelvärden utgör det mest relevanta underlaget för den erforderliga variationsbeskrivningen av klimatet för dimensionering av solvärmesystem. Dimensioneringsproblematiken är i de flesta fall dock av sådan natur att slutresultatet påverkas obetydligt om de antagna klimatvariationerna grundas på en mera sofistikerad analys i stället för rena långtidsmedelvärden.

De förenklingar av verkligheten som är utmärkande för beräkningsmetoden är följande.

Dagarna i varje månad indelas i klara, halvklara och mulna. I princip kan indelningen baseras valfritt på instrålad energimängd, relativ solskenstid eller relativ genomsnittlig täckning av himlen med moln. Det som är viktigt vid valet av indelningsgrund är att man har tillgång till en samhörande fördelning av antalet dagar av varje typ. Eftersom den lättast tillgängliga informationen om fördelningen av antalet dagar på de olika typerna för svenska orter troligen är den av Taesler (1972) publicerade, som är baserad på genomsnittlig täckning av himlen med moln, har denna indelningsgrund valts även här. Instrålningsmängderna under genomsnittligt klara dagar beräknas eller avläses ur tabellverk timme för timme. Instrålningsmängderna under halvklara och mulna dagar beräknas genom att instrålningsvärdena för klara dagar modifieras med en molnighetsfaktor (Cloud Cover Factor). Alla dagar av en typ inom en månad antas vara identiskt lika.

Lufttemperaturen ute under dagtid (kl. 08-18) antas vara konstant under varje månad och lika med långtidsmedelvärdet enligt SMHI.

Infångad energi av solfångaren beräknas under antagande om stationära förhållanden timme för timme för varje dagtyp. Endast timmar med positiv energi räknas. Man kan rikta invändningar mot antagandet om stationära förhållanden då solfångarens värmekapacitet inte är försumbar och då värmelagring i systemet sker genom temperaturförhöjning av t.ex. vatten varigenom solfångarens drifttemperatur (begrepp för temperaturnivån hos solfångarens absorbator) och därmed de termiska förlusterna kan variera. Man kan emellertid visa att hos väl utformade

solfångarkonstruktioner är värmekapaciteten liten och dess inverkan kan vid beräkningar försummas. Man kan också visa att det räcker att anta en ungefärligt riktig medelnivå hos drifttemperaturen för väl utformade effektiva solfångare även för systemutformningar med stor temperaturvariation i värmelagret.

Genom att man utför energiberäkningen separat för varje dagtyp fås ungefär riktigt antal drifttimmar vilket har stor betydelse för att den totala mängden termiska förluster från solfångaren och den därav beroende mängden infångad energi under månaden ska bli ungefär riktigt beräknade.

Försörjningsgraden av energi med ett solvärme-system definieras:

$$\begin{aligned} \text{Försörjningsgraden} &= \\ &= \frac{\text{Utnyttjade energin från solvärmesystemet}}{\text{Energibehovet för uppvärmning och varmvatten}} \end{aligned}$$

Solvärmesystem i enskilda hus har hittills vanligen så små värmelager att årsförsörjningsgraden blir mindre än 100 %. Vid beräkning av försörjningsgraden i ett sådant fall antas energibehovet vara konstant varje dag under en månad.

Eftersom alla dagar av en dagtyp inom en månad antas vara identiskt lika är de beräknade infångade energimängderna helt obundna vid bestämda datum. Vid beräkning av försörjningsgraden med solvärmesystem vars värmelagringskapacitet endast räcker för att fördela den infångade energin jämnt under ett dygn saknar det betydelse i vilken ordning dagarna kommer. Är värmelagringskapaciteten större måste något antagande göras om fördelningen av klara, halvklara och mulna dagar i tiden. Ett antagande på säkra si-

dan är att endast en period per månad förekommer med sammanhängande klara, halvklara resp. mulna dagar. Detta antagande implicerar att värmelagringskapacitet utöver behovet för dygnsutjämning utnyttjas till maximalt en energiomsättning per månad. Trots begränsningen till detta låga antal energiomsättningar kan det visas att inverkan av en eventuell underskattning av sannolikt antal energiomsättningar på årsförsörjningsgraden och dimensioneringen av systemet är ringa. Det återstår att ordna perioderna inbördes. I princip har ordningsföljden ingen större betydelse såvida den tillämpas konsekvent för alla årets månader. Beräkningarna blir överskådligare om dessa i största möjliga utsträckning kan utföras inom varje separat kalendermånad. Därför har varje månad antagits börja med de klara dagarna och sluta med de mulna. Den infångade energin som kan lagras i början av månaden omfördelas i första hand till det solfattigare slutet av månaden varefter eventuell ytterligare överbliven lagrad energi överförs till nästa månad.

Tidsperioden en månad är från flera synpunkter en lämplig tidsenhet under vilken infångade energimängder under de tre dagtyperna antas konstanta, energibehovet per dag antas konstant och alla dagarna av en typ antas vara sammanhängande inom en tidsperiod:

den vanligaste klimatstatistiken är upp-
rättad med månaden som bas

variationen i infångad energimängd under
månaden till följd av variationen hos
jordens deklination är för de flesta må-
nader relativt sett måttliga

längden av en månad är tillräckligt lång
för att antalen klara, halvklara och mulna

dagar under enskilda år inom solvärmesystemets ekonomiska livslängd till storleksordningen med ganska stor sannolikhet ska överensstämma med statistiskt givna värden. Om man i stället betraktar kortare tidsperioder, t.ex. av längden en vecka, är ovan nämnda sannolikhet betydligt lägre. Detta innebär att det vore felaktigt att utföra dimensioneringsberäkningar med den frekvensen av klara, halvklara och mulna dagar som blir resultatet om man för varje vecka skulle använda statistiskt givna medelantal klara, halvklara och mulna dagar.

4 DEN EGNA BERÄKNINGS-
METODENS UPPBYGGNAD

I detta kapitel behandlas först effektekvationen för termiska solfångare. Genom att integrera denna ekvation i tiden erhålls infångad mängd energi. Vid dessa beräkningar intar behandlingen av klimatdata en central plats. Med kännedom om infångade energimängder för olika typer av dagar för antagna solfångarareor, energibehovet och värmelagringskapaciteten hos det aktuella solvärmesystemet kan därefter försörjningsgrader och nyttiggjorda energimängder från solvärmesystemet beräknas.

I ett avsnitt behandlas inverkan av en plan reflektor i anslutning till en plan solfångare.

4.1 Avgiven effekt och infångad energi

Avgiven effekt från en termisk solfångare kan teoretiskt beskrivas med ekvationen

$$P_n = F_R \cdot \{A_1 \cdot I_D + A_2 \cdot I_d - k \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)\} \quad (4.1)$$

- där
- A_1 = andel absorberad direkt strålning
 - A_2 = andel absorberad diffus strålning
 - F_R = flödesfaktor enligt speciell definition, värde nära 1
 - I_D = irradians, riktad strålning, W/m^2
 - I_d = irradians, diffus strålning, W/m^2
 - k = solfångarens värmeförlustkoefficient, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
 - P_n = avgiven effekt, W/m^2
 - θ_ℓ = uteluftens temperatur, $^\circ C$
 - θ_{vi} = temperaturen hos värmebärarmediet vid solfångarens inlopp, $^\circ C$.

En närmare presentation av effektekvationen och koef-
ficienterna F_R , A_1 , A_2 och k för plana solfångare med
vätskekylda absorbatörer finns i appendix I.

Ekv. (4.1) gäller med god noggrannhet under stationära
förhållanden och då solfångarens värmekapacitet är så
liten att inverkan av transienta effekter är försumbar
vid icke stationära yttre förhållanden (varierande
instrålning, lufttemperatur och inloppstemperatur).

Genom att integrera effektekvationen (4.1) under da-
gens längd erhålls under dagen infångad energimängd.
Man måste då göra några antaganden om när cirkulatio-
nen av värmebärarmediet genom solfångaren är tillsla-
gen resp. frånslagen. Vid tillslaget läge har F_R van-
ligtvis ett värde strax under 1 medan vid frånslaget
läge gäller $F_R = 0$, dvs. effekten är noll. I beräkning-
ar kan man anta cirkulationen tillslagen då effekten
 p_n är positiv och annars frånslagen. I verkligheten
är tidpunkterna för till- och frånslag något avvikande
från tidpunkterna då effekten beräknad enl. ekv. (4.1)
passerar värdet noll som följd av dels värmekapacitet
i solfångaren, dels ofullkomlig styrning av cirkula-
tionens till- och frånslag. Inverkan härav på mängden
infångad energi under dagen är vanligen liten med väl
utformade solfångare och kan då försummas i beräkningar.

Hos den egna beräkningsmetoden utgör indelningen av
månadens dagar i grupperna klara, halvklara och mul-
na en central del. Den genomsnittligt infångade
energimängden för en dagtyp under en månad kan be-
räknas

$$q = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m \int_{\text{dagen}} \phi(p_n) \cdot p_{n_v}(t) dt \quad (4.2)$$

där q = infångad energi, Wh/m²·dygn

p_n = avgiven effekt enl. ekv. (4.1)

m = antalet dagar av en dagtyp under en månad

t = tidpunkten på dagen v av en dagtyp

ϕ = kontrollfunktion för tillslagen resp. frånslagen cirkulation.

Genom att införa kontrollfunktionen $\phi(p_n)$ kan man behandla F_R som en faktor med konstant värde strax under 1. Kontrollfunktionen $\phi(p_n)$ har egenskaperna

$$\phi(p_n) = \begin{cases} 1 & \text{då } p_n > 0 \\ 0 & \text{då } p_n \leq 0 \end{cases}$$

Den genomsnittligt infångade energimängden för en dagtyp under en månad kan i mera preciserad form nu skrivas

$$q = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m \int \phi(p_n) \cdot F_R \{A_1 \cdot I_D + A_2 \cdot I_d - k(\theta_{vi} - \theta_\ell)\} dt$$

(4.3)

{beteckningar, se ekv. (4.1)}.

I den egna beräkningsmetoden antas alla dagar av en typ inom en månad vara identiskt lika. Detta innebär att ekv. (4.3) förenklas till

$$\bar{q} = \sum_{t=0}^{24} \phi(p_n) \cdot F_R \{A_1 \cdot \bar{I}_D + A_2 \cdot \bar{I}_d - \bar{k}(\bar{\theta}_{vi} - \bar{\theta}_\ell)\} \quad (4.4)$$

där \bar{q} = infångad energi, genomsnittligt värde för en dagtyp, Wh/m^2

\bar{I}_D = irradians, riktad strålning, genomsnittligt värde för en dagtyp, W/m^2

\bar{I}_d = irradians, diffus strålning, genomsnittligt värde för en dagtyp, W/m^2

\bar{k} = solfångarens värmeförlustkoefficient med konstant värde under månaden, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$\bar{\theta}_\ell$ = uteluftens medeltemperatur under dagtid (kl. 8-18) för månaden enligt statistik, $^\circ C$.

Som framgår av ekv. (4.4) sker beräkningen i diskreta steg med intervallängden 1 timme. Beräkningen bör avse den 15:de i varje månad. Vid tillämpningen av beräkningsmetoden har dock beräkningarna gjorts för den 21:te varje månad för att behålla en enhetlig praxis från tidigare manuella beräkningar vid vilka instrålningsstabeller av Höglund & Stepenson (1968) begagnades. Denna skillnad saknar praktisk betydelse.

4.2 Beräkning av irradianser av direkt och diffus strålning för klara, halvklara och mulna dagar

Detta avsnitt behandlar beräkning av irradianserna \bar{I}_D och \bar{I}_d i ekv. (4.4) för genomsnittligt klara, halvklara och mulna dagar.

Som tidigare nämnts grundas indelningen av dagarna på de tre typerna i den förenklade beräkningsmetoden på molnighetsobservationer. Statistik över medelantal klara och mulna dagar per månad 1931-60 återges i TAB. 4.1. SMHI har följande definition på klara och mulna dagar:

klar dag: medelmolnmängd 0-23 %
mulen dag: medelmolnmängd 77-100 %.

Återstående dagar benämns här halvklara. Medelmolnmängden bestäms av visuella observationer kl. 07, 13 och 19.

Av rent praktiska orsaker har de tillämpade beräkningarna begränsats till att omfatta endast sydligt orienterade ytor med valfri lutning. Genom att instrålningens variation under dagen då kan betraktas vara symmetriskt lika på båda sidor om middagssolståndet halveras räknearbetet vilket är en stor fördel vid manuella beräkningar. Hittills har denna inskränkning även behållits i datorprogrammet.

Vid instrålningsberäkningar för lutande ytor ingår att beräkna instrålningen mot horisontell yta.

4.2.1 Beräkning av instrålning mot en horisontell yta

Sambandet mellan instrålning mot en horisontell yta och molnighetsgraden kan uttryckas med en s.k. CCF-funktion (Cloud Cover Factor). Molnighetsgraden M uttrycks då oftast i en 10-gradig skala och avser vanligen andelen molntäckt himmel varvid $M = 0$ betyder molnfri himmel och $M = 10$ helmulen himmel. Enligt CCF-metoden beräknas den totala strålningen mot en horisontell yta vid molnighetsgraden M

$$I_{TH}(M) = CCF(M) \cdot I_{TH}(0) \quad (4.5)$$

där I_{TH} = irradians, total strålning mot en horisontell yta

CCF = Cloud Cover Factor

M = molnighetsgrad.

Bestämningar av CCF-funktioner från svensk klimatstatistik finns inte publicerade. Däremot finns publicerat bestämningar gjorda i Finland och Kanada med likartade instrålningsförhållanden som i Sverige (FIG. 4.1).

För beräkning av instrålning mot lutande ytor är det nödvändigt att dela upp den totala instrålningen mot horisontell yta i direkt och diffus strålning. Vid denna uppdelning kan den direkta strålningen antas avta linjärt med molnighetsgraden M .

$$I_{DH}(M) = \left(1 - \frac{M}{10}\right) \cdot I_{DH}(0) \quad (4.6)$$

$$I_{DH}(0) = I_{DN}(0) \cdot \sin h \quad (4.7)$$

där I_{DN} = irradians, direkt strålning vinkelrätt mot strålningens normalplan

h = solhöjden över horisonten.

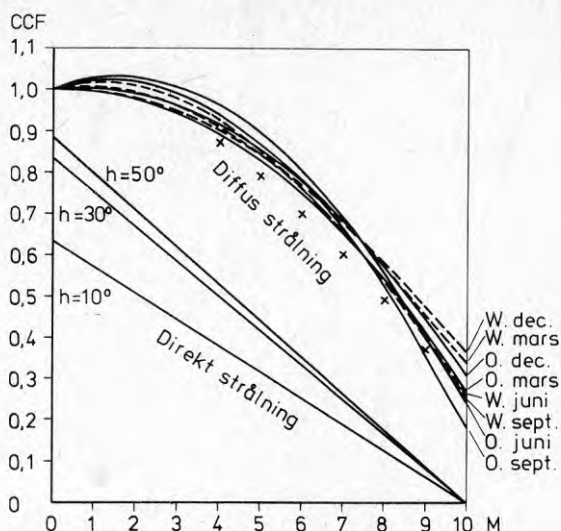


FIG. 4.1. Samband mellan molnighetsfaktorn CCF och molnighetsgraden M . Värdena markerade x avser mätningar av Lunelund (1936) i Helsingfors maj-juni 1927-33. De heldragna och streckade kurvorna bygger på mätresultat enligt Kimura & Stephenson (1969) i Winnipeg 1966 (W) och Ottawa 1967 (O).

Den diffusa strålningen vid helklart kan uppskattas (se bl.a. Höglund & Stephenson, 1968)

$$I_{dH}(0) = 0,1 \cdot I_{DN}(0) \quad (4.8)$$

Den totala strålningen vid helklart beräknas således

$$I_{TH}(0) = I_{DN}(0) \cdot (\sin h + 0,1) \quad (4.9)$$

Den direkta strålningsdelen vid uppdelningen av CCF-funktionen i en direkt och diffus strålningsdel blir

$$\frac{I_{dH}(M)}{I_{TH}(0)} = \frac{(1 - \frac{M}{10}) \cdot I_{DN}(0) \cdot \sin h}{I_{DN}(0) \cdot (\sin h + 0,1)} = (1 - \frac{M}{10}) \cdot \frac{\sin h}{\sin h + 0,1} \quad (4.10)$$

I FIG. 4.1 har linjer för $h = 10^\circ$, 30° och 50° lagts in.

I Klimatdata för Sverige av Taesler (1972) finns frekvenser av molnighet i SMHI:s åttagradiga skala för meteorologiska huvudstationer. Vid studium av de olika molnighetsgradernas frekvenser finner man att under klara dagar dominerar helklart, $M = 0$, och under mulna dagar helmulet, $M = 10$, det sista dock mindre utpräglat under sommarmånaderna. Frekvenserna för återstående dagar, de halvklara, är ganska jämnt spridda varför molnighetsgraden 5 kan vara en lämplig approximation för halvklara dagar.

Direkt och diffus instrålning mot horisontell yta kan för klara, halvklara och mulna dagar således beräknas

	Klar dag	Halvklar dag	Mulen dag
Direkt strålning mot horisontell yta	$I_{DN} \cdot \sin h$	$\frac{1}{2} \cdot I_{DN} \cdot \sin h$	0
Diffus strålning mot horisontell yta	$0,1 \cdot I_{DN}$	$\{CCF(5) \cdot (\sin h + 0,1) - 0,5 \sin h\} \cdot I_{DN}$	$CCF(10) \cdot (\sin h + 0,1) \cdot I_{DN}$

Bestämningen av lämpliga värden för $CCF(5)$ och $CCF(10)$ är förenad med vissa osäkerheter. Följande värden avläses mitt i kurvskaran i FIG. 4.1

Dagtyp	Molnighet	CCF
klar	0-23 %	1,0
halvklar	23-77 %	0,85
mulen	77-100 %	0,28

Dessa värden har använts genomgående för alla beräkningar. Vid en annan tillämpning har Sandberg (1973) valt värdena 1,0 0,8 och 0,25. Medelinstrålningens årsvariation för en horisontell yta i Stockholm har beräknats enligt dessa två värdeuppsättningar av CCF och jämförs i FIG. 4.2 med medelinstrålningen uppmätt av SMHI 1941-70.

Som framgår av figuren är överensstämmelsen mellan de tre kurvorna god. Detta styrker metoden att räkna med

CCF-värden och visar samtidigt att mindre osäkerheter vid valet av CCF-värden saknar praktisk betydelse.

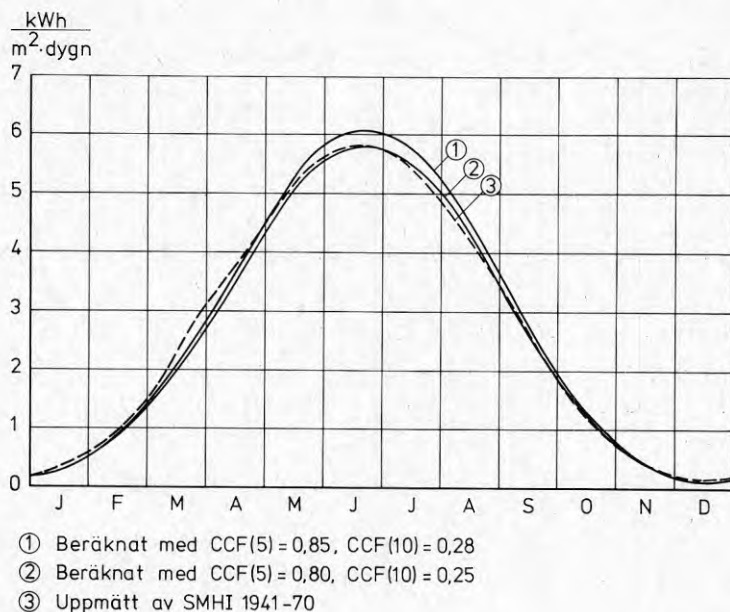


FIG. 4.2. Medelinstrålning mot horisontell yta i Stockholm under naturliga molnighetsförhållanden. Beräknade och uppmätta värden.

4.2.2 Direkt strålning vinkelrätt mot strålningens normalplan, I_{DN}

Ett vanligt sätt att beräkna irradiansen av den direkta strålningen vinkelrätt mot strålningens normalplan vid helklara förhållanden är

$$I_{DN} = A \cdot e^{-\frac{B}{\sin h}} \quad (4.11)$$

där A = skenbara solarkonstanten

B = atmosfärens extinktionskoefficient

h = solhöjden.

Värden på A och B ges av bl.a. Höglund & Stephenson (1968). Denna publikation består i huvudsak av tabeller för instrålning under helklara förhållanden och innehåller bl.a. timvisa värden på I_{DN} den 21:e varje månad.

Enligt denna referens kan man sätta $A = 1070 \text{ W/m}^2$ medan B får variera mellan värdena 0,10 i januari och 0,14 i juli.

Ekv. (4.11) beskriver instrålningen mindre väl för solhöjder under 15° enligt Brown & Isfält (1974). Instrålade energimängder är vid sådana tillfällen av mindre storleksordning och osäkerheterna kan därför anses ha försumbar inverkan på dimensioneringar av solvärmesystem.

4.2.3 Jordens deklination

För ett flertal vinkelbestämningar där solens läge har betydelse krävs kännedom om jordaxelns deklination δ . I den förenklade beräkningsmetoden beräknas deklinationen under antagandet av en elliptisk jordbana runt solen enligt Heindl & Koch (1976)

$$\delta = \arcsin(-0,3979 \cdot \sin C_1) \text{ radianer}$$

$$C_1 = C_2 + 0,0334 \sin C_2 + 1,78128$$

$$C_2 = 0,017214(t - 2,8749) \quad (4.12)$$

där t = dagens ordningsnummer på året.

4.2.4 Direkt strålning mot en lutad yta vänd mot söder

Den direkta instrålningen mot en lutande yta kan beräknas

$$I_{D\beta} = \left(1 - \frac{M}{10}\right) \cdot I_{DN} \cdot \cos i_\beta \quad (4.13)$$

- där $I_{D\beta}$ = irradiansen av direkt strålning mot den lutade ytan, W/m^2
- I_{DN} = irradiansen av direkt strålning vinkelrätt mot strålningens normalplan, W/m^2
- M = molnighetsgraden
- i_{β} = strålningens infallsvinkel mot ytan.

Infallsvinkeln mot en lutad yta vänd mot söder beräknas

$$\cos i_{\beta} = \sin(L-\beta)\sin \delta + \cos(L-\beta)\cos \omega \cos \delta \quad (4.14)$$

- där L = latituden
- β = ytans lutningsvinkel mot horisontalplanet
- δ = deklinationen
- ω = timvinkel räknad från kl. 12 sann soltid.

Vid specialfallet horisontell yta är infallsvinkeln och solhöjden komplementvinklar. Solhöjden h beräknas alltså

$$\sin h = \sin L \sin \delta + \cos L \cos \omega \cos \delta \quad (4.15)$$

Infallsvinkeln mot en vertikal söderyta i_V beräknas

$$\cos i_V = -\cos L \sin \delta + \sin L \cos \omega \cos \delta \quad (4.16)$$

Infallsvinkeln mot en lutande yta kan även beräknas

$$\cos i_{\beta} = \sin h \cos \beta + \cos h \cos \alpha \sin \beta \quad (4.17)$$

- där α = solasimuten räknad från sydriktningen.

Solasimuten beräknas

$$\cos \alpha = (\sin h \sin L - \sin \delta) / (\cos h \cos L) \quad (4.18a)$$

$$\sin \alpha = \cos \delta \sin \omega / \cos h \quad (4.18b)$$

Båda ekvationerna erfordras om man behöver fastställa solasimuten i rätt kvadrant.

4.2.5 Tidpunkter för soluppgång och solnedgång.

Tidpunkter för påbörjad och avslutad direkt strålning mot en lutande yta vänd mot söder

Soluppgång och solnedgång innebär att solhöjden är noll. Den timvinkel då detta inträffar erhålls genom att sätta solhöjden $h = 0$ i ekv. (4.15). Därvid erhålls

$$\omega_s = \arccos(-\tan L \tan \delta), \quad 0 \leq \omega_s \leq \pi \quad (4.19)$$

$$t_{\text{upp}} = 12 - \frac{12}{\pi} \cdot \omega_s \quad (4.20a)$$

$$t_{\text{ner}} = 12 + \frac{12}{\pi} \cdot \omega_s \quad (4.20b)$$

där ω_s = timvinkeln vid solnedgång

t_{upp} = klockslag för soluppgång

t_{ner} = klockslag för solnedgång.

Tidpunkter för påbörjad och avslutad direkt strålning mot en lutande yta inträffar antingen då solen just når över en horisontavskärmning h_a eller då infallsvinkeln mot den lutande ytan är noll. Timvinklarna då dessa händelser inträffar erhålls genom att sätta $h = h_a$ i ekv. (4.15) och $\cos i_r = 0$ i ekv. (4.14). Därvid erhålls

$$\omega_{sh} = \arccos\left(\frac{\sin h_a}{\cos \delta \cos L} - \tan L \tan \delta\right) \quad (4.21)$$

$$\omega_{s\beta} = \arccos\{-\tan(L-\beta)\tan \delta\} \quad (4.22)$$

Den sökta timvinkeln är tydligen

$$\omega_\beta = \text{minimum}(\omega_{sh}, \omega_{s\beta}) \quad (4.23)$$

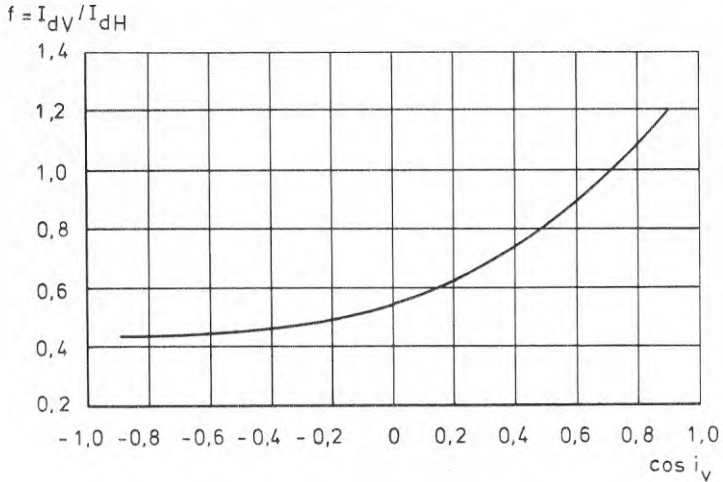
och tidpunkterna

$$t_{\text{början}} = 12 - \frac{12}{\pi} \cdot \omega_{\beta} \quad (4.24a)$$

$$t_{\text{slut}} = 12 + \frac{12}{\pi} \cdot \omega_{\beta} \quad (4.24b)$$

4.2.6 Diffus strålning mot en lutad yta

Den diffusa strålningen består dels av strålning från himlen, dels av reflekterad strålning från mark och omgivning. En stor del av himmelsstrålningen vid klart solsken kommer från solens omedelbara närhet. Därför är irradiansen av diffus strålning mot en vertikal yta ofta betydligt större än hälften av irradiansen på en horisontell yta. Hälften syftar på att strålningen mot en vertikal yta infaller inom en kvartssfärs rymdvinkel medan strålningen mot en horisontell yta infaller inom en halvsfärs rymdvinkel. Genom mätningar har Threlkeld (1963) fastställt ett approximativt samband mellan irradianserna på en vertikal yta och en horisontell yta för helklara dagar som funktion av den direkta solstrålningens infallsvinkel i_v mot den vertikala ytan, FIG. 4.3. För mera generella beräkningar av solinstrålning krävs att detta funktionssamband utvidgas till att även omfatta solfångarens lutningsvinkel mot horisontalplanet och molnighetsgraden. Experimentella utvärderingar av detta har, enligt vad författaren känner till, inte publicerats. Därför har för programmet gjorts några ansatser som förefaller rimligt valda. Mindre felaktigheter i dessa ansatser har förmodligen försumbar betydelse för slutresultatet. Threlkelds faktor f kan uppfattas som produkten av två faktorer, dels 0,5 som anger förhållandet mellan rymdvinklarna, dels $2f$ som anger hur mycket intensivare den södra himmelskvartssfären strålar än hela himlen i genomsnitt. Då solfångaren lutar en vinkel β ändras den första faktorn från 0,5 till $0,5(1+\cos \beta)$. Om dessutom horisontavskärmning h_0 förekommer blir faktorn $0,5(\cos h_0 + \cos \beta)$. Den andra faktorn



I_{dV} = irradiansen på en vertikal yta

I_{dH} = " " " horisontell yta

i_v = infallsvinkeln mot den vertikala ytan

FIG. 4.3. Samband mellan I_{dV}/I_{dH} och $\cos i_v$ enligt Threlkeld (1963).

föreslås som en interpolation mellan $2f$ för vertikal söderyta och 1 för horisontell yta med funktionen $\sin^2 \beta$ så att faktorn lyder $1+(2f-1)\sin^2 \beta$. Denna interpolation har egenskapen att endast i ringa grad påverka inverkan av den ursprungliga Threlkelds faktor för lutningar mellan ca 70° och 90° medan inverkan blir betydelselös för lutningar under ca 20° , FIG. 4.4. Man kunde tycka

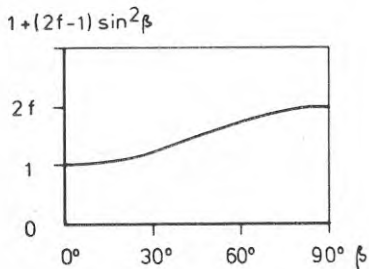


FIG. 4.4.

Funktionen $1+(2f-1)\sin^2 \beta$.

att interpolationen borde utföras så att faktorn får ett maximum (om $f > 0,5$) för lutningen kring 70° i fall då $\cos i_v \leq 0,8$ eftersom den del av den diffusa strålningen som infaller nära vinkelrätt mot den aktuella ytan då är större än den del som infaller nära vinkelrätt mot en yta med lutningen 90° , dvs. vertikal yta. f bestäms ju fortfarande som funktion av infallsvinkeln mot den vertikala ytan. Denna underskattning kan antas kompenseras av den överskattning det innebär att multiplicera faktorn $1+(2f-1)\sin^2\beta$ med hela faktorn $0,5(\cos h_a + \cos \beta)$ beroende på att tillskottet $0,5 \cos \beta$ inte alls härrör från det intensivast strålande området av himlen, FIG. 4.5. Produkten får sitt maximum kring lutningsvinkeln 60° vilket förefaller vara rimligt. Således antas för helklara dagar

$$I_{d\beta}/I_{dH} = \{1+(2f-1)\sin^2\beta\} \cdot 0,5(\cos h_a + \cos \beta) \quad (4.25)$$

se FIG. 4.6.

Irradiansen från mark- och omgivningsreflekterad strålning beräknas

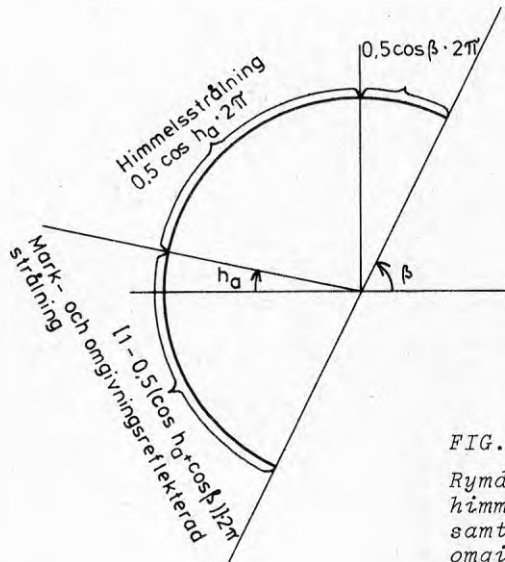


FIG. 4.5

Rymdvinklar för
himmelsstrålning
samt mark- och
omgivningsreflek-
terad strålning.

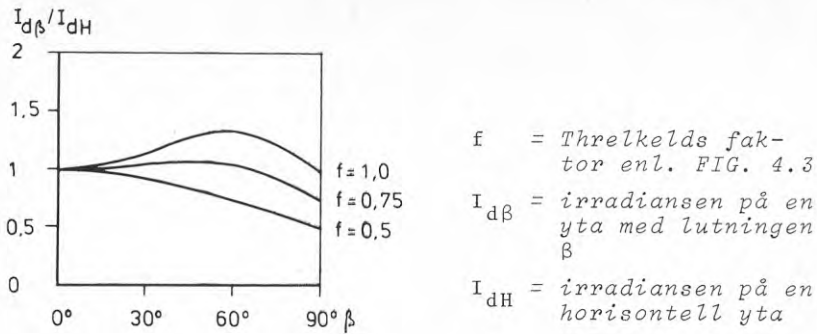


FIG. 4.6. Irradiansen enligt föreslagen ansats på en yta som lutar vinkeln β mot horisontalplanet. Gäller helklara dagar. $f=0,5$ gäller även vid idealt diffus strålning som kan antas under mulna dagar. Kurvorna gäller för horisontavskärmning upp till 10° à 15° .

$$I_{d\beta_m} = r_m \cdot 0,5(2 - \cos h_a - \cos \beta) \cdot I_{TH} \quad (4.26)$$

där r_m = reflexionsfaktorn för mark och omgivning
 I_{TH} = totala irradiansen (direkt + diffus) mot en horisontell yta.

Hänsyn till molnighetens inverkan på den diffusa strålningen har tagits på följande approximativa vis. Under helklara dagar görs beräkningen enligt ovan. Under mulna dagar antas himlen vara idealt diffusstrålande och $f = 0,5$ dvs. $I_{d\beta}/I_{dH} = 0,5(\cos h_a + \cos \beta)$. Halvklara dagar antas i denna ansats sammansatta av tider med antingen molnighetsgraden 4 och CCF = 0,9 eller molnighetsgraden 8 och CCF = 0,5. Eftersom för halvklara dagar CCF = 0,85 råder under ca 90 % av tiden molnighetsgraden 4. Under denna tid antas Threlkelds faktor gälla. Irradiansen på en yta med lutningen β beräknas för en halvklar dag således

$$(I_{d\beta}/I_{dH})_{M=5} = \{1 + 0,9 \cdot (2f - 1) \sin^2 \beta\} \cdot 0,5(\cos h_a + \cos \beta) \quad (4.27)$$

Irradiansen av mark- och omgivningsreflekterad strålning berörs inte av diskussionen kring molnighetens inverkan.

4.3 Uteluftens temperatur

Lufttemperaturens variation ute har i allmänhet så liten inverkan på en solfångares effektivitet att man kan anta temperaturen konstant under en månad. Värden på lufttemperaturen till ekv. (4.4) kan därför utgöras av månadsmedelvärden från 1931-60 för temperaturen under dagen kl. 8-18. Dessa månadsmedelvärden återges i TAB. 4.2.

4.4 Försörjningsgrader och nyttiggjorda energimängder från solvärmsystem

Den instrålade solenergin fördelning såväl under året som under dygnet skiljer sig avsevärt från motsvarande fördelning av en byggnads uppvärmningsbehov i Skandinavien. Detta framgår vid jämförelse av såväl timvärden under ett dygn som dygnsmedelvärden under ett år (se t.ex. FIG. 1.2 och 1.3). En energilagringens uppgift är att genom omfördelning i tiden avge den infångade solenergin i bättre överensstämmelse med uppvärmningsbehovet.

I fortsättningen antas uppvärmningsbehovet per dygn vara konstant under en månad.

4.4.1 Försörjningsgraden och utnyttjandegraden med solvärmsystem vars energilagringenskapacitet endast räcker för att fördela den infångade energin jämnt under ett dygn

Följande definitioner och beteckningar införs:

Definitioner:

$$\text{Försörjningsgraden} = \frac{\text{Utnyttjade energin}}{\text{Energibehovet}}$$

$$\text{Utnyttjandegraden} = \frac{\text{Utnyttjade energin}}{\text{Infångade energin}}$$

Beteckningar:

A	= solfångararean, m^2
B	= energibehovet för uppvärmning, kWh/månad
E_b	= energibehovet för uppvärmning, kWh/dygn
Q	= infångade energin, kWh/månad
q_1, q_2, q_3	= infångade energin under klara, halvklara och mulna dagar, $kWh/m^2 \cdot dag$
q_m	= infångade energin i genomsnitt per dag under månaden, $kWh/m^2 \cdot dag$
t_1, t_2, t_3	= antalet klara, halvklara resp. mulna dagar per månad
u	= utnyttjandegraden enligt definitionen
ϕ	= försörjningsgraden enligt definitionen.

Den av en plan solfångare infångade energin under olika typer av dagar kan för en månad ordnas efter fallande värden och åskådliggöras i form av ett varaktighetsdiagram, FIG. 4.7.

Till att börja med antas energilagringsskapaciteten vara endast så stor att den under dagen infångade energin

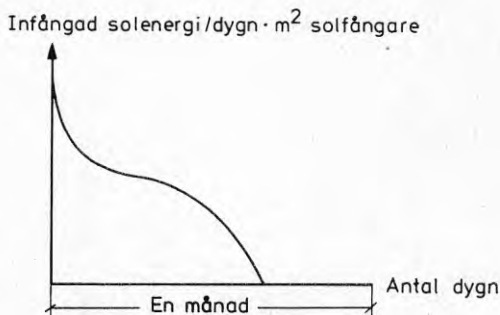


FIG. 4.7.

Varaktighetsdiagram över infångad solenergi från en plan solfångare, principfigur.

kan utjämnas under dygnet. Den energi som inte kan användas under ett dygn förloras.

Med beteckningarna

$$A = \text{solfångararean, m}^2$$

$$E_b = \text{värmebehovet per dygn, kWh}$$

kan storheten $E_b/A = \text{värmebehovet per dygn och m}^2 \text{ solfångare}$ bildas och kombineras med FIG. 4.7, se FIG. 4.8. Genom denna konstruktion uppstår 3 ytor representerande olika energimängder per månad betecknade ①, ② och ③.

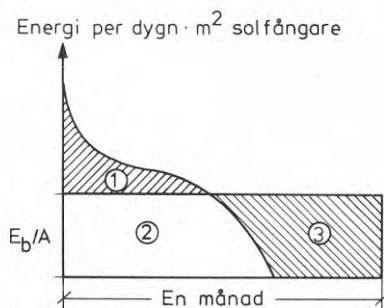


FIG. 4.8. Ett varaktighetsdiagram över infångad solenergi från en plan solfångare enl. FIG. 4.7 kombineras med byggnadens värmebehov uttryckt som E_b/A . $E_b = \text{värmebehovet per dygn}$. $A = \text{solfångararean}$. Därigenom definieras några intressanta energimängder per månad.

- ① = överskottsenergi med energilagring för endast dygnsutjämnning
- ② = utnyttjad energi med energilagring för endast dygnsutjämnning
- ① + ② = infångad energi
- ② + ③ = byggnadens energibehov.

En större lagringens uppgift är att lagra överskottsenergin 1 och fylla ut delbehovet 3.

Enligt definitionerna tecknas för månaden försörjningsgraden ϕ_0 och utnyttjandegraden u_0 med solvärmesystem

vars energilagringsskapacitet endast räcker till att fördela den infångade energin jämnt under ett dygn

$$\phi_0 = \frac{\textcircled{2}}{\textcircled{2} + \textcircled{3}} \quad (4.28)$$

$$u_0 = \frac{\textcircled{2}}{\textcircled{1} + \textcircled{2}} \quad (4.29)$$

Siffrornas betydelse framgår av FIG. 4.8.

Ett förenklat varaktighetsdiagram över den infångade energin under klara, halvklara och mulna dagar framgår av FIG. 4.9. Värmebehovet uttryckt som E_b/A (E_b = värmebehovet per dygn, A = solfångararean) är inlagd i figuren med en variabel nivå. Övergången från FIG. 4.8 till FIG. 4.9 innebär en viss approximation vars fel man kan anta inte har så stor betydelse vid uppskattning av försörjningsgrader och utnyttjade energimängder för en månad. I FIG. 4.10 visas exempel på några kurvor

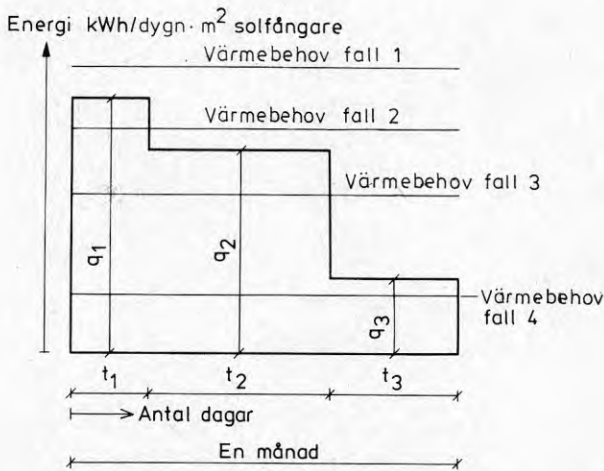
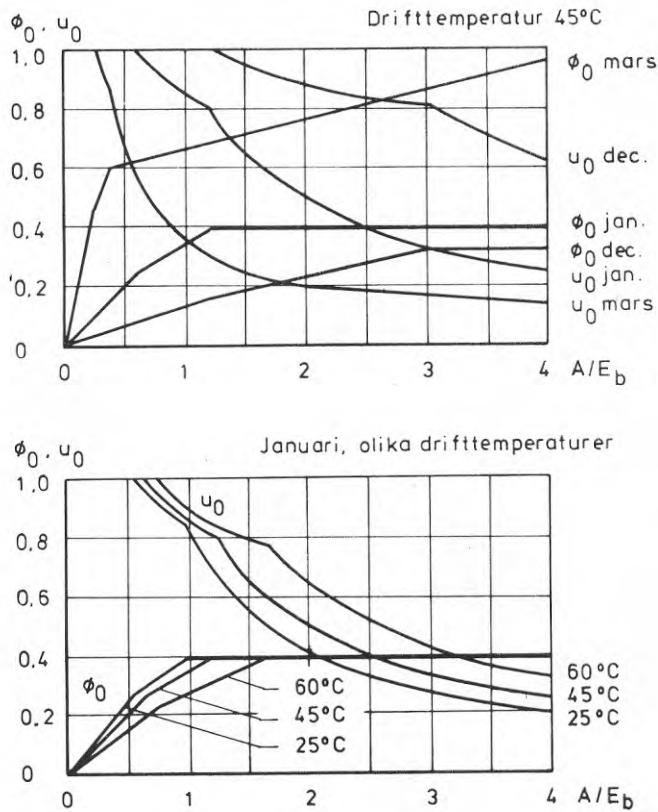


FIG. 4.9. Ett förenklat varaktighetsdiagram över beräknad infångad solenergi från en plan solfångare kombinerat med värmebehovet uttryckt som E_b/A . E_b = värmebehovet per dygn. A = solfångararean.

över försörjningsgraden ϕ_0 och utnyttjandegraden u_0 beräknade utgående från förenklade varaktighetsdiagram enligt FIG. 4.9. Det kan visas att approximationens maximala fel uppträder i derivatornas diskontinuiteter



A = solfångararean, m^2

E_b = värmebehovet, kWh/dygn

Försörjningsgraden ϕ_0 = utnyttjad energi/värmebehovet

Utnyttjandegraden u_0 = utnyttjad energi/infångad energi

FIG. 4.10. Försörjningsgraden ϕ_0 och utnyttjandegraden u_0 . Solfångare med 2 glas och selektivt svart absorberyta. Solfångaren lutar 70° , är riktad mot söder och befinner sig i Stockholm.

Energilagringsskapaciteten räcker för max. 1 dygns värmebehov.

i form av en liten överskattning av försörjningsgraderna här. En avrundning av diskontinuiteterna medför tämligen små värdeförändringar.

Uttrycken för försörjningsgraden ϕ_0 och utnyttjandegraden u_0 erhållna enligt definitionerna sammanfattas i TAB. 4.3.

TAB. 4.3. Sammanfattning av uttrycken för försörjningsgrad ϕ_0 och utnyttjandegrad u_0 .

Fall	A/E _b	ϕ_0	u_0
Gräns -1	0	0	1
1	A/E _b	$\frac{A}{E_b} \cdot q_m$	1
Gräns 1-2	1/q ₁	q_m/q_1	1
2	A/E _b	$\frac{t_1}{t_1+t_2+t_3} + \frac{A}{E_b} \cdot \frac{q_2 \cdot t_2 + q_3 \cdot t_3}{t_1+t_2+t_3}$	$\frac{1}{E_b} \cdot \frac{t_1}{q_m \cdot (t_1+t_2+t_3)} + \frac{q_2 \cdot t_2 + q_3 \cdot t_3}{q_m \cdot (t_1+t_2+t_3)}$
Gräns 2-3	1/q ₂	$\frac{t_1+t_2}{t_1+t_2+t_3} + \frac{q_3 \cdot t_3}{q_2 \cdot (t_1+t_2+t_3)}$	$\frac{q_2 \cdot (t_1+t_2) + q_3 \cdot t_3}{q_m \cdot (t_1+t_2+t_3)}$
3	A/E _b	$\frac{t_1+t_2}{t_1+t_2+t_3} + \frac{A}{E_b} \cdot \frac{q_3 \cdot t_3}{t_1+t_2+t_3}$	$\frac{1}{E_b} \cdot \frac{t_1+t_2}{q_m \cdot (t_1+t_2+t_3)} + \frac{q_3 \cdot t_3}{q_m \cdot (t_1+t_2+t_3)}$
Gräns 3-4	1/q ₃	1	q_3/q_m
4	A/E _b	1	$\frac{1}{E_b} \cdot \frac{1}{q_m}$
Gräns 4-	∞	1	0

Typiska värden på A/E_b som skulle kunna gälla välisolerade småhus är ca 0,5 under december-februari (A ≈ 50 m², E_b ≈ 100 kWh/dygn) och ca 0,7 under våren och hösten.

Några kommentarer till FIG. 4.10:

Med antagandet av en energilagringsskapacitet för max. 1 dygns värmebehov gäller att en ökning av A/E_b (ökning av A eller minskning av E_b) över ett tröskelvärde ger i vissa fall ingen ökning av försörjningsgraden som följd av att instrålningen är för liten för solinfångning under vissa dagar.

$1-u_0$ anger den energimängd som skulle kunna lagras i en energilagringssenheter med större kapacitet. För $A/E_b \leq 0,5$ är $u_0 \approx 1$ under nov.-jan. En bättre energilagringssenheter kan då inte öka försörjningsgraden.

Vid kraftig ökning av A/E_b under nov.-jan. (i praktiken troligen endast möjlig genom att minska E_b) kan $1-u_0$ ökas. Med hjälp av ett tillräckligt stort energilager kan därmed försörjningsgraden ökas väsentligt under nov. och jan.

Utan att öka A/E_b kan försörjningsgraden under nov.-jan. bli hög endast genom 1/2-års energilagring. Energilagringsskapaciteten måste då vara mycket stor.

De funna resultaten påverkas inte i stort av varierande värden på den i exemplet valda solfångarens drifttemperatur inom intervallet 25-60°C.

4.4.2 Försörjningsgraden med solvärmesystem vars energilagringsskapacitet räcker för mer än ett dygns värmebehov

Genom omfördelning av infångad solenergi inom samma månad med hjälp av en energilagringsskapacitet som räcker utöver ett dygns värmebehov ökar försörjningsgraden med $\Delta\phi_1$, till $\phi_0 + \Delta\phi_1$. $\Delta\phi_1$ beräknas

$$B \cdot \Delta\phi_1 = \text{minimum} \begin{cases} L \cdot \Omega \\ \textcircled{1} \\ \textcircled{3} \end{cases} \quad (4.30)$$

där B = energibehovet under en månad, kWh
 L = energilagringsskapaciteten utöver behovet för dygnslagring, kWh
 Ω = antalet energiomsättningar per månad för energilagringseenheten
 ① och ③ är energimängderna visade i FIG. 4.8

Ω begränsas uppåt av att $L \cdot \Omega \leq \text{minimum}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{①} \\ \text{③} \end{array} \right.$

Inom denna begränsning beror Ω av ordningsföljden av olika typer av dagar (soliga, mulna) och energilagringsskapaciteten L .

Ett antagande på säkra sidan är att endast en period per månad förekommer med sammanhängande klara, halvklara resp. mulna dagar. Detta antagande implicerar att energilagringsskapaciteten utöver behovet för dygnslagring utnyttjas till maximalt *en* energiomsättning per månad. I princip har periodernas inbördes ordningsföljd ingen större betydelse om den tillämpas konsekvent för alla årets månader. Beräkningarna blir överskådligare om dessa i största möjliga utsträckning kan utföras inom varje separat kalendermånad. Därför har varje månad antagits börja med de klara dagarna och sluta med de mulna dvs. enligt uppbyggnaden av ett varaktighetsdiagram, FIG. 4.9. Om i verkligheten under någon månad merparten soliga dagar skulle vara koncentrerade i slutet av månaden är sannolikheten stor att en period med soliga dagar inträffat även i slutet av föregående månad. I annat fall skulle det vara ca 1,5 à 2 månader solfattigt vilket sällan inträffar. Om soldagarna för januari skulle komma i slutet av månaden måste detta dock betecknas som otur eftersom ingen nämnvärd energi kan lagras från december.

Exempel på beräknad försörjningsgrad $\phi = \phi_0 + \Delta\phi_1$ med en utnyttjad energilagringsskapacitet motsvarande högst *en* energiomsättning per månad visas för jan.-mars i

FIG. 4.11. Energilagringsskapaciteten anges per m^2 solfångararea. FIG. 4.11 kan användas vid Ω antal energiomsättningar genom att multiplicera aktuell energilagringsskapacitet med Ω och använda produktens värde som parameter i figuren.

Värdet på Ω är inte klarlagt men viss ledning kan fås genom att studera SMHI:s statistik över instrålningen¹⁾. Enligt statistiken är sannolikheten tämligen stor att lika typer av dagar följer på varandra. Under nov.-jan. är antalet soldagar få, vilket medför stor sannolikhet för långa sammanhängande mulna perioder (flera veckor). För dessa månader måste antagandet om högst *en* omsättning i energilagret per månad vara ganska riktigt.

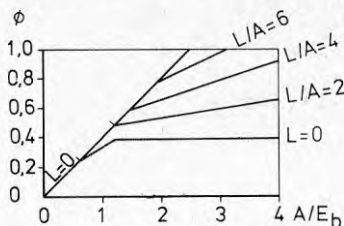
Under övriga månader är antalet soldagar större och sannolikheten för långa mulna perioder är inte så stor. Om inte energilagringsskapaciteten är för stor kan flera omsättningar förväntas. Ett energilagret som dimensionerats för att all infångad energi ska utnyttjas under nov.-jan. ger redan med antagandet högst *en* omsättning ett väsentligt bidrag till försörjningsgraden under hösten och våren. Till den högre försörjningsgraden under hösten och våren bidrar även det lägre energibehovet jämfört med vinterns.

Det torde inte finnas mycket att vinna på en noggrannare gjord studie av antalet sannolika energiomsättningar, Ω . Endast under en eller ett par månader under hösten och våren kan i allmänhet flera omsättningar komma i fråga. Under vintern begränsas Ω av att den infångade energin är liten och under sommaren och delar av våren och hösten begränsas Ω av att försörjningsgraden 1,0 är uppnådd.

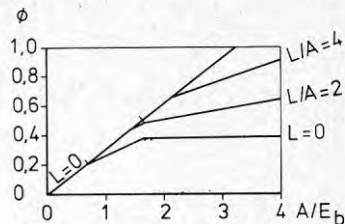
1) SMHI:s årsbok, Measurements of Solar Radiation in Sweden, Supplement 1957, 1958, ...

Drifttemperatur 45°C

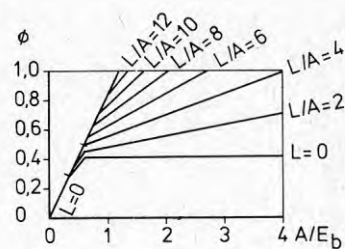
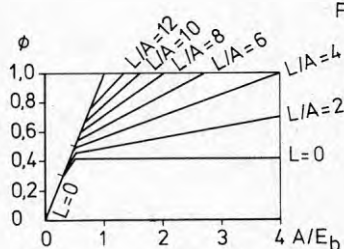
Januari



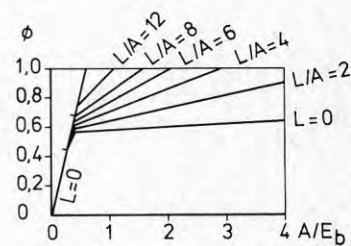
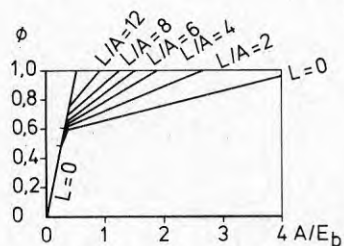
Drifttemperatur 60°C



Februari



Mars



A = solfångararean, m^2

E_b = energibehovet, kWh/dygn

L = energilagringsskapaciteten utöver behovet för dygns-lagring ($\approx E_b$) vid en energiomsättning per månad, kWh

FIG. 4.11. Försörjningsgraden ϕ = utnyttjad solenergi/ energibehovet med hänsyn till energilagringsskapacitet utöver ett dygns värmebehov. Solfångare med 2 glas, selektivt svart absorptor riktad åt söder och lutad 70° mot horisontalplanet i stockholmsklimat.

I det föregående har antagits att ökningen av försörjningsgraden åstadkommes genom omfördelning av infångad solenergi inom samma månad. För månader då den infångade solenergin Q understiger värmebehovet B , $Q < B$, kan försörjningsgraden ytterligare ökas $\Delta\phi_2$ med hjälp av värmelagring från månader då $Q > B$. Den totala försörjningsgraden för en månad blir således

$$\phi_{\text{tot}} = \phi_0 + \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 \quad (4.31)$$

Beräkningen av ϕ_{tot} kan göras på följande systematiska vis:

Antag att värmebehovet per månad under året varierar ungefär monotont mellan maximum under vintern och minimum under sommaren.

Antag att den totala kapaciteten för energilagring utöver ett dygns värmebehov som väljs för beräkningen av ett ϕ_{tot} -värde är L .

En energilagringsskapacitet $L_{\text{max}}^{\text{höst}}$ definieras på följande vis: $L_{\text{max}}^{\text{höst}}$ är den största energilagringsskapaciteten som för *någon* av månaderna juli-december medger en energiomsättning, $\Omega = 1$.

$$L_{\text{max}}^{\text{höst}} = \text{maximum} [\{\text{juli-december}\}\{\text{minimum}(\textcircled{1}, \textcircled{3})\}] \quad (4.32)$$

där $\textcircled{1}$ och $\textcircled{3}$ är energimängderna visade i FIG. 4.8.

Ökas energilagringsskapaciteten ytterligare, utöver $L_{\text{max}}^{\text{höst}}$, blir $\Omega < 1$ under hela tiden juli-december dvs. en del av kapaciteten utnyttjas aldrig för omfördelning av energi inom samma månad under detta halvår. Under alla månader juli-december med $Q < B$ ($Q =$ infångad solenergi under månaden, $B =$ värmebehovet under månaden) möjliggör $L_{\text{max}}^{\text{höst}}$ att all infångad solenergi utnyttjas.

En energimängd W_1 som kan lagras från månader med $Q > B$ till månader med $Q < B$ definieras

$$W_1 = \text{minimum} \begin{cases} \Sigma(Q-B) \text{ för månader med } Q > B \\ \text{maximum} (L - L_{\text{max}}^{\text{höst}}, 0) \end{cases} \quad (4.33)$$

Efter ett antal månader tillhörande den grupp av månader då $Q < B$ har energimängden ΔW_1 tagits från den lagrade energimängden W_1 . Samtidigt har friställt energi-lagringskapaciteten ΔL_1 som alltså till värdet är lika med ΔW_1 .

Om $Q < B$ gäller för *någon* månad under året, gäller detta med största sannolikhet för december. Från januari och framåt, då instrålningen åter ökar, finns möjligheten att disponera energilagringskapaciteten $L_{\text{max}}^{\text{höst}} + \Delta L_1$ för omfördelning av infångad solenergi inom samma månad under förutsättning att den antagna energilagringskapaciteten $L > L_{\text{max}}^{\text{höst}}$. Detta är fördelaktigt eftersom vanligen både instrålningen och värmebehovet är större under vårvintern än under senhösten.

$$\Delta W_1 = \text{minimum} \begin{cases} \text{neg.värde} \\ -\Sigma(Q-B), \text{ räknas fr.o.m. första ne-} \\ \text{gativa värde under höst-} \\ \text{ten t.o.m. månaden före} \\ \text{aktuell månad} \\ W_1 \end{cases} \quad (4.34)$$

$$\Delta W_1 = \Delta L_1 \quad (4.35)$$

Ökningen av försörjningsgraden för en månad genom omfördelning av infångad solenergi inom samma månad kan således beräknas.

$$B \cdot \Delta \phi_1 = \text{minimum} \begin{cases} L \\ L_{\text{max}}^{\text{höst}} + \Delta L_1 \\ \textcircled{1} \\ \textcircled{3} \end{cases} \quad (4.36)$$

där $\textcircled{1}$ och $\textcircled{3}$ är energimängderna visade i FIG. 4.8.

Ökningen av försörjningsgraden för en månad med $Q < B$ genom omfördelning av infångad solenergi från månader med $Q > B$ kan beräknas

$$B \cdot \Delta\phi_2 = \text{minimum} \begin{cases} -(Q-B) \\ W_1 - \Delta W_1 \end{cases} \quad (4.37)$$

I FIG. 4.12 visas en schematisk skiss över hur de olika delenergimängderna täcker värmebehovet under en månad.

Ett tillämpningsexempel på beräkning av försörjningsgrader visas i TAB. 4.4.

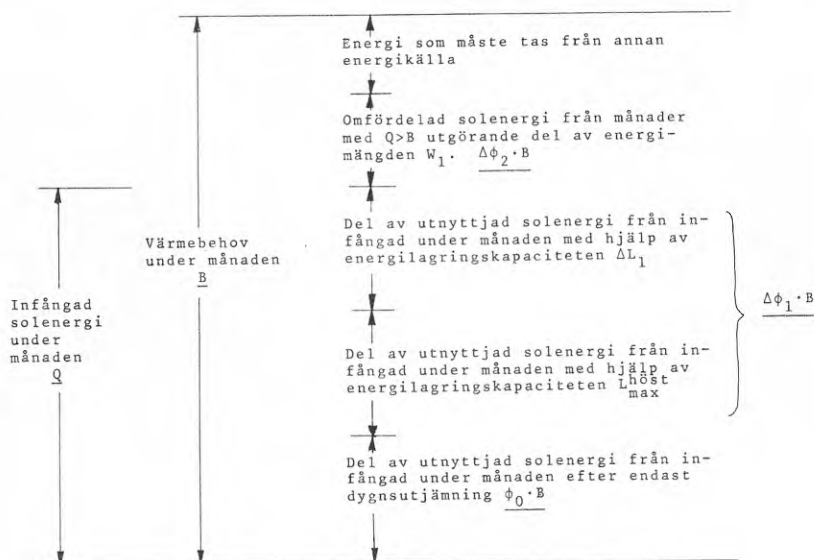


FIG. 4.12. Schematisk skiss över hur värmebehovet under en månad kan täckas. Ett bland flera tänkbara fall. Beteckningarna förklaras i huvudtexten.

TAB. 4.4. Exempel på beräkning av försörjningsgrader. Den första tabelldelen behandlar beräkning av ϕ_0 , försörjningsgraden med energilagringsskapacitet för endast dygnsutjämning av infångad energi, utgående från infångade energimängder under klara, halvklara och mulna dagar, antalet dagar av varje typ, värmebehovet och solfångararea. Den andra tabelldelen behandlar beräkning av ϕ_{tot} , försörjningsgraden med en större energilagringsskapacitet.

Månad	q_1 kWh/m ² ·dag	q_2 kWh/m ² ·dag	q_3 kWh/m ² ·dag	t_1 antal dagar	t_2 antal dagar	t_3 antal dagar	E_b kWh/dygn	A/E_b	ϕ_0 beräknat enl tab. 4.3
Jan.	0	0,01	0	2,9	9,1	19,0	40	0,375	0
Feb.	3,78	2,25	0	3,2	8,6	16,2	40	0,375	0,373
Mars	4,86	3,29	0	6,6	10,9	13,5	35	0,429	0,564
Apr.	5,06	3,89	0,13	4,9	14,2	10,9	28	0,536	0,662
Maj	4,85	4,10	0,37	7,3	14,7	9,1	20	0,750	0,790
Juni	4,74	4,19	0,55	5,8	16,1	8,1	20	0,750	0,841
Juli	4,93	4,25	0,55	5,9	16,8	8,3	20	0,750	0,843
Aug.	5,17	4,06	0,34	5,3	16,4	9,3	20	0,750	0,776
Sept.	4,90	3,42	0,06	4,3	14,9	10,8	20	0,750	0,656
Okt.	3,70	2,26	0	3,6	11,8	15,6	28	0,536	0,497
Nov.	0,48	0,28	0	2,0	7,6	20,4	35	0,429	0,044
Dec.	0	0	0	1,9	8,0	21,1	40	0,375	0

Objekt: Värmesnålt småhus

Ort: Stockholm

Solfångartyp: 2-glas högtransparent, selektivt svart absorberbara ytor

Solfångararea, m²: 15

Solfångarens orientering: Söder, lutning 70°, horisontavskärmning 10°

Solfångarens drifttemperatur, °C: 45

A = solfångararean, m²

E_b = värmebehovet, kWh/dygn

q_1, q_2, q_3 = infångad energi under klara, halvklara och mulna dagar, kWh/m²·dag

t_1, t_2, t_3 = antalet klara, halvklara och mulna dagar per månad

ϕ_0 = försörjningsgraden med energilagringsskapacitet för endast dygnsutjämning av infångad energi

TAB. 4.4, del 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Månad	Infångad energi Q kWh/mån	Värmebehov E_b kWh/dygn	A/E_b	ϕ_0 beräknat enl. tab. 4.3	Värmebehov B kWh/mån.	Q-B kWh	Energimängd $\textcircled{1} = Q - \phi_0 \cdot B$ kWh	Energimängd $\textcircled{3} = B \cdot (1 - \phi_0)$ kWh
Jan.	1	40	0,375	0	1240	-1239	1	1240
Feb.	472	40	0,375	0,373	1120	-648	54	702
Mars	1019	35	0,429	0,564	1085	-66	406	473
Apr.	1221	28	0,536	0,662	840	381	665	284
Maj	1484	20	0,750	0,790	620	864	994	130
Juni	1491	20	0,750	0,841	600	891	986	95
Juli	1575	20	0,750	0,843	620	955	1052	98
Aug.	1457	20	0,750	0,776	620	837	976	139
Sept.	1089	20	0,750	0,656	600	489	695	206
Okt.	600	28	0,536	0,497	868	-268	169	437
Nov.	46	35	0,429	0,044	1050	-1004	0	1004
Dec.	0	40	0,375	0	1240	-1240	0	1240
					Summa	Summa positiva Q-B		
					10 502	4415		

10	11	12	13	14	
Månad	$\min \begin{cases} \textcircled{1} \\ \textcircled{3} \end{cases}$ sök L (höst max kWh (juni-dec.))	$\Delta L_1 = \min \begin{cases} -\Sigma(Q-B)^a \\ W_1 \end{cases}$	$\Delta \phi_1: B \cdot \Delta \phi_1 = \min \begin{cases} L \\ \Delta L_1 + L_{\text{höst max}} \end{cases}$	$\Delta \phi_2: B \cdot \Delta \phi_2 = \min \begin{cases} \text{neg} \\ (Q-B) \\ W_1 - \Delta L_1 \end{cases}$	$\phi_{\text{tot}} = \phi_0 + \Delta \phi_1 + \Delta \phi_2$
Jan.		234	0	0	0
Feb.		234	0,048	0	0,42
Mars		234	0,374	0	0,94
Apr.		234	0,388	-	1,0
Maj		234	0,210	-	1,0
Juni		234	0,158	-	1,0
Juli	98	234	0,158	-	1,0
Aug.	139	234	0,224	-	1,0
Sept.	<u>206</u>	-	0,343	-	1,0
Okt.	169	0	0,195	0,270	0,96
Nov.	0	234	0	0	0,04
Dec.	0	234	0	0	0
				$\Sigma(\phi_{\text{tot}} \cdot B)$	Medelvärde $\Sigma(\phi_{\text{tot}} \cdot B) / \Sigma B$
				6271	0,60

a) Summan av negativa värden räknas fr.o.m. första negativa värde under hösten t.o.m. månaden före aktuell månad.

$$b) \quad W_1 = \begin{cases} \text{positiva} \\ \Sigma(Q-B) = 4415 \end{cases} \quad \begin{cases} L - L_{\text{höst}} = 234 \\ \text{maximum} \\ 0 \end{cases}$$

Objekt: Värmesnålt småhus

Ort: Stockholm

Solfångartyp: 2-glas högtransparent, selektivt svart absorberingsyta

Solfångararea A, m²: 15

Solfångarens orientering: Söder, lutning 70°, horisontavskärning 10°

Solfångarens drifttemperatur, °C: 45

Energilager, typ och volym, m³:
Salt, 5,3

Energilagringens kapacitet L, kWh: 440

TAB. 4.4, del 2.

4.5 Plana reflektorer

En plan reflektor är avsedd att placeras framför en plan solfångare på så sätt att direkt och diffus strålning som träffar reflektorn till en del reflekteras till solfångaren och ger därigenom ett ytterligare tillskott till den infångade energin. FIG.

4.13. Om drifttemperaturen i solfångaren bibehålls även efter det att solfångaren kompletterats med en plan reflektor blir tillskottet av absorberad strålning från reflektorn ett rent nettotillskott av infångad energi vilket således kan innebära en väsentlig effektivitetshöjning hos solvärmesystemet. Däremot är det tveksamt om plana reflektorer är ekonomiska. Detta diskuteras närmare i kap. 7.

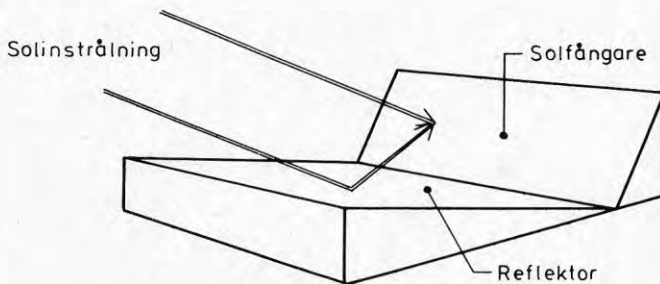


FIG. 4.13. *Principen att placera en plan reflektor framför en plan solfångare.*

I detta arbete behandlas endast reflektorer placerade under solfångaren som visas i FIG. 4.13. Man kan även placera reflektorn ovanför solfångaren med reflektorns undersida som reflekterande yta. Detta fall är det som mest har berörts i den fåtaliga litteraturen om plana reflektorer. Grassie & Sheridan (1977) har jämfört mängden infångad energi i Brisbane, Australien (latitud 28°S) från en vald solfångare med reflektorn över resp. under solfångaren för några olika reflektorvinklar. De redovisade fördelningarna av infångad energi

under året för de båda fallen uppvisar i stort samma mönster. Mest infångad energi under året ger fallet med reflektorn fast placerad under solfångaren. Författarna prioriterar dock fallet med en reflektor ovanför solfångaren med omställbar reflektorvinkel för sommar och vinter. Mängden infångad energi per år blir då ungefär samma som i fallet med reflektorn under solfångaren men fördelningen av energi under året blir bättre anpassad till varmvattenbehovet i Australien.

För detta arbete gjordes en enkel förstudie av hur reflekterad strålning träffar solfångaren med reflektorn placerad över resp. under solfångaren för olika tider på året. Problemställningen bjuder på många variationer. Beroende på lutningar hos reflektorn och solfångaren, reflektorns storlek i förhållande till solfångaren och instrålningsriktning kan vid olika enskilda tillfällen placeringen av reflektorn såväl över som under solfångaren vara bästa lösning. Sett över hela året förefaller inte en placering över solfångaren ge några märkbara fördelar. Däremot finns två klara nackdelar:

1. en placering av reflektorn över solfångaren blir konstruktivt svår att utföra. Om reflektorn ska integreras med byggnaden får ytterväggen med reflektorn en komplicerad och dyr utformning. Om reflektorn görs fristående erhålls svåra problem med vindbelastning
2. under sommarhalvåret skuggas solfångaren av reflektorn under förmiddag och eftermiddag, se FIG. 4.16 sommarfallet. Om energilagringsskapaciteten hos solvärmsystemet är liten kan detta vara en fördel eftersom överhettningssproblemen i systemet då blir mindre. Vid säsongslagring av energi däremot - utvecklingen går alltmer mot säsongslagring - är det en klar nackdel att förlora energi p.g.a. skuggning från reflektorn under tider då som mest energi finns att hämta.

Med denna motivering har arbetet begränsats till att endast omfatta reflektorer placerade under solfångaren.

Den litteratur som publicerats om plana reflektorer har tillkommit ungefär samtidigt med detta arbete. Därför har för detta arbete egna härledning av erforderliga ekvationssamband genomförts (appendix II). En härledning för det generella fallet med reflexion från en godtyckligt utformad och placerad yta mot en annan visas av Wijeysondera (1978) med hjälp av en vektor- och matrisformalism. Utgående från den generella teorin härleds ekvationer för fallet med en plan rektangulär reflektor över och i anslutning till en plan rektangulär solfångare. Tyvärr försummar författaren att diskutera villkor för att reflekterad strålning ska träffa solfångaren, villkor för att reflektorn inte ska skugga solfångaren m.fl. viktiga detaljer. Alla sådana detaljer behandlas däremot i detta arbete.

Med en del förenklingar har fallet med reflektorn placerad under solfångaren behandlats av McDaniels et al. (1975). Optimala lutningar hos reflektorn och solfångaren har sökts för vinter resp. sommarförhållanden i Oregon, USA. Inverkan av reflektorns begränsning i nord-sydlig riktning har beaktats medan begränsningen i ost-västlig riktning har försummats men inverkan av detta belyses.

De slutsatser som dras av McDaniels et al. stämmer väl överens med de beräkningsresultat som i sina huvuddrag presenteras i kap. 7. Som exempel kan nämnas den optimala vinkeln mellan solfångaren och reflektorn som förefaller i alla lägen vara ca $80-100^{\circ}$.

4.5.1 Riktad reflekterad strålning från reflektorn till solfångaren

Vid beräkning av riktad reflekterad strålning från reflektorn till solfångaren måste man beakta att en rad olika fall kan inträffa.

Först måste man undersöka om solstrålningen vid ett givet tillfälle träffar ovansidan på reflektorn eller om den reflekterande ytan hamnar i reflektorns egen skugga. Detta kan kontrolleras genom infallsvinkeln mot reflektorn (i_r)

$$\cos i_r = \sin h \cos \beta_r + \cos h \cos a \sin \beta_r$$

(4.38)

där h = solhöjden

a = solasimuten

β_r = reflektorns lutningsvinkel mot horisontalplanet.

Till att börja med antas att solstrålningen träffar ovansidan på reflektorn dvs. $\cos i_r > 0$. Exempel på ett sådant fall visas i FIG. 4.14. Solstrålningen

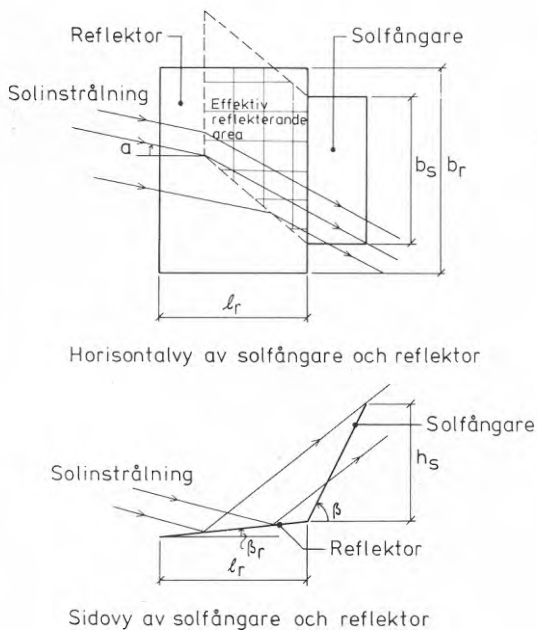


FIG. 4.14. Principen för en plan reflektors verkningsätt.

faller in mot reflektorn med solhöjden h och solasi-
muten α . För att den reflekterade strålningen ska
träffa solfångaren måste den mot reflektorn infallan-
de strålningen hamna inom den rombiska ytan markerad
i FIG. 4.14. En del av rombens yta kan hamna utanför
reflektorns yta så att den effektiva reflekterande
ytan minskas och mängden reflekterad strålning mins-
kas då i proportion härtill. I FIG. 4.15 visas några
olika fall som kan inträffa. Nedan följer de ekvatio-
ner med vars hjälp solfångarens irradianstillskott
från reflektorn har beräknats. Ekvationerna finns
härledda i appendix II.

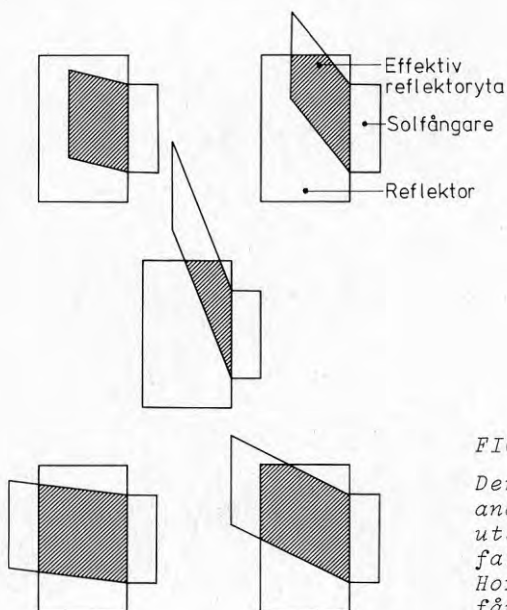


FIG. 4.15.

Den effektiva reflekter-
ande ytans varierande
utseende i de fem typ-
fall som kan förekomma.
Horisontalvyer av sol-
fångare och reflektor.

Ekvationer för beräkning av solfångarens irradianstill-
skott från reflektorn

$$I_{RR_m} = I_{RR_{0m}} - \Delta I_{RR_m} \quad (4.39)$$

där I_{RR_m} = irradiansens medelvärde bildat över hela solfångarytan av reflekterad riktad strålning från reflektorn, W/m^2 solfångare

$I_{RR_{0m}}$ = d:o under antagande att reflektorn har oändlig utbredning i ost-västlig riktning

ΔI_{RR_m} = minskning av irradiansen till följd av begränsad reflektorutbredning

$$I_{RR_{0m}} = k \cdot r_{DR} \cdot I_{DN} \frac{\cos i_r \cdot \sin \beta}{\cos \beta_r} \cdot (B_0 - A_0) \quad (4.40)$$

För att en effektiv reflekterande area ska existera krävs $B_0 > A_0$.

$$\Delta I_{RR_m} = r_{DR} \cdot I_{DN} \cdot \frac{\cos i_r \cdot \sin \beta}{\tan |\alpha_r| \cdot \cos \beta_r} \cdot \frac{0,5}{B} \cdot \left(1 - \frac{A_0}{B_0}\right) \cdot \{c_1 \cdot T_0^2 - c_2 \cdot (T_0 - 1)^2\} \quad (4.41)$$

$$T_0 = k \cdot B \cdot B_0 \cdot \tan |\alpha_r| - (C-1) \cdot 0,5 \quad (4.42)$$

$$c_1 = \begin{cases} 1 & \text{om } T_0 > 0 \\ 0 & \text{om } T_0 \leq 0 \end{cases} \quad c_2 = \begin{cases} 1 & \text{om } T_0 > 1 \\ 0 & \text{om } T_0 \leq 1 \end{cases} \quad (4.43)$$

$$k = \text{minimum} \left(1, \frac{D}{B} \cdot \frac{1}{B_0 - A_0}\right) \quad (4.44)$$

$$A_0 = \cot \beta \quad (4.45)$$

$$B_0 = \frac{(1 - \cot \beta \tan \beta_r)}{\tan \phi - \tan \beta_r} \quad (4.46)$$

$$\tan \alpha_r = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha \cos 2\beta_r - \tan h \sin 2\beta_r} \quad (4.47)$$

$$\tan \phi = \frac{\cos \alpha \tan 2\beta_r + \tan h}{\cos \alpha - \tan h \tan 2\beta_r} \quad (4.48)$$

$$B = h_s / b_s$$

$$C = b_r / b_s$$

$$D = \ell_r / b_s$$

- där
- b_s = solfångarens bredd
 - h_s = solfångarens höjd
 - b_r = reflektorns bredd
 - ℓ_r = reflektorns längd
 - h = solhöjden
 - α = solasimuten
 - β = solfångarens lutningsvinkel mot horisontalplanet
 - β_r = reflektorns lutningsvinkel mot horisontalplanet
 - i_r = strålningens infallsvinkel mot reflektorn
 - r_{DR} = reflektorns reflexionsfaktor för riktad reflexion av direkt infallande strålning
 - I_{DN} = irradiansen av direkta strålningen vinkelrätt mot strålningens normalplan.

Infallsvinkeln mot solfångaren för den riktade strålningen från reflektorn i_{rs} beräknas enligt något av alternativen

$$\cos i_{rs} = \frac{\cos i_r \sin \beta}{\cos \beta_r} \cdot (B_0 - A_0) \quad (4.49a)$$

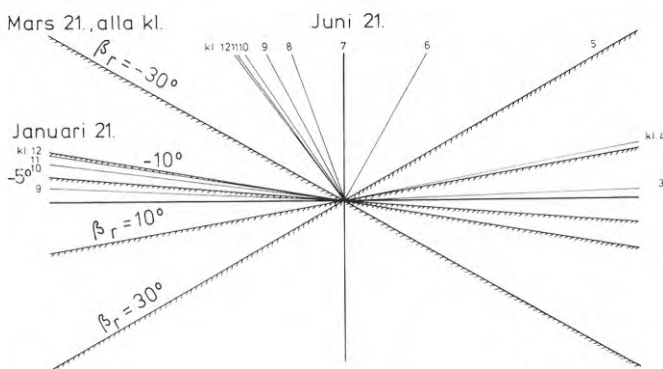
$$\begin{aligned} \cos i_{rs} = & (\cos h \cos \alpha \cos 2\beta_r - \sin h \sin 2\beta_r) \sin \beta - \\ & - (\sin h \cos 2\beta_r + \cos h \cos \alpha \sin 2\beta_r) \cos \beta \end{aligned} \quad (4.49b)$$

Infallsvinkeln är nödvändig att känna för beräkningen av transmissionen och absorptionen i solfångaren.

Nedan behandlas fall då reflektorns ovansida hamnar i reflektorns egen skugga.

Av intresse är endast det fall då reflektorns lutning enligt definition är negativ.

I FIG. 4.16 visas projektioner mot ett vertikalt plan i nord-sydlig riktning av direkt solstrålning samt av reflektorplanet för några olika typfall. I figuren finns även en sammanställning över vilka fall som medför att reflektorytan blir belyst resp. hamnar i reflektorns egen skugga. Fall av det senare slaget karakteriseras av $\cos i_r < 0$.



Fall	Reflektor- lutning β_r tecken	Belyst/mörk morgon & kväll	$\cos i_r$ tecken	Belyst/mörk middag	$\cos i_r$ tecken
1. Sommar	+	mörk	-	belyst	+
2. Sommar	-	belyst	+	belyst	+
3. Sommar	-	belyst	+	mörk	-
4. Vinter	+	belyst	+	belyst	+
5. Vinter	-	mörk	-	belyst	+
6. Vinter	-	mörk	-	mörk	-

FIG. 4.16. Projektioner mot ett vertikalt plan i nord-sydlig riktning av direkt solstrålning samt av reflektorplanet för några olika typfall.

- Fall 1. Ingen reflekterad strålning kan nå solfångaren även om $\cos i_r > 0$ hade gällt varför fallet är ointressant.
- Fall 3. Se fall 6.
- Fall 5. Se fall 6.
- Fall 6. I stället för att träffas av reflekterad strålning skuggas solfångaren helt eller delvis av reflektorn. Den del av medelirradiansen tagen över hela solfångarens yta som måste subtraheras till följd av skuggningen kan beräknas på samma sätt som irradiansen av reflekterad strålning. Man kan anta en fiktiv instrålningsriktning mot reflektorn så att efter reflexion strålningsriktningen överensstämmer med den verkliga infallande. Asimuten för den fiktiva strålningen mot solfångaren är identisk med solasimuten. Om således $\cos i_r < 0$ behöver endast följande ändringar av tidigare givna ekvationer företas.

$$\text{Ekv. (4.47) byts mot } \tan \alpha_r = \tan \alpha \quad (4.50)$$

$$\text{Ekv. (4.48) byts mot } \tan \phi = - \frac{\tan h}{\cos \alpha} \quad (4.51)$$

Dessutom sätts $r_{DR} = 1$.

Minskningen av irradiansen får sitt negativa tecken genom att $\cos i_r$ är negativ.

Infallsvinkeln mot solfångaren för den fiktiva reflekterade strålningen är identisk med infallsvinkeln för den direkta solstrålningen mot solfångaren.

4.5.2 Diffus reflekterad strålning från reflektorn till solfångaren

Den diffusa reflekterade strålningen från reflektorn antas avgiven enligt cosinuslagen. Det gäller att bestämma hur stor del av denna strålning som träffar solfångaren. Allmänt gäller att om diffus strålning avges efter reflexion från en yta A_i , kan strålnings-effekten från ytan A_i mot en annan yta A_j beräknas

$$P_{ij} = \phi_{ij} \cdot A_i \cdot r \cdot I \quad (4.52)$$

$$\phi_{ij} \cdot A_i = \frac{1}{\pi} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \beta_i \cos \beta_j}{d^2} dA_i dA_j \quad (4.53)$$

där r = reflexionsfaktorn för ytan A_i

I = irradiansen mot ytan A_i , antas vara lika över hela ytan A_i .

Vinklarna β_i och β_j samt avståndet d framgår av FIG. 4.17

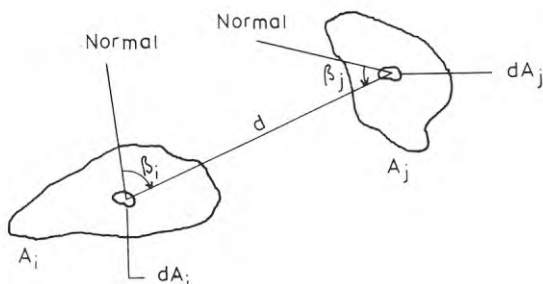


FIG. 4.17. Förklaring av vinklarna β_i och β_j samt avståndet d i ekv. (4.53).

Dessutom gäller sambandet

$$A_i \cdot \phi_{ij} = A_j \cdot \phi_{ji} \quad (4.54)$$

Om reflektorns area är A_r och solfångarens area A_s blir medelvärde bildat över solfångarytan av irradiansen mot solfångaren av diffus strålning från reflektorn

$$I_{Rd_m} = \phi_{rs} \cdot A_r \cdot (r \cdot I) / A_s \quad (4.55)$$

$$\phi_{rs} \cdot A_r = \frac{1}{\pi} \int_{A_r} \int_{A_s} \frac{\cos \beta_{ir} \cos \beta_{js}}{d^2} dA_r dA_s \quad (4.56)$$

Strålningen mot reflektorn består av både direkt och diffus strålning. Irradiansen av direkt strålning mot reflektorn är $I_{DN} \cos i_r$ och tillhörande reflexionsfaktor för diffus reflexion r_{Dd} .

I_{DN} = irradiansen av direkt strålning vinkelrätt mot strålningens normalplan

i_r = direkta strålningens infallsvinkel mot reflektorn.

Irradiansen av diffus strålning mot reflektorn varierar från punkt till punkt på reflektorn p.g.a. solfångarens avskärmning. Osäkerheten i bl.a. den diffusa strålningens fördelning över himlavalvet gör det meningslöst att räkna alltför noga på den diffusa reflexionen. Dessutom har osäkerheterna ganska liten betydelse för det slutliga beräkningsresultatet. Därför görs beräkningen på följande approximativa sätt. Ett vertikalsnitt genom solfångaren och reflektorn framgår av FIG. 4.18.

Approximationer:

1. irradiansen av diffus strålning mot reflektorn beräknas som om reflektorn alltid vore horisontell
2. solfångarens avskärmning av himmelsstrålningen mot reflektorn beräknas som om solfångaren hade oändlig utbredning i sidled

3. irradiansen av diffus strålning mot reflektorn beräknas i mittpunkten på reflektorn och värdet får gälla över hela reflektorn.

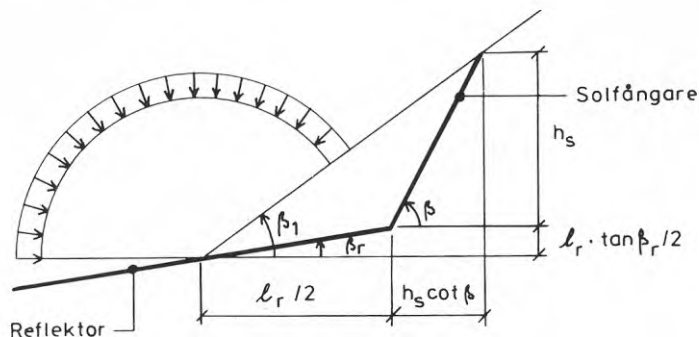


FIG. 4.18. Vertikalsnitt genom solfångaren och reflektorn. Antagen fördelning av diffus instrålning för hela reflektorn.

Den approximativt beräknade irradiansen av diffus strålning mot reflektorn är

$$I_{dH} \cdot \frac{1}{2}(1 + \cos \beta_1) \quad (4.57)$$

Av FIG. 4.18 framgår att vinkeln β_1 kan beräknas

$$\tan \beta_1 = \frac{h_s + l_r \cdot \tan \beta_r / 2}{h_s \cdot \cot \beta + l_r / 2} \quad (4.58)$$

Genom att införa de dimensionslösa storheterna

$$B = h_s / b_s \quad \text{och} \quad D = l_r / b_s$$

där b_s är solfångarens bredd

blir ekvationen

$$\tan \beta_1 = \frac{B + D \cdot 0,5 \tan \beta_r}{B \cot \beta + D \cdot 0,5} \quad (4.59)$$

Genom reflektorns existens avskärmas en del av den markreflekterade strålningen som eljest skulle ha träffat solfångaren. Eftersom den markreflekterade strålningen är att betrakta som diffus är det lämpligt att i dessa beräkningar minska irradiansen av strålning från reflektorn med den tänkta irradiansen av strålning från marken som reflektorn ersätter.

Således kan irradiansen på solfångaren av diffus strålning från reflektorn beräknas

$$I_{Rd_m} = \phi_{sr} \cdot \{ r_{Dd} \cdot \cos i_r \cdot I_{DN} + r_{dd} \cdot I_{dH} \cdot \frac{1}{2}(1 + \cos \beta_1) - r_m \cdot I_{TH} \} \quad (4.60)$$

- där
- ϕ_{sr} = vinkelkoefficient
 - r_{Dd} = reflexionsfaktor för diffus reflexion av direkt infallande strålning
 - r_{dd} = reflexionsfaktor för diffus reflexion av diffus infallande strålning
 - r_m = markreflexionsfaktorn
 - h = solhöjden
 - i_r = direkta strålningens infallsvinkel mot reflektorn
 - β_1 = vinkeln för himlens avskärmning i reflektorns mittpunkt
 - I_{DN} = irradiansen av direkt strålning vinkelrätt mot strålningens normalplan
 - I_{dH} = irradiansen av diffus himmelsstrålning mot ett horisontalplan.

Om $\cos i_r$ är negativ hamnar reflektorns ovansida i reflektorns egen skugga. Då sätts $\cos i_r = 0$ i ekv. (4.60).

5 JÄMFÖRELSE AV RESULTAT FRÅN BERÄKNINGAR
ENLIGT DEN EGNA METODEN MED RESULTAT
FRÅN SIMULERINGSBERÄKNINGAR

Det finns ännu endast få publicerade resultat från mera omfattande beräkningar av solvärmesystems prestanda i skandinaviskt klimat. Huvudsakligen har sådana beräkningar genomförts vid laboratoriet for varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole och vid institutionen för byggnadsteknik, KTH. Vid laboratoriet for varmeisolering har ett simuleringsprogram utvecklats för dessa beräkningar. Erforderliga klimatdata har sammanställts till ett referensår gällande för hela Danmark utgående från klimatstatistik. Beräkningsresultat avseende lokala solvärmesystem finns redovisade bl.a. av Lawaetz (1975). Nedan jämförs dessa resultat med egna beräkningsresultat med så lika utgångsdata som möjligt.

Slutresultaten i jämförelsen utgörs av försörjningsgrader med olika storlek på solvärmesystemet. Den byggnad som valts för jämförelsen är huset B i skriften av Lawaetz. Detta hus har arean 113 m^2 och är något bättre isolerat än vad SBN 1975 föreskriver. Värmebehovet framgår av TAB. 5.1. Lawaetz antar huset utformat så att en värmeförlust från värmelagret, vattentanken, förekommer som inte kan tillgodogöras huset. Denna värmeförlust är beroende av storleken på solvärmesystemet. I absoluta mått är denna mängd inte större än att man kan anta approximativt att värmeförlusten är oberoende av solvärmesystemets storlek inom vissa gränser. Så har gjorts i de egna beräkningarna. Denna energimängd har adderats till husets värmebehov därför att värmeförluster från värmelagret antas i de egna beräkningarna helt komma huset till godo. Vid redovisningen av försörjningsgrader har däremot värmeförlusterna subtraherats från värmebehovet och mängden utnyttjad solvärme.

TAB. 5.1. Värmebehovet hos huset B i skriften av Lawaetz (1975) samt angivna värmeförluster från värmelagret med 20 m² solfångare, kWh.

Mån.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Värme	2140	1880	1600	1000	360	20	20	50	180	840	1460	2250
Varmvatten	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440
Förluster värmelager	50	60	70	80	100	130	150	150	120	90	60	60
Summa	2630	2380	2110	1520	900	590	610	640	740	1370	1960	2750

Lawaetz uppger att solfångaren består av en svartmålad absorptor med glasning av 2 glas och isolering på baksidan. För de egna beräkningarna har detta tolkats innebära följande data:

- andel absorberad direkt strålning: 0,75
- andel absorberad diffus strålning: 0,67
- k-värde: 4
- F_R -värde: 0,95

Solfångarens lutning mot horisontalplanet är i jämförelsen 65°, vänd mot söder. Denna orientering är ungefär optimal. Lawaetz nämner inget om horisontavskärmning och detta tolkas som att denna är 0°. Inget nämns heller om markreflexionen. I de egna beräkningarna har markreflexionsfaktorn värdet 0,2.

Klimatdata har i simuleringsberäkningen utgjorts av det ovan nämnda danska referensåret. Klimatdata för de egna beräkningarna har valts att utgöras av data för Malmö under ett normalår i den förenklade form som bl.a. innebär att samtliga dagar indelas i grupperna klara, halvklara och mulna dagar.

Drifttemperaturen i solfångaren bestäms i simuleringen av vattentemperaturen hos värmelagret. I den egna beräkningsmetoden antas en konstant drifttemperatur vil-

ket medför en stor förenkling av beräkningarna. Däremot medför detta vissa osäkerheter i beräkningsresultaten beroende av hur väl man lyckas välja ungefär riktiga konstanta genomsnittliga värden för drifttemperaturen hos solvärmesystem med värmelagring genom temperaturförhöjning i vatten. För solfångare med k-värde kring $2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ och lägre torde en måttligt stor felbedömning (ca $\pm 20^\circ\text{C}$) av drifttemperaturvärdet inte spela någon större roll. De egna beräkningarna har för jämförelsens skull genomförts med tre olika drifttemperaturer: 50, 60 och 70°C .

Förhållandet mellan solfångararean m^2 och volymen vatten m^3 för värmelagring är satt till 3:2. I simuleringen är värmelagringskapaciteten inte entydigt bestämd på grund av att varierande driftsfall förekommer under året. Exempelvis förutsätts i simuleringen vid låga vattentemperaturer i värmelagret förvärmning ske av varmvattnet vilket inte alls beaktas i den egna beräkningen. Värmelagringskapaciteten i den egna beräkningen är satt till 64 kWh/m^3 motsvarande värmeinnehållet mellan $40\text{--}95^\circ\text{C}$.

Beräkningsresultat:

Instrålning per år

Lawaetz	egen
1238 kWh/m^2	1278 kWh/m^2

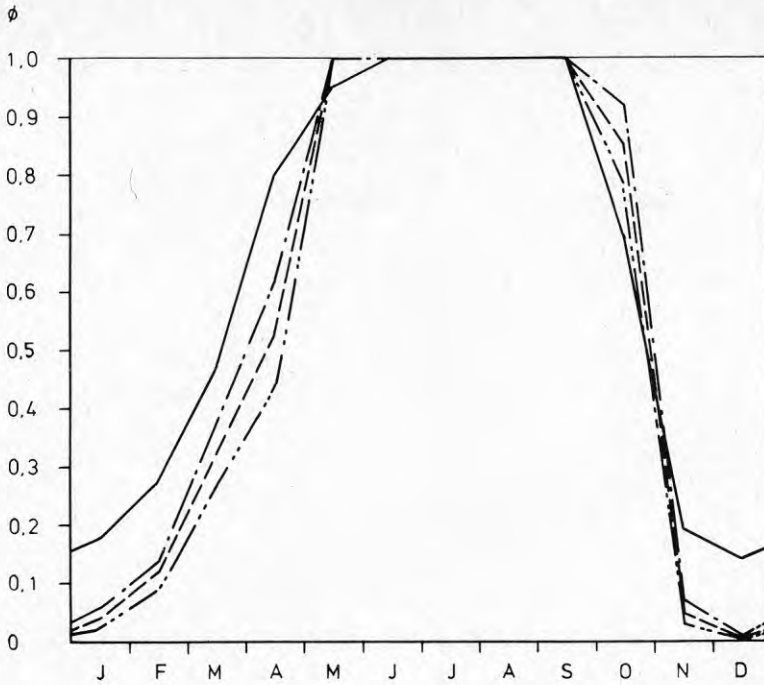
Försörjningsgrader

Månatliga försörjningsgrader framgår av FIG. 5.1 i det fall solfångararean är 20 m^2 och värmelagringsvolymen är 14 m^3 .

Årsförsörjningsgrader med varierande storlek på solvärmesystemet framgår av FIG. 5.3.

Drifttider

Lawaetz	egen			
20 m^2 solfångare	alla solfångareor			
	drifttemp. 50°C	60°C	70°C	
1737 h/år	1718	1628	1585 h/år	



—————	Lz	Hus B i beskrivning av Lawaetz (1975)
- . - . - .	G50	Solfångare: 20 m ² Värmelager volym vatten: 14 m ³
-----	G60	
.....	G70	

G50, G60, G70 egna beräkningar med drifttemperaturerna 50, 60 resp. 70°C.

Lz beräkningar av Lawaetz (1975)

FIG. 5.1. Månatliga försörjningsgrader (ϕ). Egna beräkningar i jämförelse med beräkningar av Lawaetz (1975).

Jämförelser mellan beräkningsresultaten erhållna genom simulering enligt Lawaetz och egna beräkningsresultat med den förenklade beräkningsmetoden

Instrålningsberäkningar för lutande ytor innehåller en osäker bedömning av den diffusa strålningen. Få experimentella undersökningar finns att jämföra med.

Överensstämmelsen mellan de två här på olika sätt beräknade värdena är dock mycket god. Jämförelse av instrålningsfördelningarna under året har inte kunnat göras.

De egna beräkningarna av den månatliga försörjningsgraden ger lite högre värden i oktober men lägre från november till april vid en jämförelse med simuleringsberäkningen för fallet med 20 m^2 solfångare, FIG. 5.1. Tendensen kan till en del förklaras med hjälp av FIG. 5.2 som visar temperaturvariationer i värmelagringstanken under året erhållen från simuleringsberäkningen. Temperaturen når maximum under september-oktober men faller därefter snabbt. Temperaturen förblir därefter förhållandevis låg fram till maj.

Skillnaderna i årsförsörjningsgrader beräknade med de två metoderna (FIG. 5.3) är praktiskt taget oberoende av solvärmesystemets dimensioner. De egna beräkningarna ligger ca 0,07 lägre vid drifttemperaturen 50°C och 0,11 lägre vid drifttemperaturen 60°C . Skillnaderna

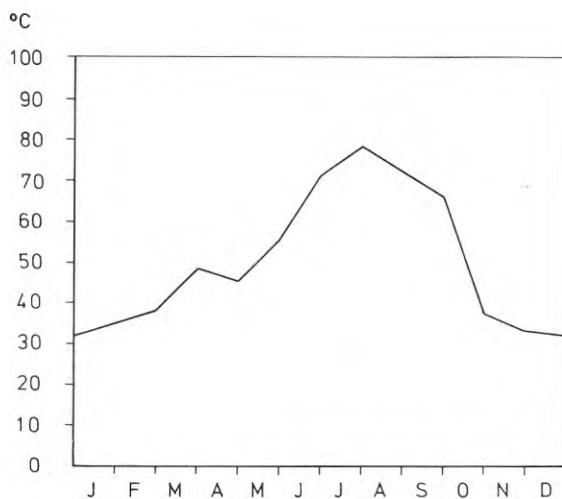
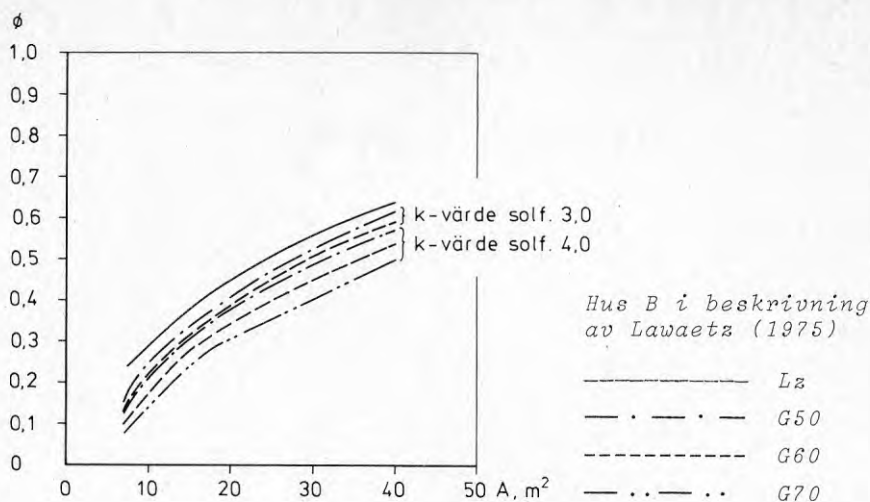


FIG. 5.2. Temperaturvariationen under året i värmelagringstanken beräknad av Lawaetz (1975).



G50, G60, G70 egna beräkningar med drifttemperaturerna 50, 60 resp. 70°C.

Lz beräkningar av Lawaetz (1975)

FIG. 5.3. Årsförsörjningsgraden ϕ som funktion av solfångararean A . Egna beräkningar i jämförelse med beräkningar av Lawaetz (1975). Solfångararean m^2 förhåller sig till volymen vatten för värmelagring m^3 som 3:2.

betyder alltså konstanta energimängder oberoende av solvärmesystemets storlek. Sannolikt ligger flera samverkande faktorer bakom dessa skillnader dvs. de kan inte enbart förklaras av att drifttemperaturen skulle vara felaktigt vald. Tvärtom förefaller i detta fall 50°C vara ett rimligt val.

En del av skillnaden, uppskattningsvis av storleksordningen 0,05, kan förklaras med att i simuleringsberäkningen förutsätts förvärmning av varmvattnet under vintern då temperaturen i värmelagret understiger 43°C. Med 20 m^2 solfångare uppges solvärmesystemet under tiden november till februari ge ca 340 kWh/månad till varmvattnet vilket motsvarar ca 75-85 % av behovet för varmvattnet. Med den antagna värmelagringsvolymen måste

ca 2/3 av denna energimängd infångas under samma månader. Denna infångade energimängd måste då komma vid instrålningsnivåer som är för låga för att solfångaren ska ge positiv effekt vid de drifttemperaturer som antagits i de egna förenklade beräkningarna. Av de egna instrålningsberäkningarna framgår att sådana instrålningsmängder existerar under vintern i sydligaste Sverige och i Danmark. För mellersta och norra delen av Skandinavien kan man inte räkna med sådana energimängder, allra minst vid förekomst av horisontavskärmning.

En del av den återstående konstanta skillnaden skulle kunna förklaras med att ett lägre k-värde för solfångaren kan ha gällt vid simuleringsberäkningarna. Egna beräkningar med k-värde 3,0 medför huvudsakligen en parallellförskjutning av försörjningsgradskurvorna som gäller med k-värde 4,0, FIG. 5.3.

Vid jämförelsen av beräknade drifttider finns för simuleringsberäkningen endast redovisat resultatet med 20 m² solfångare. Överensstämmelsen med den egna beräkningen är god, speciellt med drifttemperaturen 50°C.

Sammanfattningsvis kan sägas att efter en korrektion för förvämmning av varmvattnet under vintern stämmer de egna beräkningsresultaten tämligen väl överens med beräkningsresultaten från simuleringsberäkningen.

6 EXPERIMENTELLA FÖRSÖK MED PLANA
SOLFÅNGARE. JÄMFÖRELSE MELLAN
BERÄKNAD OCH EXPERIMENTELLT BESTÄMD
EFFEKTIVITET

6.1 Målsättning med experimenten

I kap. 4 har en egen beräkningsmetod presenterats med vars hjälp solvärmesystem kan optimeras. Målsättningen med arbetet som presenteras i detta kapitel har varit stt *undersöka hur beräknade värden för instrålning och infångad solenergi enligt denna beräkningsmetod överensstämmer med experimentellt funna värden*. De experimentella bestämningarna av instrålade och infångade energimängder utfördes under sommaren och hösten 1977 på takbryggan till institutionen för byggnadsteknik, KTH. I vissa avseenden kan experimentperioden anses vara för kort för att man ska erhålla statistiskt säkerställda resultat. Eftersom inga liknande experiment har genomförts tidigare i Skandinavien är de erhållna resultaten trots detta av stort värde. Dessutom kan de genomförda experimenten initiera till ytterligare undersökningar av liknande slag.

Dessa experiment var de första av större omfattning och varaktighet som institutionens experimentanläggning användes till efter färdigställandet och en annan målsättning var därför att samla drifterfarenheter av det totala drift- och mätsystemet. Ett utmärkande drag för anläggningen är att driften kan pågå kontinuerligt under långa perioder med automatisk insamling och behandling av mätvärden så att den manuella insatsen inskränker sig till endast några timmar per vecka för kontroll och underhåll. Det är naturligt då anläggningen är så ny att experimenten vid några tillfällen drabbats av ofrivilliga avbrott. I huvudsak har dock arbetet kunnat genomföras planenligt.

För experimenten söktes en plan solfångare av hög kvalitet och med en sådan utformning som i framtiden i princip skulle kunna tillverkas till en acceptabel kostnad (ca 400 kr/m² solfångaryta vid 1977 års penningvärde). Valet föll på den amerikanska solfångaren Lennox LSC 18-1 och 3 exemplar ställdes välvilligt till institutionens förfogande av Provent AB, Göteborg.

6.2 Teori och försöksuppläggning

För att denna framställning ska utgöras av en sammanhållen helhet återges här i början bitvis den teori för beräkning av en solfångares effektavgivning som tidigare behandlats i kap. 4.

Avgiven effekt från solfångaren kan teoretiskt beskrivas med ekvationen (se appendix I)

$$p_n(t) = F_R [A_1(t) \cdot I_D(t) + A_2 \cdot I_d(t) - k(t) \cdot \{\theta_{vi} - \theta_\ell(t)\} - \epsilon_g \cdot R \cdot m_u \cdot k_g] \quad (6.1)$$

- där
- A_1 = andel absorberad direkt strålning
 - A_2 = andel absorberad diffus strålning
 - F_R = flödesfaktor enligt speciell definition, värde nära 1 (se appendix III)
 - I_D = irradians, riktad strålning, W/m²
 - I_d = irradians, diffus strålning, W/m²
 - R = värmeutstrålning netto mot atmosfären från en absolut svart kropp vid temperaturen θ_ℓ , W/m²
 - k = solfångarens värmeförlustkoefficient, W/m²·°C
 - k_g = värmegenomgångskoefficienten för systemet absorATORYTA-glasning, W/m²·°C
 - m_u = yttre värmeövergångsmotståndet, m²·°C/W

p_n = avgiven effekt, W/m^2

t = tiden, h

ϵ_g = yttersta glasets emissionskoefficient för värmestrålning

θ_l = uteluftens temperatur, $^{\circ}C$

θ_{vi} = vattentemperatur vid solfångarens inlopp, $^{\circ}C$.

I ekvationen har de storheter utmärkts tidsberoende vilkas variation i tiden kan vara betydelsfull för effektavgivningen. Den sista termen kan vanligen försummas då solfångaren är utrustad med en glasning framför absorbatoren. Termens värde överstiger sällan $10 W/m^2$. Ekvationen gäller med god noggrannhet under stationära förhållanden och då solfångarens värmekapacitet är så liten att inverkan av transienta effekter är försumbar vid icke stationära yttre förhållanden (varierande instrålning, lufttemperatur och inloppstemperatur).

Om en plan reflektor förekommer i anslutning till solfångaren utvidgas effektekvationen med ytterligare två termer. Effektoökningen med en plan reflektor kan beräknas

$$\Delta p_{nR}(t) = F_R \cdot \{A_{1R}(t) \cdot I_{RRm}(t) + A_2 \cdot I_{Rd}(t)\} \quad (6.2)$$

där A_{1R} = andel absorberad riktad strålning från reflektorn. A_{1R} är samma funktion av infallsvinkeln som A_1 . Infallsvinklarna för direkt strålning från solen och riktad strålning från reflektorn är dock i allmänhet olika

I_{RRm} = irradiansens medelvärde bildat över hela solfångarytan av reflekterad riktad strålning från reflektorn, W/m^2

I_{Rd_m} = irradiansens medelvärde bildat över hela solfångarytan av reflekterad diffus strålning från reflektorn, W/m^2 .

Genom att integrera effektekvationen (6.1), i förekommande fall utökad med ekv. (6.2), under dagens längd erhålls under dagen infångad energimängd. Man måste då göra några antaganden om när pumpcirkulationen av vatt-
net genom solfångaren är tillslagen resp. frånslagen. Vid tillslaget läge har F_R vanligtvis ett värde strax under 1 medan vid frånslaget läge gäller $F_R = 0$ (se appendix III), dvs. effekten är noll. I beräkningarna kan man anta pumpcirkulationen tillslagen då effekten är positiv och annars frånslagen. I verkligheten är tidpunkterna för till- och frånslag något avvikande från tidpunkterna då effekten beräknad enl. ekv. (6.1), (6.2) passerar värdet noll som följd av dels värmekapacitet i solfångaren, dels ofullkomlig styrning av pumpcirkulationens till- och frånslag. Inverkan härav på mängden infångad energi under dagen är vanligen liten så som visas i avsnitt 6.7 och 6.8 och kan därför försummas i beräkningar.

Hos den förenklade beräkningsmetoden för optimering av solvärmesystem utgör indelningen av månadens dagar i grupperna klara, halvklara och mulna en central del. Den genomsnittligt infångade energimängden för en dagtyp under en månad kan beräknas

$$q = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m \int_{\text{dagen}} \phi(p_n) \cdot p_{n_v}(t) \cdot dt \quad (6.3)$$

där q = infångad energi, $Wh/m^2 \cdot \text{dygn}$
 p_n = avgiven effekt enl. ekv. (6.1), (6.2), W/m^2
 m = antalet dagar av en dagtyp under en månad
 t = tidpunkten på dagen v av en dagtyp
 ϕ = kontrollfunktion för tillslagen resp. frånslagen pumpcirkulation.

Genom att införa kontrollfunktionen $\phi(p_n)$ kan man behandla F_R som en faktor med konstant värde strax under 1. Kontrollfunktionen $\phi(p_n)$ har egenskaperna

$$\phi(p_n) = \begin{cases} 1 & \text{då } p_n(t) > 0 \\ 0 & \text{då } p_n(t) \leq 0 \end{cases} \quad (6.4)$$

Den genomsnittligt infångade energimängden för en dagstyp under en månad kan i mera preciserad form skrivas

$$q = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m \int_{\text{dagen}} \phi(p_n) \cdot F_R [A_1(t) \cdot I_D(t) + A_2 \cdot I_d(t) - k(t) \cdot \{\theta_{vi} - \theta_\ell(t)\}] dt \quad (6.5)$$

(beteckningar se ekv. 6.1).

I den förenklade beräkningsmetoden antas alla dagar av en dagstyp vara identiskt lika. Detta innebär att ekv. (6.5) förenklas till

$$\bar{q} = \sum_{t=0}^{24} \phi(p_n) \cdot F_R [A_1(t) \cdot \bar{I}_D(t) + A_2 \cdot \bar{I}_d(t) - \bar{k}(\theta_{vi} - \bar{\theta}_\ell)] \quad (6.6)$$

Som framgår av ekv. (6.6) sker beräkningen i diskreta steg med intervalllängden 1 timme.

Målsättningen med föreliggande arbete var bl.a. att undersöka hur beräknade värden för infångad mängd energi enligt ekv. (6.6) överensstämmer med experimentellt funna värden. För denna jämförelse, som visas i avsnitt 6.6, har experimentella bestämningar genomförts av koefficientvärdena för A_1 , A_2 och k i ekv. (6.1) som sedan har använts i ekv. (6.6). F_R har beräknats. Dessa koefficientvärden kan betraktas som egenskapsrelaterade till den aktuella solfångaren. Noggranna värden på faktorerna A_1 och A_2 kan inte experimentellt bestämmas på något enkelt vis. I avsnitt 6.5 visas hur värden på A_1 (vid nära vinkelrätt infall), A_2 och k

har bestämts bl.a. med hjälp av minsta kvadratanpassning till mätvärden för instrålad och avgiven effekt under helklara timmar vid proven på institutionens takbrygga. Vid bestämningen beräknades F_R för varje mätvärde med hänsyn till aktuellt vattenflöde.

Faktorn \bar{k} är en approximation med konstant värde av funktionen $k(t)$ i ekv. (6.5). En värmeförlustkoefficient k är definierad vid konstanta temperaturer θ_{vi} och θ_λ , konstant vindhastighet m.m. Dessa villkor kan anses ha varit uppfyllda vid ovan nämnda bestämning av k . Eftersom temperatur- och vindförhållandena var vid bestämningen av k och under den övriga experimentperioden i stort sett likvärdiga har vid den jämförande beräkningen med ekv. (6.6) \bar{k} tilldelats det experimentellt bestämda värdet på k . I allmänhet varierar k -värdet så lite med varierande temperatur- och vindförhållanden att detta approximativa förfarande inte medför några märkbara fel.

Experimentella bestämningar av k hos en av solfångarna utfördes även inomhus i institutionens klimatsimulator för olika absorbatortemperaturer (30-75°C) och lufttemperaturer (0-30°C). Vattenflödet var hela tiden konstant. Utifrån detta vattenflöde beräknades ett F_R -värde. En fläkt anordnades så att lufthastigheten ca 5 m/s erhöles parallellt med solfångarens glasning.

Irradianserna \bar{I}_D och \bar{I}_d i ekv. (6.6) avser beräknade medelvärden timme för timme för någon av de tre dagtyperna klara, halvklara och mulna.

Utlufttemperaturen $\bar{\theta}_\lambda$ avser månadsmedelvärde kl. 08-18 enligt klimatstatistik.

Solfångarens drifttemperatur representerad av vattnets temperatur vid absorbatorns inlopp, θ_{vi} , antas vara konstant.

Den genomsnittliga mängden infångad energi för en dag-typ av en solfångare i praktisk drift kan beskrivas

$$q = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m \int_{\text{dagen}} p(t) dt \quad (6.7)$$

där effekten $p \begin{cases} \neq 0 & \text{vid tillslagen pumpcirkulation} \\ = 0 & \text{vid frånslagen pumpcirkulation.} \end{cases}$

Styraautomatiken för pumpcirkulationens till- och frånslag har till uppgift att något förenklat uttryckt låta pumpcirkulationen vara tillslagen under längsta möjliga tid då effekten p kan vara positiv.

Om man låter pumpcirkulationen vara ständigt tillslagen och betraktar enbart den positiva infångade energimängden kommer denna att skilja sig något från resultatet enligt ekv. (6.7). Främst beror denna skillnad på att värmekapaciteten i solfångaren vid praktisk drift fördröjer tidpunkten för tillslag av cirkulationen. Om man låter cirkulationen vara ständigt tillslagen kan man förvänta att den positiva infångade energimängden överensstämmer väl med vad som kan beräknas enligt ekv. (6.5).

För de experimentella bestämningarna av infångade energimängder valdes att låta cirkulationen vara ständigt tillslagen oberoende av om den infångade effekten var positiv eller negativ vilket medförde att inverkan av värmekapacitet hos solfångarna blev försumbar. Med kännedom om solfångarnas värmekapacitet och utifrån driftprotokoll utskrivna av terminalenheten till det datorstödda mätsystemet kunde inverkan av värmekapaciteten på effektiviteten i stället specialstuderas (avsnitt 6.7).

Med denna uppläggning har man vunnit dels att resultatet av jämförelsen mellan beräknade och experimentellt bestämda energimängder gäller generellare än då den

speciella solfångarens värmekapacitet skulle ha inverkat, dels att resultatet av jämförelsen går bättre att utvärdera då värmekapacitetens inverkan uteslutits.

Den genomsnittligt registrerade infångade energimängden för en dagtyp under en månad kan således beskrivas med ekvationen

$$q = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m \int_{\text{dagen}} \phi(p_n) \cdot p_{n_v}(t) \cdot dt \quad (6.8)$$

Kontrollfunktionen $\phi(p_n)$ har egenskaperna

$$\phi(p_n) = \begin{cases} 1 & \text{då } p_n(t) > 0 \\ 0 & \text{då } p_n(t) \leq 0 \end{cases} \quad (6.9)$$

Denna kontrollfunktion användes i datorns program för mätning och utvärdering. Det är alltså fråga om en simulerad kontrollenhet för pumpcirkulationens till- och frånslag.

Med verkliga kontrollenheter är som tidigare nämnts tidpunkterna för till- och frånslag vanligen något avvikande från de enligt ekv. (6.9). I avsnitt 6.8 diskuteras hur dessa avvikelser inverkar på mängden infångad energi. Som ett stöd för denna diskussion tillämpades vid den experimentella bestämningen av mängden infångad energi förutom ovan nämnda kontrollfunktion dessutom parallellt kontrollfunktioner med ansatta fördröjningsfunktioner enligt tre olika alternativ i syfte att efterlikna en verklig kontrollenhet. Slutsatsen i avsnitt 6.8 är att den studerade frågeställningen saknar praktisk betydelse.

De experimentella undersökningarna utomhus på institutionens experimentbrygga omfattade huvudsakligen två av de tre Lennoxsolfångarna. En av dessa två försågs med en plan reflektor av rostfri plåt från Rostfria Tak AB, Fagersta. Solfångarna hade lutningen

60° mot horisontalplanet och riktades rakt mot söder.

Några data för den valda solfångaren uppgivna av tillverkaren:

- glasning med 2 glas, antireflexbehandlade glas med låg järnhalt, 96 % transmission genom ett enkelglas
- absorbator av stålplåt med pålödda kopparrör, absorbatorytan selektivt svart (svartkrom) med 94 % absorption i solspektrum och 10 % emission i värmestrålningsspektrum
- värmeisolering med glasull 9 cm på baksidan och 2,5 cm på kanter
- effektiv area 1,43 m²
- yttermått ca 1,80 x 0,90 x 0,16 m.

Med hjälp av laboratoriets dator registrerades mängderna instrålad och positiv infångad energi för månadernas dagar indelade i klara, halvklara och mulna dagar.

Enligt SMHI:s definition har en klar dag medelmolnigheten 0-23 % och en mulen 77-100 %. Medelmolnigheten bildas av observationsvärden kl. 07, 13 och 19.

Aktuella värden på molnigheten timme för timme erhöles från SMHI Bromma. Därigenom kunde dagarnas indelning i dagtyper jämföras dels utifrån observationerna kl. 07, 13 och 19, dels utifrån de timvisa observationerna.

Driften av solfångarna pågick från juli till november 1977 vid konstant drifttemperatur.

Motiveringen för en konstant temperatur är att en meningsfull jämförelse mellan beräknade och experimentellt bestämda energimängder av flera orsaker inte går att genomföra om instrålningen och drifttemperaturen med tillhörande termiska förluster vid varje enskilt tillfälle får variera samtidigt slumpvis.

Drifttemperaturerna valdes till 70°C under juli och augusti och 45°C under hösten. 70°C ansågs vara den högsta lämpliga temperaturen för provningsanläggningen med tanke på att vissa provisoriskt inkopplade komponenter inte tål högre temperaturer. 45°C är en lämplig drifttemperatur i ett lågtemperatursystem för uppvärmning och varmvatten. De termiska förlusterna är då av storleksordningen 100 W/m^2 och solfångaren kan avge nyttig effekt vid instrålningsvärden över ca 130 W/m^2 om den är uppvärmd.

Under månaderna oktober, november, januari och februari sker så hastiga relativa förändringar av instrålningsnivåerna genom minskning resp. ökning av dagens längd att medelvärdena av experimentella bestämningar enligt ekv. (6.8) av denna orsak kan vara behäftade med osäkerheter vid få och dåligt under månaden utspridda dagar av varje dagtyp. Vid de aktuella bestämningarna hade dagtyperna en godtagbar utspridning.

Effekten $p_{n_v}(t)$ bestämdes en gång varje minut genom att mäta passerad vattenmängd under minuten genom solfångarens absorbatör och temperaturdifferensen hos vattnet mellan absorbatörns utlopp och inlopp.

$$p_{n_v}(t) = c_v \cdot \dot{m}(t) \cdot \Delta\theta(t) / A_s \quad (6.10)$$

där c_v = vattnets värmekapacitivitet, $4,19 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$

\dot{m} = vattenflödet kg/s

$\Delta\theta$ = temperaturdifferens hos vattnet mellan absorbatörns utlopp och inlopp, $^{\circ}\text{C}$

A_s = solfångarens effektiva area, m^2 .

Solfångarna drevs i provningsanläggningen med seriekopplade kretsar varigenom vattenflödet blev lika genom båda solfångarna och kunde mätas med en och samma flödesmätare. Temperaturkontrollen sörjde för att inloppstemperaturen till de båda solfångarna blev lika. Driften pågick som nämnts kontinuerligt och den positiva

infångade energin skrevs ut av datorns terminalenhet i form av medelvärden timme för timme och summor för hela dagen. Dessutom skrevs drifttiderna med positiv effekt ut. Vattenflödets storlek var ca 1-2 l/min. så att maximala temperaturhöjningen hos vattnet efter passagen genom solfångaren blev ca 5°C.

Totalinstrålningen mot den lutande ytan mättes med en pyranometer av fabrikat Kipp & Zonen. Mät- och utskriftsfrekvenserna överensstämde med ovan nämnda.

Experimentbryggans omgivning karakteriseras av tämligen mörka omgivande ytor, bl.a. en svart papptaktäckning, så att den genomsnittliga reflexionsfaktorn för omgivningen kan uppskattas till ca 0,1. Vidare förekommer en oregelbunden horisontavskärmning genom närliggande byggnader av storleksordningen 0-10°.

Bestämningen av solfångarens termiska förluster i klimatsimulatorn genomfördes på följande sätt.

Utgående från solfångarens effektekvation vid stationära förhållanden

$$p_n = F_R \{A_1 \cdot I_D + A_2 \cdot I_d - k \cdot (\theta_{vi} - \theta_{\ell})\} \quad (6.11)$$

{beteckningar, se i anslutning till ekv. (6.1)}

gäller i klimatsimulatorn

$$p_f = -F_R \cdot k (\theta_{vi} - \theta_{kr}) \quad (6.12)$$

där p_f = förlusteffekt, W/m²

θ_{vi} = vattentemperaturen vid solfångarens inlopp, °C

θ_{kr} = klimatrummets lufttemperatur, °C.

Förlusteffekten p_f bestämdes experimentellt genom ekvationen

$$P_f = c_v \cdot \dot{m} \cdot \Delta\theta / A_s \quad (6.13)$$

där $\Delta\theta$ = temperaturdifferensen hos vattnet mellan absorbatorns utlopp och inlopp, °C

\dot{m} = vattenflödet, kg/s

c_v = vattnets värmekapacitivitet, 4,19 kJ/kg·°C

A_s = solfångarens effektiva area, m².

Genom att således mäta temperaturerna θ_{kr} och $\Delta\theta$ samt vattenflödet \dot{m} beräknades $F_R \cdot k$

$$F_R \cdot k = \frac{c_v \cdot \dot{m} \cdot \Delta\theta}{A_s \cdot (\theta_{vi} - \theta_{kr})} \quad (6.14)$$

Vattenflödet var hela tiden konstant. För detta vattenflöde beräknades ett F_R -värde som därmed kunde betraktas vara konstant under försöken.

6.3 Anläggning för experimentell utvärdering av solfångares effektivitet vid institutionen för byggnadsteknik, KTH

6.3.1 Presentation av anläggningen

En anläggning för experimentell utvärdering av solfångare har byggts på institutionens laboratorium och med denna anläggning kan mycket noggranna bestämningar utföras under långa sammanhängande perioder med datorstödd insamling och behandling av mätvärden. Anläggningens uppbyggnad framgår schematiskt av FIG. 6.1. Solfångarna placeras på institutionens takbrygga. Där mäts solinstrålning, lufttemperatur, ev. vindhastighet och riktning samt temperaturerna hos vattnet vid varje solfångares inlopp och utlopp inklusive temperaturdifferensen direkt. Till största delen är anläggningen placerad inomhus i laboratoriet. Där mäts vattenflödena i cirkulationskretsarna.

TESTANLÄGGNING FÖR SOLFÅNGARE

Principskiss

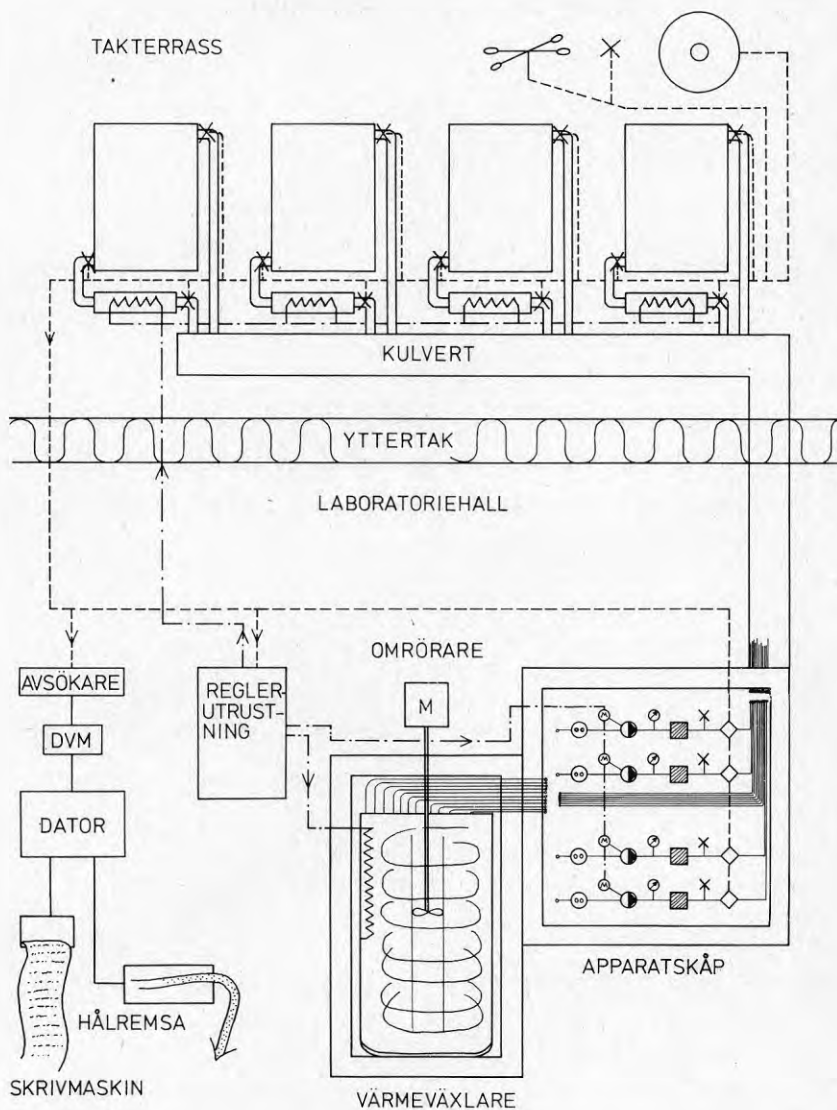


FIG. 6.1. Anläggning för experimentell utvärdering av solfångare vid institutionen för byggnadsteknik, KTH. Schematisk redovisning av uppbyggnaden.

Anläggningen har konstruerats med stor vikt lagd på följande egenskaper:

• Flexibilitet:

Varje solfångare kan anslutas till en separat krets. Solfångare kan kopplas i serie med gemensam pump och vätskeflödesmätare.

• Hög noggrannhet:

Kraven i standardförslaget från National Bureau of Standards, Washington, USA och kommande normer från International Energy Agency (IEA) skall uppfyllas.

Alla givare är kalibrerade.

Flödesmätare kan kopplas i serie och därvid jämföras.

Noggrann temperatur- och flödesreglering.

• Enkelt handhavande:

Anläggningen är till största delen placerad inomhus i laboratoriehallen.

Snabbkopplingar och gummislang av hög kvalitet används för många kopplingar.

Automatisk drift och datainsamling möjliggör kontinuerliga försök under lång tid.

Här följer en beskrivning i anslutning till FIG. 6.1 av anläggningens funktionssätt.

Värmeväxlaren består av en 200 l vattenbehållare med ett antal separata 25 m långa rörspiraler av förnätad polyeten inuti. Varje krets har sin rörspiral. Vattnet i behållaren hålls på en förvald konstant temperaturnivå genom att värmning och kylning styrs med en reglerautomatik. Värmen erhålls från en elektrisk värmekabel i vattenbehållaren. Kylan erhålls från en av rörspiralererna som ingår i en speciell kylkrets. I kylkretsen ingår ett luft/vätske-kylar batteri placerat

på takbryggan. Kyleffekten i vattenbehållaren regleras genom till- och frånslag av pumpcirkulationen i kretsen. Pumpens varvtal styrs dessutom för att erhålla en jämn reglering. För att vattentemperaturen i behållaren ska vara lika inom hela volymen finns en omrörare i form av en eldriven vertikal propeller på en lång axel nedstucken i centrum av rörspirallerna.

I anslutning till värmeväxlaren finns ett apparatskåp. Detta innehåller vätskeflödesmätare, vätskefilter, pumpar, siktrör, manometrar m.m. Här finns även möjligheter att välja olika uppkopplingsalternativ för de olika kretsarna genom en mängd systematiskt ordnade ventiler och gummislangar med snabbkopplingar.

De olika vätskekretsarna löper från apparatskåpet till takbryggan i en välisolerad värmekulvert. I solfångarkretsarna finns strax före solfångarna en elektrisk värmare och en rörspiral i anslutning till en värmekapacitet för att finjustera temperaturen hos det ingående vattnet och undvika svängningar. Den senare utrustningen har inte använts i föreliggande arbete.

Mätvärdesinsamlingen sker med laboratoriets dator enligt ett för projektet skrivet program. Datorns avsökare kopplar in valda kanaler med valda intervall. Mätsignalerna från temperaturgivare och pyranometrar är analoga och mäts med datorns voltmeter (DVM) medan mätsignalerna från flödesmätare utgörs av pulser som mäts med datorns pulsräknare. Mätgivarna för temperatur i luften och i vattnet vid solfångarnas inlopp och utlopp utgörs av termoelement. Temperaturdifferensen hos vattnet mellan utloppet och inloppet mäts direkt med termostapel som innehåller 6 termolödstillen i vardera änden inuti tunnväggiga mässingsrör instuckna i vattenflödet. På takbryggan går samtliga mätledning till en kopplingsplint. Därifrån går mätsignalerna i en signalkabel till avsökningsenheten i laboratoriehallen. Vid mätning av temperaturnivåer med termoelement erfordras att det ena lödstället befinner sig

i en miljö med känd konstant temperatur. Vanligt är att denna miljö utgörs av en s.k. nollpunktsugn. Eftersom institutionens erfarenheter av nollpunktsugns driftsäkerhet är minst sagt nedslående valdes en annan metod att skapa en referensmiljö. I ett massivt stycke aluminium (god värmeledare) borrhades en mängd små djupa hål i vilka inpassades referenslödställena så att termiska kontakten blev god mellan aluminiumgodset och lödställena. Tvärs dessa hål borrhades ett hål för en motståndstemperaturgivare. Temperaturen i aluminiumstycket, som alltså utgör termoelementens referenstemperatur, mäts varje gång en temperatur mäts med termoelementen. Aluminiumstycket är placerat skyddat i anslutning till kopplingsplinten.

I datorn sker lagring av mätdata och bearbetning. Datorprogrammet var så utformat att avsökning skedde en gång varje minut medan utskrift av resultat skedde en gång varje timme.

6.3.2 Kalibrering av mätgivare i anläggningen

I anläggningens mätsystem ingår mätgivare av följande slag:

- termoelement
- termostaplar
- motståndstemperaturgivare
- pyranometrar
- vattenflödesmätare.

Samtliga dessa givare har noga kalibrerats för att kvaliteten hos de experimentella bestämningarna ska vara så hög som möjligt.

Närmast följer en redogörelse för de givare som använts vid experimenten i föreliggande arbete och kalibreringar av dessa givare.

6.3.2.1 Termoelement

Termoelementtråden som används vid mätningarna är av typen koppar-konstantan. Konstantanets sammansättning kan variera något från olika leveranser. Om man önskar noggranna mätningar måste därför tråden från varje leverans kalibreras. I föreliggande undersökning var all termoelementtråd från samma trådrulle. Tråden kalibrerades hos Statens Provninganstalt. Resultatet av en kalibrering kan uttryckas som en temperatur-spänningsfunktion $FT(U)$ där U är spänningsvärdet och FT är temperaturvärdet. Denna funktion beskriver sambandet mellan temperaturen vid det ena lödstället och spänningen mellan lödställena då det andra lödstället befinner sig vid temperaturen 0°C . Vid mätning med termoelementet används således funktionen $FT(U)$ då den uppmätta spänningen ska översättas till temperatur $^{\circ}\text{C}$. Om det andra lödstället befinner sig vid en temperatur skild från 0°C så som vid mätningarna på takbryggan erhålls temperaturen på följande vis. Temperaturen vid det andra lödstället är känd eftersom denna är uppmätt med motståndstemperaturgivare. Antag att denna temperatur är θ_2 och att den sökta temperaturen vid det första lödstället är θ_1 . Spänningen mellan lödställena är U . Om termoelementets första lödställe skulle ha varit vid temperaturen θ_2 samtidigt som det andra lödstället varit vid 0°C skulle spänningen ha blivit ΔU . Om det första lödstället är vid $\theta_1^{\circ}\text{C}$ och det andra skulle ha varit vid 0°C skulle således spänningen i stället för U ha blivit $U + \Delta U$. ΔU kan beräknas med inversfunktionen till $FT(U)$, spänningstemperaturfunktionen $FT^{-1}(U) = FS(\theta)$. $\Delta U = FS(\theta_2)$. Temperaturen θ_1 kan nu beräknas $\theta_1 = FT(U + \Delta U)$. Vid experimenten tillämpade datorn dessa funktionsoperationer varje gång en temperatur skulle bestämmas.

Onoggrannheten vid mätningar med enstaka termoelement har uppskattats till högst några tiondels grader.

6.3.2.2 *Termostaplar*

Termostaplar består av termoelement med flera än ett par lödställen seriekopplade så att spänningen mellan termostapelns ändpunkter vid en temperaturskillnad mellan mätpunkterna blir större än med endast ett par lödställen. Spänningen blir proportionell mot antalet par lödställen. Den större spänningen gör att i första hand små temperaturskillnader kan bestämmas med en väsentligt högre noggrannhet än om bestämningen sker med ett enkelt termoelement. Denna egenskap är viktig vid bestämningen av temperaturskillnaden hos vattnet mellan en solfångares utlopp och inlopp eftersom den bestämda effektavgivningen från solfångaren är proportionell mot denna temperaturskillnad som är av storleksordningen några °C.

De termostaplar som användes för bestämningen av temperaturskillnaderna hos vattnet mellan solfångarens utlopp och inlopp i denna undersökning består av 6 par lödställen inuti två tunnväggiga ca 10 cm långa mässingsrör som var instuckna i vattenflödet. Mätgivarna och vattenledningsrören var välisolerade så att inte mätningarna skulle störas genom köldbryggeeffekter. Innan termostaplarna monterades på takbryggan undersöktes noggrannheten genom att samtidigt prova 3 termostaplar med givarna placerade i två vattenbad. Givarnas mässingsrör var inte i kontakt men hölls nära varandra samtidigt som dessa rördes i baden. Det ena badet hölls vid ca 50°C, det andra vid 20°C och vid 0°C (isbad). Bestämningar av temperaturskillnader gjordes med hjälp av laboratoriedatorn en gång varje minut. Ett 50-tal bestämningar genomfördes på så vis. Avvikelsen i temperaturskillnad mellan de tre termostaplarna var då högst ett par hundra delar °C.

Översättningen av spänningen till en temperaturskillnad går till på följande vis med funktionsbeteckningar enligt avsnitt 6.3.2.1. Antag att temperaturen hos

vattnet vid solfångarens inlopp bestämts till θ_{li} på det vis som beskrivits i avsnitt 6.3.2.1. Spänningsfunktionens värde är då $FS(\theta_{li})=U+\Delta U$. Antag att den uppmätta spänningen från termostapeln är UD . Temperaturen hos vattnet vid solfångarens utlopp θ_{lu} kan då beräknas $\theta_{lu}=FT(U+\Delta U+UD/6)$. Temperaturskillnaden hos vattnet mellan solfångarens utlopp och inlopp beräknas $\theta_{lu}-\theta_{li}=FT(U+\Delta U+UD/6)-FT(U+\Delta U)$. Här har den större onoggrannheten hos $U+\Delta U$ jämfört med $UD/6$ ingen inverkan på resultatet eftersom onoggrannhetens inverkan på de båda funktionstermerna är approximativt lika.

6.3.2.3 *Motståndstemperaturgivare*

Som tidigare nämnts bestämdes referenstemperaturen för termoelementen på takbryggan med en motståndstemperaturgivare. Den aktuella givaren var av fabrikat Cuproswem. Givaren som användes vid experimenten jämfördes först med ett annat exemplar som var kalibrerat vid Statens Provningsanstalt. Med ledning av den jämförelsen fastställdes en något förenklad översättningsfunktion från motstånd till temperatur. Onoggrannheten hos en bestämd temperaturnivå genom denna förenkling, som företogs av programmeringstekniska skäl, är ett par hundra delar $^{\circ}C$. Denna onoggrannhet har ingen inverkan på bestämningen av temperaturskillnader. Eftersom höga noggrannhetskrav endast behöver ställas på bestämning av temperaturskillnader är den approximativa översättningsfunktionen helt tillfyllest.

Bestämningen av motståndet hos givaren gick så till att spänningarna över motståndet och ett precisionsmotstånd på 100Ω mättes samtidigt. Eftersom strömstyrkorna i båda fallen var lika tack vare datorns strömmatningsaggregat kunde datorn enkelt beräkna det sökta motståndet. För att undvika inverkan på mätningarna av motstånd i elledningarna var ledningarna för spänningsmätning och strömförsörjning separerade (4-trådsinkoppling).

6.3.2.4 Pyranometrar

Vid bestämning av instrålning är det angeläget att mät-onoggrannheten kan begränsas till storleksordningen 1 %. Likväl syns det ännu inte vara fullt klarlagt om något instrument i världen klarar detta krav vid alla lutningar på instrumentet.

Institutionens pyranometrar av fabrikat Kipp & Zonen har vid ett par tillfällen varit hos SMHI för kalibreringskontroll. Resultaten med pyranometrarna uppställda horisontellt har skilt sig dels mellan tillfällena och dels från fabrikantens certifikat. Vid ett experiment vid institutionen uppställdes 5 pyranometrar horisontellt bredvid varandra och jämfördes efter det gemensamma medelvärdet. Denna undersökning gav ytterligare en uppsättning kalibreringskonstanter. Kalibreringskonstantens variation från de olika undersökningarna för en enskild pyranometer ligger inom ett 2 %-intervall av konstantens värde.

Hur kalibreringskonstanten påverkas om pyranometern lutar finns endast beskrivet från några få undersökningar. I vissa avseenden skiljer sig resultaten kraftigt. I en undersökning av Norris (1974) varierade den relativa signalstyrkan (relaterad till horisontellt läge) hos Kipp & Zonen mellan 1,00 och 1,02 för lutningar 0-60°. För större lutningar ökade värdet hastigt till 1,10 vid 90° lutning.

En annan undersökning av Flowers (1977) visar praktiskt taget ingen inverkan på den relativa signalstyrkan av lutning hos Kipp & Zonen.

Den pyranometer som användes för bestämning av instrålning mot solfångarna hade dessförinnan kalibrerats ytterligare en gång hos SMHI men denna gång dessutom för olika lutningar. Vid horisontellt läge erhöles samma resultat som tidigare från SMHI. För ökande lutning erhöles en avtagande relativ signalstyrka, dvs.

ett beteende motsatt det Norris fann. Vid 90° lutning blev relativa signalstyrkan 0,97 och vid 60° lutning 0,98.

De undersökningar som beskrivs i litteraturen har hittills endast omfattat enstaka exemplar av pyranometrar och därför ifrågasätter bl.a. Flowers om inte individuella variationer av betydelse förekommer hos instrumenten. Enligt SMHI finns det i USA och Kanada en viss tilltro till de resultat Flowers presenterat. I Kanada uppges J.R. Latimer (Meteorology Branch, Department of Transport, Canada) ha funnit resultat i överensstämmelse med de av Flowers.

Vid bestämningen av instrålningen mot solfångarna har antagits inget vinkelberoende. Maximalt skiljer sig kalibreringskonstanten enligt detta antagande 2 % från övriga ovan nämnda uppgifter. Kalibreringskonstanten för horisontellt läge valdes från undersökningen vid institutionen med 5 pyranometrar.

6.3.2.5 *Vattenflödesmätare*

Två olika vattenflödesmätare användes vid den experimentella undersökningen. Vid undersökningarna av solfångarna på takbryggan användes en flödesmätare av vinghjulstyp från AB Svensk Värmemätning.

I klimatsimulatorn användes en mätare av vridkolvstyp, Aquametro. Ytterligare en mätare av fabrikatet Aquametro användes för andra experiment med solfångare på takbryggan. Båda typerna av mätare kompletterades med tungelementreläer så att flödena kan avläsas av de avgivna pulsfrekvenserna med datorn.

De två mätarna som försågs med tungelementreläer kalibrerades vid institutionen mot en noggrann flödesmätare av fabrikat Bopp & Reuther. Repeterbarheten för konstant flöde och temperatur var mycket god. För SVM-mätaren var den bättre än 0,5 % och för Aquametro kunde ingen variation noteras inom kalibreringens mätnoggrannhet.

6.4 Optiska egenskaper hos solfångarens
glasning och absorbator.
Reflektorns reflexionsegenskaper

6.4.1 Solfångarens glasning

Den solfångare av fabrikat Lennox typ LSC 18-1 som användes i de experimentella undersökningarna är utrustad med en glasning av dubbelglas med glastjockleken 3 mm. Glaset är härdat vilket medför att vid brott spricker hela rutan sönder i små centimeterstora bitar. Fabrikanten uppger att glaset har låg järnhalt och är antireflexbehandlat för våglängder inom solstrålningsspektrum på samtliga ytor. Antireflexbehandlingen åstadkoms genom ett etsningsförfarande. För en enkelruta anges transmissionen till 0,96 vid vinkelrätt infall.

Transmissionen kontrollerades genom egna bestämningar med spektrometer vid institutet för optisk forskning, KTH, och vid institutionen för fysikalisk kemi, KTH. Vid fysikalisk kemi fanns endast möjlighet att göra bestämningar inom våglängdsområdet 0,4-0,8 μm .

Provbitarna till spektrometerundersökningen erhöles från en ruta som råkade gå sönder. Provbitarna är således representativa för serietillverkat glas. Den experimentellt bestämda transmissionen viktad för solstrålningsspektrum (air-mass 2) är ca 0,90 vid nära vinkelrätt infall. Nästan identiskt lika resultat erhöles från båda undersökningarna.

Den vid institutet för optisk forskning samtidigt bestämda totala reflexionen är ca 0,068. Av dessa bestämningar kan man beräkna reflexionsfaktorn för glasytan $r \approx 0,036$ och glasets absorptionskoefficient $a_g \approx 0,035$. Detta visas i appendix IV. Man kan dra slutsatsen av dessa värden att dels har inte antireflexbehandlingen lyckats så väl och dels håller inte glaset så låg järnhalt som fabrikanten velat antyda.

För normalt 3 mm fönsterglas gäller vanligen $r \approx 0,043$ och $a_g \approx 0,05$.

6.4.2 Solfångarens absorbdatoryta

Absorbdatorytan är selektivt svart och består av svartkrom lagd på blank nickel som i sin tur är lagd på stålplåt. Ytan uppges av fabrikanten vara mycket väderbeständig bl.a. i fuktig miljö. Absorptionskoefficienten för solstrålning anges till 0,94 och emissionskoefficienten för värmestrålning anges till 0,10. Ytbehandlingen anges tåla temperaturer upp till ca 450°C.

Absorptions- och emissionskoefficienterna kontrollerades genom egna bestämningar. En provbit skars ut från en av solfångarna med hjälp av ett nibblarverktyg. Provbiten är således resrepresentativ för serietillverkade absorbdatorer.

Absorptionskoefficienten bestämdes genom en spektrometrisk undersökning av totala reflexionen vid nära vinkelrätt infall vid institutet för optisk forskning, KTH. Absorptionskoefficienten viktad för solstrålningsspektrum (air-mass 2) bestämdes till ca 0,94.

Emissionskoefficienten bestämdes vid institutionen för fysikalisk kemi, KTH, till ca 0,09 vid yttemperaturen ca 80°C genom en spektrometrisk undersökning.

De bestämda värdena på absorptions- och emissionskoefficienterna överensstämmer alltså väl med fabrikantens uppgifter.

Vid beröring av ytan uppstår väl synbara märken på denna men vid mätningarna har inte någon påverkan från sådana märken på mätresultatet kunnat påvisas.

6.4.3 Reflektorns reflexionsegenskaper

Vid valet av reflektormaterial kan man uppställa följande krav:

- reflexionsfaktorn ska vara hög för speglande reflexion
- reflexionsfaktorn får inte försämrats märkbart med tiden genom åldring i utomhusmiljön
- kostnaden per m^2 för en komplett reflektor får inte överstiga storleksordningen 20 % av kostnaden per m^2 för den solfångare som reflektorn ska anslutas till.

För experimenten med reflektorn lades den största vikten vid de två första punkterna. Vid sökandet efter lämpliga material var avsikten att finna något standardmaterial som inte nödvändigtvis behövde vara framtaget för reflektorändamål och som kunde levereras med kort varsel. Utvecklingsarbeten med speciella reflektormaterial som har höga reflexionsfaktorer och godtagbar väderbeständighet pågår i bl.a. USA och Frankrike för i första hand olika solkraftprojekt. Avsikten var således inte att anskaffa ett perfekt reflektormaterial. Följande material kom då under övervägande:

- 1) fransk rostfri plåt F 17 UGINOX,
Fagersta, Rostfria Tak AB
- 2) blankglödgad rostfri plåt, yta 54,
Fagersta, Rostfria Tak AB
- 3) glänsad och anodiserad aluminiumplåt,
Gränges Aluminium.

Provbitar av dessa tre material sattes upp på institutionens experimentbrygga för exponering i utomhusmiljö. Speglande och totala reflexionen bestämdes vid nära vinkelrätt infall med spektrometer vid institutet för optisk forskning, KTH, för nya provbitar och för provbitar som suttit utomhus på experimentbryggan under ett knappt år. Bestämda reflexionsfaktorer viktade för solstrålningsspektrum (air-mass 2) framgår av TAB. 6.1. Värdena ska inte tolkas så att de gäller exakt

TAB. 6.1. Reflexionsfaktorer för några material som övervägts för experimenten med en plan reflektor i anslutning till en solfångare. Reflexionsfaktorerna har erhållits genom en spektrometrisk undersökning viktad för solstrålningsspektrum (air-mass 2). Varje reflexionsvärde har bestämts utgående från endast en provbit.

Material	R e f l e x i o n s f a k t o r e r					
	Nya prover		Prover exponerade i utomhusmiljö			
			Horisontella prover		Vertikala prover	
	total speglande		total speglande		total speglande	
Fransk rostfri plåt F 17 UGINOX Fagersta, Rostfria Tak AB	0,65	0,56	0,57	0,53	0,61	0,55
Blankglödgad rostfri plåt yta 54 Fagersta, Rostfria Tak AB	0,60	0,54	0,65	0,56	0,66	0,56
Glänsad och anodiserad aluminiumplåt Gränges Aluminium Anodiseringsstjocklek						
3 µm	0,84	0,69	0,76	0,58	0,79	0,63
5 µm	0,82	0,71	0,74	0,59	0,76	0,64
10 µm	0,80	0,67	0,77	0,65	0,74	0,63

eftersom varje värde har bestämts med endast en provbit och eventuella variationer i materialkvalitet har således inte kunnat beaktas.

Vid tidpunkten för materialvalet fanns endast tillgång till resultaten för nya prover. Dessutom kunde den speciella aluminiumkvaliteten då inte levereras i önskad mängd. Valet föll på den franska rostfria plåten. Priset för denna uppgavs vara ca 70 % av priset för den blankglödgade rostfria plåten.

6.5 Experimentellt bestämda koefficienter för solfångarens effektekvation

Effektavgivningen från en solfångare kan beskrivas med ekvationen

$$p_n = F_R(A_1 \cdot I_D + A_2 \cdot I_d - k \cdot \Delta\theta - C) \quad (6.15)$$

- där
- p_n = avgiven effekt, W/m^2
 - A_1 = andel absorberad direkt instrålning
 - A_2 = andel absorberad diffus instrålning
 - I_D = direkt instrålning, W/m^2
 - I_d = diffus instrålning, W/m^2
 - k = solfångarens värmeförlustkoefficient, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
 - $\Delta\theta$ = differens mellan temperaturen hos vattnet vid absorbatorns inlopp och uteluftens temperatur, $^\circ C$
 - C = värmeförlust genom värmeutstrålning mot atmosfären, W/m^2
 - F_R = flödesfaktor enligt speciell definition, värde nära 1.

Målsättningen med en studie av avgiven effekt är att bestämma värden på koefficienterna A_1 (för nära vinkelrätt infall), A_2 och k . Termen C kan vanligen försummas. Dessa värden är nödvändiga vid dimensionering av ett solvärmesystem. Värdena ska bestämmas utan någon reflektor i anslutning till solfångaren för att väl definierade instrålningsförhållanden ska råda.

I detta arbete används koefficienternas värden vid beräkningen enligt den förenklade beräkningsmetoden av genomsnittligt infångad energi under klara, halvklara och mulna dagar. Resultaten av dessa beräkningar jämförs därefter med de experimentellt funna energimängderna för de tre typerna av dagar (avsnitt 6.6).

6.5.1 Metod för bestämning av koefficienterna A_1 och A_2 då mätningar av andelen diffus instrålning saknas

Vid de här genomförda experimenten liksom vid de flesta liknande experiment saknades möjligheten att mäta diffus instrålning. Om mätning av diffus instrålning ska vara meningsfull måste stor omsorg läggas ner på mät-

utrustningen. Principen med ett avskärmande band framför pyranometern förefaller vara mindre lyckad eftersom utöver solskivan avskärmas även en betydande del av den diffusa instrålningen.

I avsaknad av uppmätta värden på den diffusa instrålningen uppstår svårigheter att bestämma koefficienterna A_1 och A_2 . Ett vanligt sätt att enkelt kringgå denna svårighet är att omformulera ekv. (6.15) enligt

$$p_n = F_R (A_0 \cdot I_T - k \cdot \Delta\theta - C) \quad (6.16)$$

där A_0 = andel absorberad total instrålning

I_T = total instrålning, W/m^2 .

Uttrycket $A_1 \cdot I_D + A_2 \cdot I_d$ i ekv. (6.15) har alltså approximerats med $A_0 \cdot I_T$ i ekv. (6.16). Här följer en uppskattning av det maximala fel som uppkommer till följd av approximationen.

Felet Δp_n hos effekten p_n beräknad enligt ekv. (6.16) i stället för enligt ekv. (6.15) är skillnaden mellan ekvationerna.

$$\Delta p_n = F_R (A_0 \cdot I_T - A_1 \cdot I_D - A_2 \cdot I_d) \quad (6.17)$$

Den direkta och diffusa instrålningen kan uttryckas som andelar av den totala enligt $I_d = \xi \cdot I_T$ och $I_D = (1-\xi) \cdot I_T$, $0 \leq \xi \leq 1$, vilket insatt i ekv. (6.17) ger

$$\Delta p_n = F_R \cdot I_T \{A_0 - A_1 + (A_1 - A_2) \cdot \xi\} \quad (6.18)$$

A_0 måste ligga inom intervallet $A_2 \leq A_0 \leq A_1$. $A_1 \geq A_2$ eftersom A_0 förutsätts bestämd utifrån mätvärden med varierande värden på ξ , $0 \leq \xi \leq 1$. A_0 och A_1 är egentligen funktioner av strålningens infallsvinkel och dessa koefficienter kan därför vid snett infall erhålla värden som förhåller sig till varandra enligt $A_1 \leq A_0 \leq A_2$.

Vid bestämning av värdet på koefficienterna A_1 och A_2 är det emellertid enklast att endast använda sådana mätvärden för vilka den direkta strålningens infallsvinkel inte påverkar koefficienternas värden. Infallsvinkeln är då vanligen mindre än 50° . Vid en effektberäkning kan inverkan på koefficienten A_1 av infallsvinkeln beaktas tämligen schablonmässigt eftersom vid stora infallsvinklar den direkta strålningen är förhållandevis liten på grund av att faktorn cosinus för infallsvinkeln då är liten.

Man kan ställa frågan om inverkan på en koefficient A_0 av infallsvinkeln kan beaktas på ett lika enkelt sätt. Förmodligen blir felet inte så stort om man ansätter ett vinkelberoende hos A_0 som är ungefär $2/3$ så stort som för A_1 . Om den vinkelberoende funktionen är $f(i)$ där i = infallsvinkeln ska A_0 således ingå faktorn $\{0,67 f(i)+0,33\}$.

I den fortsatta diskussionen antas här den direkta strålningen infalla nära vinkelrätt. Fallet då för samtliga mätvärden $\xi = 0$, dvs. $I_D = I_T$, ger $A_0 = A_1$ och fallet då för samtliga mätvärden $\xi = 1$, dvs. $I_d = I_T$, ger $A_0 = A_2$. Då A_0 bestämts utifrån mätvärden med varierande värden på ξ existerar alltså ett värde ξ_0 så att $\Delta P_n = 0$. Således gäller

$$A_0 = A_1 - (A_1 - A_2)\xi_0 \quad (6.19)$$

Ekv. (6.18) kan då skrivas

$$\Delta P_n = F_R \cdot I_T (A_1 - A_2) (\xi - \xi_0) \quad (6.20)$$

Maximala felet erhålls om A_0 bestämts vid helt mulen väderlek, dvs. $\xi_0 = 1$, samtidigt som effekten beräknas enligt ekv. (6.16) för helt molnfri himmel dvs.

$\xi \approx 0,15$. $A_1 - A_2 \approx 0,08$ för glasning med dubbelglas vid nära vinkelrätt infall. $F_R \cdot I_T$ uppnår i detta fall

maximalt ca 1000 W/m^2 . Inverkan av infallsvinkeln på A_1 börjar vid ca 50° . Då är instrålningsnivån inte längre intressant.

$$\left. \begin{array}{l} A_1 - A_2 = 0,08 \\ F_R \cdot I_T = 1000 \\ \xi = 0,15 \\ \xi_0 = 1 \end{array} \right\} \rightarrow \Delta p_n = -68 \text{ W/m}^2 \text{ dvs. en underskattning}$$

Detta fel kan även uttryckas som ett verkningsgradsfel
 $\Delta \eta = \Delta p_n / I_T \approx -0,07$.

Det är mera sannolikt att A_0 bestämts vid sådana väderleksförhållanden att $\xi_0 \geq 0,5$. Med $\xi_0 = 0,5$ erhålls

$$\Delta p_n = -28 \text{ W/m}^2, \quad \Delta \eta \approx -0,03$$

Det största felet som erhålls då A_0 bestämts vid låg andel diffus strålning, $\xi_0 = 0,15$, samtidigt som effekten beräknas för hög andel diffus strålning är mindre än ovan visade fel. En sämsta kombination värden är $F_R \cdot I_T = 800 \text{ W/m}^2$ och $\xi = 0,5$. Vid högre instrålning avtar maximala ξ -värdet hastigt och vid högre ξ -värden avtar maximala instrålningsvärdet så mycket att sådana fall är ointressanta.

$$\left. \begin{array}{l} A_1 - A_2 = 0,08 \\ F_R \cdot I_T = 800 \\ \xi = 0,5 \\ \xi_0 = 0,15 \end{array} \right\} \rightarrow \Delta p_n = 22 \text{ W/m}^2, \quad \Delta \eta \approx 0,03$$

Man kan rent allmänt dra slutsatsen av ovanstående feluppskattning att användning av ekv. (6.16) i stället för ekv. (6.15) inte medför något nämnvärt fel. Felet kan jämföras med ett fel i termen för termiska förluster, $k \cdot \Delta \theta$, då $k = 3,5$ och felet i $\Delta \theta$ är 10°C , varvid erhålls $\Delta(k \cdot \Delta \theta) \approx 35 \text{ W/m}^2$.

Frågan om hur stort felet blir i beräknad mängd infångad energi under ett år vid användning av ekv. (6.16) i stället för ekv. (6.15) är lite svår att besvara utan att genomföra kontrollberäkningar. Kontrollberäkningar med $\xi_0 = 0,25$ för några enstaka månader visar att effektfelen sällan överstiger 10 ä 15 W/m² och att dessa skiftar tecken ofta för olika tidpunkter på dagen och olika dagtyper. Om man antar att effektfelet är konstant 10 W/m² erhålls felet under ett driftår, som utgörs av storleksordningen 1800 timmar, ca 18 kWh/m² som ska jämföras med totala mängden infångad energi av storleksordningen 400 ä 500 kWh/m².

För praktiska tillämpningar torde alltså ekv. (6.16) vara fullt användbar. I jämförelsen mellan de experimentellt funna energimängderna och de beräknade behandlas emellertid den direkta och den diffusa strålningen separerade för att jämförelsen ska bli mera nyanserad. Eftersom inte den diffusa strålningen har uppmätts måste någon alternativ metod användas för bestämningen. De fel som introduceras därigenom kan inte ha så stor betydelse eftersom som visats ovan fel av att den totala strålningen används i stället för den direkta och diffusa separerade är små.

6.5.2 Bestämning av värden på koefficienterna A_1 , A_2 och k från mätresultat utomhus på experimentbryggan

Effektekvationen (6.15) kan skrivas

$$p_n/F_R = \{A_1(1-\xi)+A_2\cdot\xi\}\cdot I_T - k\cdot\Delta\theta - C \quad (6.21)$$

Utifrån uppmätta värden på p_n/F_R , I_T och $\Delta\theta$ kan man med minsta kvadratanpassning erhålla värden på koefficienterna $\{A_1\cdot(1-\xi)+A_2\cdot\xi\}$, k och C . Genom att bestämma de sökta koefficienternas värden med minsta kvadratmetoden reducerar man kraftigt de slumpvisa felen

som mätvärdena av olika orsaker kan vara behäftade med. För att erhålla värden på p_n/F_R är det enklast att mäta p_n och beräkna F_R . Om värdet på F_R ligger nära 1 är det inte nödvändigt att göra någon experimentell bestämning av denna faktor. Variationen av F_R -värdet är då samtidigt obetydlig (appendix III).

Vid experimenten måste temperaturförhållandena vara så stationära att man kan bortse från temperaturinverkan på k .

Egna beräkningar har visat att vid klart solsken (molnighetsgrad 0 eller 1) och då den direkta instrålningen infaller nära vinkelrätt mot solfångaren (infallsvinkel $0-35^\circ$) är $\xi \approx 0,15$ under hela året för den aktuella orienteringen (lutning 60° mot horisontalplanet, vänd mot söder). Experimentella bestämningar under sommaren och hösten 1975 på institutionens experimentbrygga vid samma orientering gav överensstämmande resultat (Redaelli & Bergendahl, 1977). Om man antar ett rimligt värde på A_1-A_2 , t.ex. 0,08, är A_1 och A_2 därmed bestämda.

I denna undersökning utvaldes från experimentperioden de timmedelvärden av p_n , I_T och $\Delta\theta$ då molnighetsgraden på SMHI Bromma varit 0 eller 1 och då p_n under hela timmen varit positiv. F_R har beräknats som funktion av vattenflödet genom absorbatoren och värden har därefter bestämts för aktuellt vattenflöde för varje utvald timme. Vattenflödet var praktiskt taget konstant under en dag men kunde variera något betraktat under en vecka.

De värden som har använts för att bestämma koefficienterna i ekv. (6.21) enligt minsta kvadratmetoden finns i TAB. 6.2. Koefficienterna bestämdes

$$A_1 \cdot (1-\xi) + A_2 \cdot \xi = 0,750 \quad k = 4,10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad C = 11 \text{ W/m}^2$$

För $M = 0$ & 1 antas $\xi = 0,15$

TAB. 6.2. Experimentellt bestämda värden på I_T , P_n , \dot{m} och $\Delta\theta$. Beräknade värden på F_R . Drifttemperatur ca 45°C . Molnighetsgrad 0 eller 1.

Dag	Timme	I_T W/m^2	P_n W/m^2	\dot{m} kg/min.	F_R	$\Delta\theta$ $^\circ\text{C}$
1,9	13	865	488	1,8	0,947	31
	14	769	417	1,8	0,947	31
2,9	10	757	428	1,7	0,946	25
	11	854	500	1,8	0,947	25
	12	846	489	1,8	0,947	26
	14	663	364	1,7	0,946	25
4,9	13	897	513	1,7	0,946	28
8,9	10	808	440	1,5	0,944	33
	11	872	480	1,6	0,945	32
	12	900	510	1,6	0,945	32
	13	905	505	1,6	0,945	33
	14	795	434	1,6	0,945	31
25,9	10	786	417	1,8	0,947	35
27,9	10	765	397	1,6	0,945	35
	11	864	465	1,6	0,945	35
	12	887	479	1,6	0,945	34
	13	827	439	1,6	0,945	34
	14	703	351	1,6	0,945	34

P_n = avgiven effekt från solfångaren, W/m^2

I_T = total instrålning mot solfångaren, W/m^2

\dot{m} = vattenflödet genom absorbatoren, kg/min.

$\Delta\theta$ = $\theta_{vi} - \theta_\ell$

θ_{vi} = temperaturen hos vattnet vid absorbatorns inlopp, $^\circ\text{C}$

θ_ℓ = lufttemperaturen ute, $^\circ\text{C}$

F_R = flödesfaktorn enligt spec.def.

Dessutom antas $A_1 - A_2 = 0,08$. Då erhålls

$$A_1 = 0,750 + 0,15 \cdot 0,08 = 0,76 \quad A_2 = 0,68$$

Beräkningen av faktorn F_R redovisas i appendix III.

Effektekvationen (6.21) kan skrivas om som en verkningsgradsekvation

$$\eta/F_R = p_n/(F_R \cdot I_T) = \{A_1(1-\xi) + A_2 \cdot \xi\} - k \cdot \Delta\theta/I_T \quad (6.22)$$

där η = effektverkningsgraden. Approximativt har antagits $C = 0$.

Sambandet mellan $p_n/(F_R \cdot I_T)$ och $\Delta\theta/I_T$ från de experimentella bestämningarna kan då åskådliggöras i diagram, FIG. 6.2.

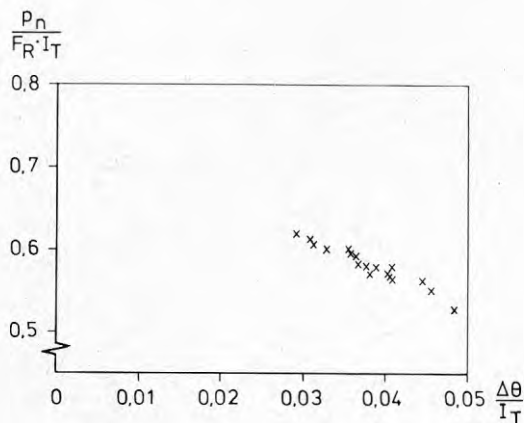


FIG. 6.2. Experimentellt funna värden $\Delta\theta/I_T$, $p_n/(F_R \cdot I_T)$ för solfångaren. Drifttemperatur ca 45°C. Molnighetsgrad 0 eller 1.

p_n = avgiven effekt, W/m^2

I_T = total instrålning mot solfångaren, W/m^2

$\Delta\theta = \theta_{vi} - \theta_l$

θ_{vi} = temperaturen hos vattnet vid absorbatorns inlopp, °C

θ_l = lufttemperaturen ute, °C

F_R = flödesfaktorn enligt spec.def., värde nära 1.

6.5.3 Bestämning av värden på koefficienterna A_1 , A_2 och k utifrån några andra utgångspunkter

Bestämningar av värden på koefficienterna A_1 , A_2 och k har även gjorts utifrån några andra utgångspunkter eftersom det kan vara intressant att se i vilken grad olika bestämningar från skilda utgångspunkter överensstämmer.

Beräknade värden utgående från materialdata givna av fabrikanten

Uppgivna data:

transmissionsfaktor för ett glas:	0,96
absorbatorns absorptionskoefficient för solstrålning:	0,94
absorbatorns emissionskoefficient för värmestrålning:	0,10

Beräknade värden:

$$A_1 = 0,88$$

$$A_2 = 0,81$$

$$k = 2,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ vid perfekt utförande av solfångaren (appendix I).}$$

Beräkningar av A_1 , A_2 , se appendix IV.

Beräknade värden utgående från bestämningar med spektrometer

Bestämda värden:

transmissionsfaktor för ett glas:	0,90
absorbatorns absorptionskoefficient för solstrålning:	0,94
absorbatorns emissionskoefficient för värmestrålning:	0,09

Beräknade värden:

$$A_1 = 0,79$$

$$A_2 = 0,71$$

k-värde har inte beräknats eftersom bedömningen av förekommande köldbryggor och luftläckage är så osäker.

Beräkningar, se appendix IV.

Beräknade värden utgående från verkningsgradskurva given av fabrikanten

Avlästa värden från verkningsgradskurva

$$F_R \{A_1(1-\xi) + A_2\xi\} = 0,78$$

$$F_R \cdot k = 3,4$$

Man kan anta att den givna verkningsgradskurvan avser förhållanden vid klar himmel, dvs. $\xi \approx 0,15$.

Beräkningar har givit $F_R \approx 0,94$.

Med antagande $A_1 - A_2 \approx 0,08$ erhålls

$$A_1 = 0,84$$

$$A_2 = 0,76$$

$$k = 3,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Bestämning av k-värde i klimatsimulator

De termiska förlusterna hos en solfångare undersöktes i institutionens klimatsimulator. Med en radialfläkt blåstes luft längs med glasningen med hastigheten ca 5 m/s. Absorbatorns temperatur varierades mellan 30-75°C. Vattnenflödet hölls tillräckligt högt så att skillnaden mellan temperaturerna hos vattnet vid absorbatorns inlopp och utlopp blev högst några få grader ($F_R \approx 0,94$). Lufttemperaturen i simulatorn varierades mellan 0-30°C.

Bestämningen gav bl.a. följande resultat

$$k \approx 3,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ vid absorbatortemperaturen ca } 45^\circ\text{C}$$

$$k \approx 3,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ vid absorbatortemperaturen ca } 75^\circ\text{C}.$$

Inverkan av olika lufttemperaturer var obetydlig.

6.5.4 Diskussion av de olika bestämda värdena på koefficienterna A_1 , A_2 och k

Man kan utgå från att samtliga bestämmningar är behäftade med felaktigheter av varierande storlek och slag.

Sannolikt har fabrikanten uppgivit för högt värde på transmissionsfaktorn hos glaset. Med det uppgivna värdet erhålls A_1 - A_2 -värden som ligger klart högre än vad man erhåller från den av fabrikanten givna verkningsgradskurvan. Beträffande absorbatorns absorptions- och emissionskoefficienter är överensstämmelsen god mellan egna bestämmningar och av fabrikanten givna data.

Bestämningen i spektrometer av transmissionsfaktorn för ett glas ger lägre A_1 - A_2 -värden än de ovan nämnda. De lägsta A_1 - A_2 -värdena och det högsta k -värdet erhöles från de experimentella bestämmningarna utomhus.

För en väl konstruerad solfångare har emissionskoefficienten stor betydelse för k -värdet. Vid ett perfekt utförande av solfångaren har detta för den aktuella solfångaren beräknats till ca $2,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ vid drifttemperaturen ca 45°C . På grund av ofullkomlig värmeisolering, köldbryggor i anslutning till absorbatoren, otätheter som medför luftläckage och ökad konvektion m.m. är k -värdet hos de flesta praktiskt realiserade konstruktionerna betydligt sämre än vad som vore möjligt att nå. I det aktuella fallet är k -värdet från den egna bestämningen ca dubbelt så stort som det bästa teoretiskt beräknade.

k -värdet bestämt från fabrikantens verkningsgradskurva är endast något lägre än värdet från den egna bestäm-

ningen. Fördelen med det låga värdet på emissionskoefficienten, som uppgivits av fabrikanten och som också erhållits vid den egna bestämningen, går till stor del förlorad genom de ofullkomligheter i solfångaren som medför det onödigt höga k-värdet. Beräkningen av k-värdet för solfångaren i aktuellt utförande har inte utförts på grund av svårigheter att med någon säkerhet uppskatta nämnda ofullkomligheter.

Bestämningen av k-värdet i klimatsimulatorens gav ett resultat mitt emellan bästa teoretiska värde och det utomhus experimentellt bestämda värdet. Skillnaden till utomhusvärdet beror förmodligen på en kraftigare vindpåverkan utomhus varvid de ovan nämnda ofullkomligheterna får en större betydelse än i klimatsimulatorens. Denna skillnad kan vara värd att observera om man avser att genomföra undersökningar endast inomhus.

För beräkningarna av infångad mängd energi under olika typer av dagar (avsnitt 6.6) har använts de värden på A_1 , A_2 och k som erhållits från de experimentella undersökningarna utomhus.

Termen C har försumrats eftersom 1)-värdet är så litet och genom sin litenhet innehåller stora osäkerheter vid minsta kvadratanpassningen, 2)-värdet kan variera relativt sett kraftigt vid olika tillfällen och det bestämda värdet är därför inte särskilt representativt för varierande allmänna förhållanden, 3)-värdet har mycket liten betydelse vid beräkning av mängden infångad energi under olika typer av dagar. Om man i det aktuella fallet ansätter $C=0$ vid minsta kvadratanpassningen blir koefficienternas värden

$$A_1(1-\xi)+A_2\xi = 0,740 \quad k = 4,21 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A_1 = 0,75 \quad A_2 = 0,67$$

Man kan snabbt konstatera att för alla instrålningsnivåer och aktuella temperaturnivåer saknar det prak-

tisk betydelse om termen C tas med vid minsta kvadrat-anpassningen eller inte. I princip är det riktigare att försumma termen C redan vid minsta kvadratanpassningen om man har för avsikt att försumma termen vid beräkningen av mängden infångad energi.

De experimentellt bestämda A_1 - A_2 -värdena med $C \neq 0$ är ca 0,03 lägre än de beräknade värdena utgående från egna bestämningar med spektrometer. Skillnaden är så liten att dess praktiska betydelse är försumbar. En analys av orsaker till denna skillnad är därför överflödigt i detta sammanhang.

6.6 Instrålad och infångad mängd solenergi. Jämförelse mellan experimentellt bestämda och beräknade värden för klara, halvklara och mulna dagar

Experimentella bestämningar av bl.a. solinstrålning mot solfångarna (lutade 60° mot horisontalplanet, riktade mot söder) och mängden infångad energi pågick från juli till november 1977. Från SMHI Bromma har regelbundet erhållits uppgifter om timvisa molnighetsobservationer vilka antas gälla även för experimentbryggan vid institutionen för byggnadsteknik, KTH. (Avståndet Bromma-KTH är ca 7 km.) Erhållna dygnssummor av solinstrålning och infångad mängd energi av en solfångare utan reflektor framför under experimentperioden framgår av FIG. 6.3. Figuren innehåller även medelmolnigheten under dagen (kl. 08-16) uttryckt i % av himlen. Som framgår av figuren har under kortare perioder förekommit avbrott i mätningarna av skilda orsaker. Under de dagar som mätningarna pågått har vädret varit växlande så att olika dagtyper finns representerade. Materialet är trots detta till sitt omfång mycket begränsat vilket gör att man kan anse experimentperioden vara för kort för att erhålla statistiskt säkerställda resultat. Det finns emellertid inga tidigare gjorda experimentella bestämningar i

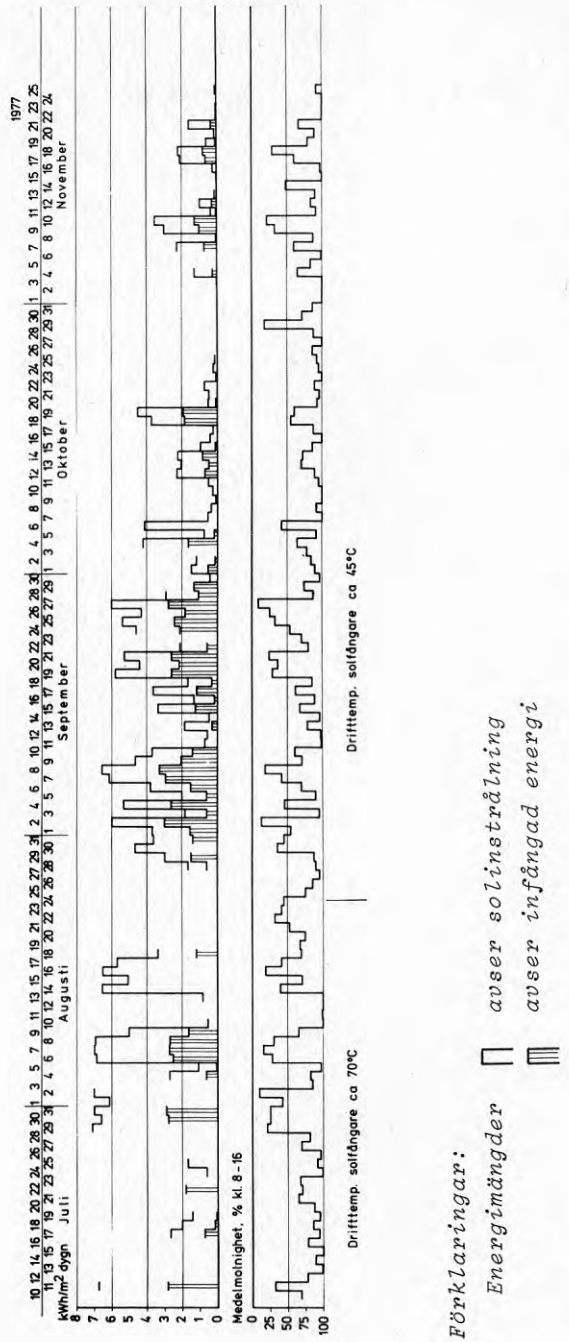


FIG. 6.3. Experimentellt bestämd solinstrålning och mängd infångad energi av en solfångare av fabrikat Lennox LSC 18-1 utan reflektor på takbryggan vid institutionen för byggnadsteknik, KTH. Lutning 60° mot horisontalplanet, vänd mot söder. Medelmålnighet grundad på timvisa observationer vid SMHI Bromma.

Skandinavien av sådan art att dessa skulle kunna utnyttjas i föreliggande arbete. Således går det inte att åstadkomma något bättre på så kort tid som det här varit fråga om.

Först när solfångare varit i kontinuerlig drift under flera år i den aktuella typen av experiment finns sådant materialunderlag att resultaten kan anses vara på statistiska grunder väl underbyggda. Man bör däremot inte underskatta värdet av de här genomförda experimenten. Som framgår av fortsättningen i detta kapitel är överensstämmelsen mellan experimentellt funna och beräknade värden för instrålad och infångad mängd solenergi i stora drag god.

6.6.1 Dagtypbestämning

Enligt SMHI:s definition sker dagtypbestämning på följande vis.

Klar dag: medelmolnighet 0-23 %

Mulen dag: medelmolnighet 77-100 %.

Dagar inom det återstående medelmolnighetsintervallet 23-77 % har givits benämningen halvklara.

Medelmolnigheten på SMHI:s observationsplatser bestäms vanligen som medelvärde av visuella observationer kl. 07, 13 och 19. Det är sådana observationer som ligger till grund för uppgifterna om genomsnittligt antal klara och mulna dagar på olika orter i landet i Klimatdata för Sverige (Taesler, 1972).

Det visade sig tämligen snart genom brister i korrelationen mellan molnighet och instrålningsmängder att medelvärden bildade enligt ovan var grundade på alldeles för få observationer för att den enskilda dagen med någon säkerhet skulle kunna klassificeras till rätt typ. För att erhålla en säkrare dagtypbestämning bildades i stället medelvärden av de timvisa observationerna. Det visade sig inte ha någon betydelse

(med något enstaka undantag) om medelmolnigheten bestämdes för kl. 08-16 eller kl. 10-14.

En intressant fråga är om uppgifterna i klimatstatistiken avseende antalet klara och mulna dagar är tillförlitliga trots de glesa observationstillfällena. Man kan då konstatera att om antalen felaktiga dagtypbestämningar från det statistiska observationsmaterialet i båda riktningarna mellan dagtyperna är parvis lika stora så påverkar felen inte de bestämda mängderna klara och mulna dagar. En sådan undersökning borde alltså genomföras för orter med timvisa molnighetsobservationer.

En undersökning begränsad till att omfatta SMHI Bromma under tiden juli 1977 - april 1978 visar att felen är i stort sett parvis lika i båda riktningarna under den aktuella tiden. I TAB. 6.3 visas dagtypbestämningarna då medelmolnigheten under dagen bestämts dels från timvisa molnighetsobservationer, dels från molnighetsobservationer kl. 07, 13 och 19. Antalet gånger då fel dagtyp valts har sammanställts i TAB. 6.4. Sannolikt gäller ett sådant resultat även med ett större material. Man kan därför anta att uppgifterna i klimatstatistiken är tillförlitliga.

TAB. 6.3. Utfallet av dagtypbestämningar för SMHI Bromma 1977/78 då medelmolnigheten under dagen bestäms dels från timvisa molnighetsobservationer, dels från molnighetsobservationer kl. 07, 13 och 19.

Dag	Juli			Aug.			Sept.			Okt.			Nov.			Dec.			Jan.			Febr.			Mars			April				
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III		
1			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
2			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
3			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
4			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
5			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
6			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
7			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
8			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
9			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
10			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
11			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
12			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
13			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
14			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
15			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
16			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
17			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
18			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
19			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
20			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
21			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
22			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
23			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
24			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
25			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
26			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
27			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
28			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
29			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
30			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
31			+v		+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v			+v
E+	2	10	19	3	17	11	3	16	11	1	7	23	1	10	19	2	7	22	4	9	18	6	6	16	0	11	20	2	15	13		
E _v	1	15	15	4	15	12	4	16	10	0	12	19	2	8	20	3	6	22	2	11	18	4	8	16	1	10	20	2	18	10		

Teckenförklaringar:

+ dagtypbestämning då medelmolnigheten under dagen bestäms från timvisa molnighetsobservationer. Det har ingen betydelse visar det sig om medelmolnigheten bestäms för kl. 08-16 eller kl. 10-14 (något enstaka undantag kan förekomma).

v dagtypbestämning då medelmolnigheten under dagen bestäms från molnighetsobservationer kl. 07, 13 och 19.

I klar dag, medelmolnighet 0-23 %

II halvklar dag, medelmolnighet 23-77 %

III mulen dag, medelmolnighet 77-100 %.

Dagar för vilka överensstämmelse i dagtypbestämningarna inte nås är markerade med understrykning.

TAB. 6.4. Antal gånger då fel dagtyp valts för SMHI Bromma 1977/78 på grund av att medelmolnigheten bestämts från molnighetsobservationer kl. 07, 13 och 19 i stället för timvis.

Valt:	I i st.f.	II i st.f.	I i st.f.	II i st.f.	III i st.f.	II i st.f.
Juli	0	1	4	0		
Aug.	2	1	0	1		
Sept.	2	1	4	3		
Okt.	0	1	4	0		
Nov.	2	1	2	3		
Dec.	1	0	1	1		
Jan.	0	2	2	2		
Febr.	0	2	1	1		
Mars	1	0	2	2		
Apr.	1	1	4	1		

I klar dag

II halvklar dag

III mulen dag

6.6.2 Ingångsdata vid beräkningen av instrålning och infångad mängd solenergi

Beräkningarna av mängden instrålad och infångad energi har gjorts med datorprogrammet enligt den förenklade beräkningsmetoden. Följande ingångsdata har använts för beräkningarna:

- latitud: 59°N
- markens reflexionsfaktor: 0,10 (huvudsakligen svart papp på taket)
- solfångarens lutning: 60° mot horisontalplanet, vänd mot söder
- horisontavskärmning: ca 3° (uppskattat genomsnittsvärde, ingen hög noggrannhet krävs).

För fall med plan reflektor framför solfångaren:

- reflektorns lutning: -10° mot horisontalplanet
(dvs. lutad åt solfångaren)
- solfångarens höjd/bredd: 0,40
- reflektorns bredd/solfångarens bredd: 1,11
- reflektorns längd/solfångarens bredd: 0,56
- reflektorns reflexionsfaktorer:
 - direkt strålning - riktad reflexion: 0,56
 - direkt strålning - diffus reflexion: 0,00
 - diffus strålning - diffus reflexion: 0,50
- solfångarens k-värde: $4,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
- andel absorberad riktad strålning vid nära vinkelrätt infall: 0,75
- andel absorberad diffus strålning: 0,67
- F_R -värde: 0,94
- drifttemperatur: 45° och 70°
- uteluftens temperatur under dagen enligt klimatstatistik för Stockholm:

mån.	juli	aug.	sept.	okt.	nov.
$^{\circ}\text{C}$	19,5	18,3	13,6	7,9	3,1

6.6.3 Jämförelse mellan experimentellt bestämda och beräknade värden på instrålning och infångad mängd energi för klara, halvklara och mulna dagar

De experimentellt bestämda dygnssummorna av instrålning och infångad mängd energi har fördelats på de tre dagstyperna utifrån medelmolnigheten baserad på de timvisa molnighetsobservationerna.

I TAB. 6.5 har sammanställts medelvärden av experimentellt bestämda dygnssummor av instrålning för olika månader och de tre typerna av dagar. I tabellen finns även de beräknade värdena. Underlaget är för litet för att man ska kunna göra någon djupare analys av resul-

tatet. Med detta förbehåll kan man dock konstatera att överensstämmelsen mellan experimentellt bestämda och beräknade värden är i stort sett god.

TAB. 6.5. *Instrålad energi under klara, halvklara och mulna dagar. Medelvärden från experimentella bestämmningar på takbryggan vid institutionen för byggnadsteknik 1977. Beräknade värden enligt den förenklade beräkningsmetoden.*

Dagtyp:		Klar		Halvklar		Mulen	
		kWh/m ²	Antal värden	kWh/m ²	Antal värden	kWh/m ²	Antal värden
Juli	exp.best.	7,1	1	6,3	4	1,7	5
	beräknat	7,5		6,6		1,7	
Aug.	exp.best.	6,9	3	5,2	11	1,5	5
	beräknat	7,4		6,1		1,3	
Sep.	exp.best.	6,3	3	4,6	14	1,5	11
	beräknat	6,9		5,2		0,8	
Okt.	exp.best.	-	0	3,5	6	0,6	18
	beräknat	5,3		3,6		0,4	
Nov.	exp.best.	3,5	1	2,1	6	0,2	13
	beräknat	2,9		1,8		0,2	

I TAB. 6.6 har på motsvarande sätt sammanställts medelvärden av experimentellt bestämda och beräknade dygnssummor av mängden infångad energi för olika månader och de tre typerna av dagar. Normala variationer av uteluftens temperatur har försumbar inverkan på mängden infångad energi. I TAB. 6.7 har sammanställts medelvärden av uppmätta utelufttemperaturer vid solfångarna under klara, halvklara och mulna dagar. Dessa temperaturer kan jämföras med normalårets månadsmedelvärden vilka också återfinns i tabellen. I de flesta fall är avvikelserna från normalårets värden endast några få °C. För beräkningarna har använts normalårets värden för alla tre dagtyperna.

Experimenten med en reflektor framför en av solfångarna pågick på grund av vissa försökstekniska komplikationer endast under ett par månaders tid. En av månaderna,

TAB. 6.6. Infångad energi under klara, halvklara och mulna dagar. Medelvärden från experimentella bestämningar på takbryggan vid institutionen för byggnadsteknik 1977. Beräknade värden enligt den förenklade beräkningsmetoden.

Solfångare utan reflektor:							Drifttemp.
Dagtyp:	Klar		Halvklar		Mulen		
	kWh/m ²	Antal värden	kWh/m ²	Antal värden	kWh/m ²	Antal värden	
Juli exp.best.	-	0	2,6	4	0,2	4	70°C
beräknat	2,7		1,9		0,0		↓
Aug. exp.best.	2,8	1	1,8	5	0,0	3	45°C
beräknat	2,8		1,8		0,0		↓
Sep. exp.best.	3,1	3	2,0	15	0,4	11	
beräknat	3,3		2,1		0,0		
Okt. exp.best.	-	0	1,4	5	0,1	18	
beräknat	2,4		1,2		0,0		
Nov. exp.best.	1,3	1	0,6	6	0,0	13	
beräknat	1,1		0,4		0,0		↓
Solfångare med reflektor:							Drifttemp.
Dagtyp:	Klar		Halvklar		Mulen		
	kWh/m ²	Antal värden	kWh/m ²	Antal värden	kWh/m ²	Antal värden	
Sep. exp.best.	3,4	2	2,2	12	0,3	8	45°C
beräknat	4,1		2,6		0,0		↓
Okt. exp.best.	-	0	1,5	5	0,1	16	
beräknat	2,7		1,4		0,0		↓

oktober, var samtidigt extremt solfattig. Den experimentella undersökningen av reflektorns inverkan har därför blivit mera begränsad än vad som ursprungligen var planerat.

Förhållandet mellan experimentellt bestämd infångad energi med och utan reflektor som visas i TAB. 6.8 måste således tas med stor försiktighet. Tabellen innehåller även beräknade värden. Skillnaderna mellan experimentellt bestämda och beräknade värden är som synes relativt sett ganska stora. Eftersom förhållandetalen

TAB. 6.7. Medelvärden av uppmätta utelufttemperaturer vid solfångarna under klara, halvklara och mulna dagar 1977 samt normalårets månadsmedelvärden.

	Dagtyp:	Klar		Halvklar		Mulen	
		°C	Antal värden	°C	Antal värden	°C	Antal värden
Juli	uppmätt	-	0	15,8	4	10,3	4
	normalvärde	19,5		19,5		19,5	
Aug.	uppmätt	18,2	1	15,6	5	12,6	3
	normalvärde	18,3		18,3		18,3	
Sep.	uppmätt	15,2	3	13,0	15	10,7	11
	normalvärde	13,6		13,6		13,6	
Okt.	uppmätt	-	0	9,1	5	9,3	18
	normalvärde	7,9		7,9		7,9	
Nov.	uppmätt	6,5	1	5,1	6	4,0	13
	normalvärde	3,1		3,1		3,1	

TAB. 6.8. Förhållandet mellan medelvärden av infångad energi med och utan reflektor under klara, halvklara och mulna dagar. Experimentellt bestämda värden på takbryggan vid institutionen för byggnadsteknik, 1977. Beräknade värden enligt den förenklade beräkningsmetoden.

	Dagtyp:	Klar		Halvklar		Mulen	
		Kvot	Antal värden	Kvot	Antal värden	Kvot	Antal värden
Sep.	exp.best.	1,12	2	1,10	12	1,02	8
	beräknat	1,23		1,21		-	
Okt.	exp.best.	-	0	1,10	5	(1,14) ^a	16
	beräknat	1,13		1,14		-	

^a Kvot mellan små osäkra tal.

ligger så nära 1 innebär redan små ändringar i energimängder stora ändringar av decimalerna.

Överensstämmelsen mellan experimentellt bestämda och beräknade energimängder i TAB. 6.6 är med vissa reservationer för fallet med reflektor i stort sett god. Liksom för TAB. 6.5 gäller förbehållet att underlaget är för litet för att man ska kunna göra någon djupare analys av resultatet.

6.7 Inverkan på solfångarens effektivitet av värmekapacitet i solfångaren

Som nämnts i avsnitt 6.2 var solfångarna under experimentperioden i drift dygnet runt med undantag endast vid service av anläggningen. Med hjälp av laboratoriedatorn bestämdes en gång varje minut den avgivna effekten från varje solfångare. För varje timme skrev terminalenheten ut mängden infångad positiv energi och antalet minuter under vilka positiv effekt registrerats. Den på detta vis registrerade infångade energin är således opåverkad av dels värmekapaciteten i solfångaren, dels av en ofullkomlig styrstrategi med en reglerautomatik för till- och frånslag av cirkulationen i ett fullständigt solvärmesystem. Med kännedom om mängden positiv infångad energi och samhörande antal driftminuter under varje timme, aktuella temperaturförhållanden och solfångarens värmekapacitet kan inverkan av värmekapaciteten beräknas. Detta genomförs i det här avsnittet.

Inverkan av en ofullkomlig styrstrategi studeras i avsnitt 6.8.

I denna studie av värmekapacitetens inverkan förutsätts solfångaren arbeta vid nära konstant drifttemperatur då solfångaren är i drift. I diskussionen nedan begagnas begreppet uppvärmningsenergi. Uppvärmningsenergin är en värmeförlust motsvarande den energimängd som åtgår för att höja temperaturerna hos solfångarens tem-

peraturfördelning från ett jämviktsläge med omgivningens temperaturer utan inverkan av solinstrålning till ett nytt jämviktsläge baserat på samma temperaturer som tidigare i omgivningen men med absorbatoren vid drifttemperaturen.

I det aktuella fallet stod solfångarna fristående utomhus. Därför blir i denna studie den förstnämnda temperaturfördelningen konstant lika med uteluftens temperatur. Den sistnämnda temperaturfördelningen beskrivs av en approximativt konstant absorbatortemperatur och en konstant lufttemperatur runt solfångaren, FIG. 6.4.

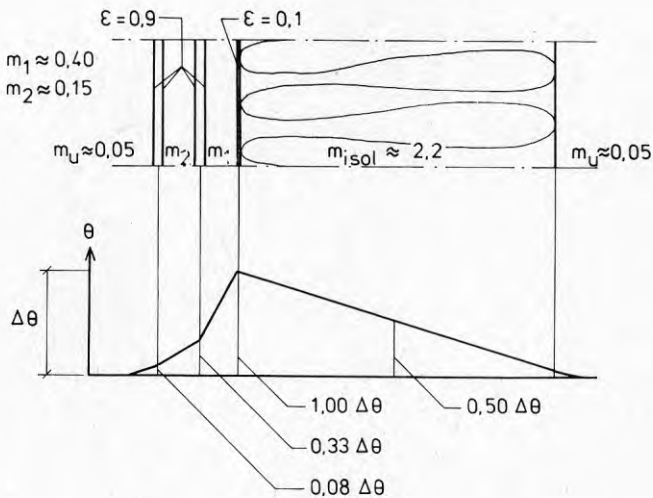


FIG. 6.4. Beräknad temperaturfördelning i ett snitt genom solfångaren då absorbatorns temperatur ligger $\Delta\theta^{\circ}\text{C}$ över uteluftens temperatur.

Om differensen mellan drifttemperaturen och uteluftens temperatur är $\Delta\theta$ kan den genomsnittliga temperaturändringen för ett material μ , då solfångaren skiftar från "viloläget" till "driftläget", skrivas $f_{\mu} \cdot \Delta\theta$ där konstanten f_{μ} erhålls från temperaturfördelningen i solfångaren, FIG. 6.4.

Med kännedom om delmaterialens massor, värmekapaciteter och genomsnittliga temperaturändringar kan uppvärmningsenergin beräknas vid ett valt tillfälle

$$\Delta E = \Delta\theta \cdot \sum_{\mu=1}^n C_{\mu} \cdot f_{\mu} / A_s = C \cdot \Delta\theta \quad (6.23)$$

där ΔE = uppvärmningsenergi, Wh/m²

$\Delta\theta$ = differens mellan drifttemperatur och uteluftens temperatur, °C

C_{μ} = värmekapacitet hos materialet μ , Wh/°C

f_{μ} = relativ genomsnittlig temperaturändring hos materialet μ , andel av $\Delta\theta$

A_s = effektiv solfångararea, m².

De beräknade aktuella värmekapaciteterna och faktorn C i ekv. (6.23) visas i TAB. 6.9. Man finner $C \approx 3,4 \text{ Wh/}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2$.

Värmekapacitetens inverkan på mängden infångad energi har beräknats så att uppvärmningsenergin subtraherats från den positiva infångade energin i början av en period med positiv effekt. Den subtraherade energimängden är något för stor eftersom uppvärmningen i verkligheten sker med absorbatorns temperatur lägre än drifttemperaturen. De termiska förlusterna från solfångaren antas alltså något för stora. Man kan dock bortse från detta utan att något större fel begås.

Ovanstående beräkningssätt grundas på antagandet att uppvärmningen av solfångaren sker kontinuerligt från den ursprungliga jämvikten med omgivningen till driftläget. Det har visat sig av mätprotokollen att detta antagande är riktigt. Då instrålningen ligger på en nivå, som i experimenten med kontinuerlig drift ger positiv effekt under så lång tid att solfångaren enligt beräkningarna hinner värmas upp till driftläget, visar utskrifterna att den positiva effekten har en kontinuerlig varaktighet. Det har visat sig att sådana

TAB. 6.9. Beräknade värmekapaciteter för solfångarens material. Beräkning av faktorn C i ekv. (6.23).

	Massa x värmekapacitet	= värmekapacitet	
	kg	kJ/kg °C	kJ/°C
<u>Absorbator</u>			
Stålblåt	11,2	0,46	5,15
Stigarrör	1,84	0,39	0,72
Samlingsrör	0,69	0,39	0,27
Vatten	1,18	4,18	4,93
Lödning	0,33	0,23	0,08
			11,15 motsv. 3,1 Wh/°C
<u>Glas</u>	11	0,84	9,24 motsv. 2,6 Wh/°C
<u>Mineralull</u>	6,7	0,75	5,02 motsv. 1,4 Wh/°C

Energinnehåll:

Glas 1	2,6 · 0,08	$\Delta\theta = 0,21 \Delta\theta$	Wh/°C
Glas 2	2,6 · 0,33	$\Delta\theta = 0,86 \Delta\theta$	
Absorbator	3,1 · 1,00	$\Delta\theta = 3,10 \Delta\theta$	
Mineralull	1,4 · 0,50	$\Delta\theta = 0,70 \Delta\theta$	

$$4,87 \Delta\theta \text{ motsv. med effektiv area } 1,43 \text{ m}^2$$

$$C = 3,4 \Delta\theta \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

dagar har med några enstaka undantag endast en period av någon betydelse med positiv effekt. Dagar med för korta perioder av positiv effekt för att solfångaren ska bli tillräckligt uppvärmd ger liksom dagar med enbart negativ effekt energimängden noll.

I TAB. 6.10 sammanfattas mängderna infångad energi med och utan hänsyn till värmekapaciteten för klara, halvklara och mulna dagar under olika månader. De experimentellt bestämda värdena bygger på för få värden för att resultaten ska anses vara statistiskt säkerställda. Man kan dock försiktigt utläsa att under sommarhalvåret orsakar värmekapaciteten hos den aktuella solfångaren en värmeförlust av storleksordningen 5-10 % av den in-

TAB. 6.10. Mängden infångad energi med och utan hänsyn till värmekapaciteten i solfångaren i genomsnitt under klara, halvklara och mulna dagar.

Månad		Klar	Halv-klar	Mulen
Juli	Exp.best.utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	-	2,6	0,2
	Exp.best.korr. för kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	-	2,4	0,1
	% med kapacitet/utan kapacitet	-	94	58
	Antal dagar i bestämningen	-	4	4
	Beräkn.värde utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	2,7	1,9	0,0
Aug.	Exp.best.utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	2,8	1,8	0,0
	Exp.best.korr. för kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	2,4	1,6	0,0
	% med kapacitet/utan kapacitet	94	87	0,0
	Antal dagar i bestämningen	1	5	3
	Beräkn.värde utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	2,8	1,8	0,0
Sept.	Exp.best.utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	3,1	2,0	0,4
	Exp.best.korr. för kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	3,0	1,9	0,2
	% med kapacitet/utan kapacitet	96	92	69
	Antal dagar i bestämningen	3	15	10
	Beräkn.värde utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	3,3	2,1	0,0
Okt.	Exp.best.utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	-	1,4	0,1
	Exp.best.korr. för kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	-	1,2	0,0
	% med kapacitet/utan kapacitet	-	86	30
	Antal dagar i bestämningen	-	5	18
	Beräkn.värde utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	2,4	1,2	0,0
Nov.	Exp.best.utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	1,3	0,6	0,0
	Exp.best.korr. för kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	1,2	0,4	0,0
	% med kapacitet/utan kapacitet	91	73	33
	Antal dagar i bestämningen	1	6	13
	Beräkn.värde utan inverkan av kapacitet, $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	1,1	0,4	0,0

fångade energin. Under vinterhalvåret fördubblas storleksordningen av förlustandelen. Öknigen beror dels på att uppvärmningsenergin då är större, dels på att nivån hos den infångade energin då är lägre.

6.8 Inverkan på solfångarens effektivitet av styrstrategin för pumpcirkulationen

Den experimentella bestämningen av infångad mängd solenergi har som tidigare nämnts genomförts med kontinuerlig pumpcirkulation dygnet runt. Därigenom är den registrerade energimängden opåverkad av värmekapaciteten i solfångaren och av en ofullkomlig styrstrategi för pumpcirkulationens till- och frånslag som förekommer i ett fullständigt system.

I detta avsnitt genomförs en starkt förenklad studie av vad en ofullkomlig styrstrategi betyder för den infångade energimängden.

Genom en ansats av några olika fördröjningsfunktioner för simulerat till- och frånslag i det datorprogram som styrde insamlingen och behandlingen av mätvärdena kan man av utskriften approximativt se om fördröjningarna har någon nämnvärd inverkan på mängden infångad energi.

Först följer här en förenklad teoretisk studie av verknings sättet hos en styrautomatik för pumpcirkulationens till- och frånslag och en uppskattning av energiförluster till följd av en ofullkomlig styrning. Därefter diskuteras den simulerade styrautomatiken och uppnådda resultat med denna.

6.8.1 Förenklad teoretisk studie av verknings sättet hos en styrautomatik för pumpcirkulationens till- och frånslag

Verknings sättet hos en styrautomatik för pumpcirkulationen kan beskrivas med följande händelseförlopp.

Betrakta FIG. 6.5. Figuren visar hur utgående vattentemperaturen från en solfångare kan variera i förhållande till värmelagrets temperatur under en dag. För enkelhetens skull antas inga värmeförluster mellan värmelagret och solfångaren vilket inte innebär någon principiell inskränkning i resonemanget. Solfångaren avger positiv effekt då cirkulationen är tillslagen och den utgående vattentemperaturen samtidigt är högre än temperaturen i värmelagret.

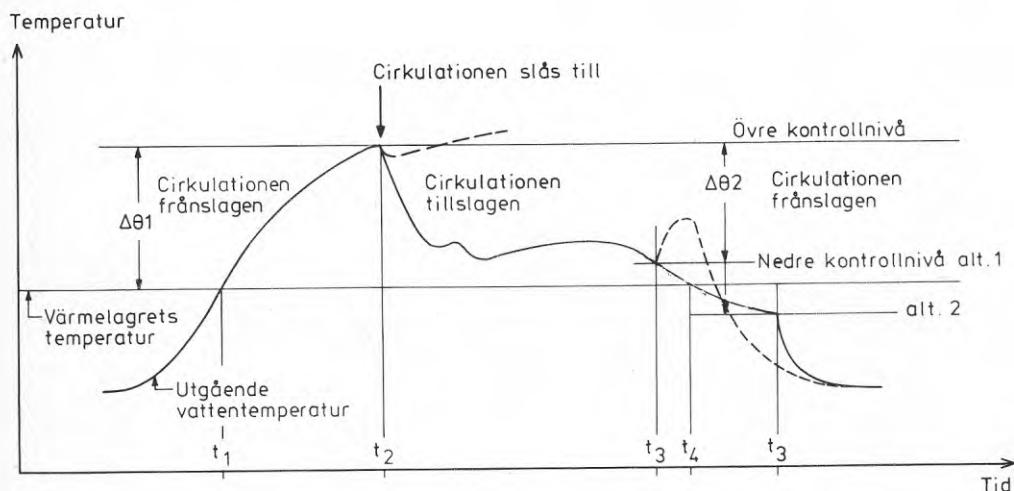


FIG. 6.5. Principskiss av temperaturvariationen hos utgående vattnet från solfångaren i förhållande till värmelagrets temperatur vid automatiskt till- och frånslag av pumpcirkulationen.

Styraautomatiken arbetar vanligen med hjälp av två temperaturgivare, den ena placerad i anslutning till absorbatorns utlopp och den andra i värmelagret. Skillnaden mellan temperaturerna som dessa givare registrerar kallas $\Delta\theta$. Om pumpcirkulationen är frånslagen sker tillslag då $\Delta\theta$ ökat till ett i automaten förvalt värde $\Delta\theta_1$, se FIG. 6.6. $\Delta\theta$ kan därefter antingen fortsätta att öka eller avta helt beroende

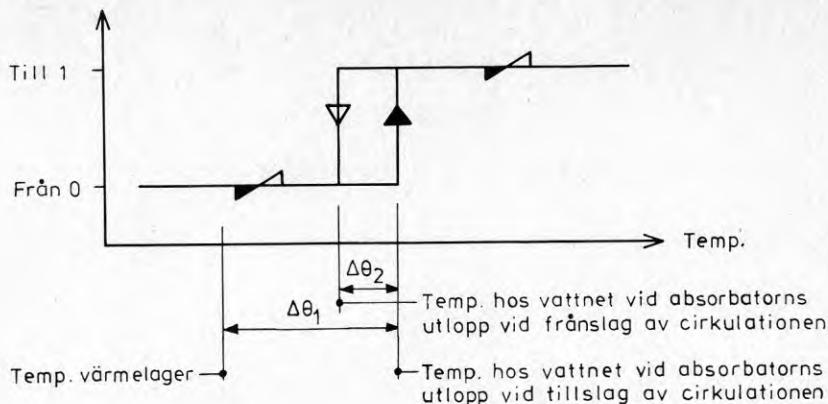


FIG. 6.6. Logiken hos styrautomatiken för pumpeirkulationen.

på storlekarna hos solinstrålning, vattenflöde och valt $\Delta\theta_1$ -värde, FIG. 6.5. Om $\Delta\theta$ efter tillslag avtar mer än $\Delta\theta_2$ sker frånslag, se FIG. 6.6. I logiken hos automatiken finns alltså inbyggd en hysteresiseffekt så att man kan undvika en oscillation mellan lägena till och från då $\Delta\theta$ avtar efter ett tillslag.

Efter ett frånslag kan antingen $\Delta\theta$ öka om $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 > 0$ eller avta, se FIG. 6.5.

Förluster av infångad energi som beror av styrautomatiken uppkommer endast i samband med frånslag av cirkulationen. Om $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 > 0$ sker frånslag medan fortfarande en del energi finns att hämta eftersom effekten är positiv. Denna energimängd försummas således. Om $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 < 0$ sker frånslag efter det att effekten övergått till att vara negativ. Under tiden med negativ effekt förloras alltså energi. Teoretiskt bör således frånslaget ske varken för tidigt eller för sent utan precis då effekten är noll dvs. med förvalsinställningen $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 = 0$ hos automatiken. (Vid värmeförluster mellan solfångare och värmelager: $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 = \Delta\theta_f$ där $\Delta\theta_f$ är temperatursänkningen hos vattnet som följd av värmeförluster under transporten från solfångaren till värmelagret.)

I FIG. 6.5 markeras tidpunkten för frånslag med t_3 och tidpunkten då effekten vid kontinuerlig pumpcirkulation når värdet noll med t_4 . Förlusten av infångad energi är då

$$\Delta E_a = \int_{t_3}^{t_4} p_n dt \quad (6.24)$$

$$p_n \lesssim (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2) \cdot \dot{m} \cdot c_v \quad (6.25)$$

där ΔE_a = förlorad infångad energi, Wh/m²
 \dot{m} = vattenflödet vid tillslagen cirkulation, kg/s·m²
 c_v = vattnets värmekapacitivet, J/kg·°C
 p_n = avgiven effekt från solfångaren under antagande om kontinuerlig drift, W/m²
 t = tiden, h.

Ett typiskt vattenflöde som kan antas är 1,5 kg/min·m², dvs. 0,025 kg/s·m². Man erhåller då $\dot{m} \cdot c_v \approx 100 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$.

$$p_n \lesssim 100(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2)$$

Förlustenergin kan då uppskattas enligt

$$E_a \lesssim 100(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2)(t_4 - t_3) \quad (6.26)$$

Av ekv. (6.26) framgår att förlustenergin beror dels av det förvalda värdet på $(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2)$, dels av tiden $(t_4 - t_3)$ som beror av $(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2)$ och instrålningens variation.

Om man väljer $|\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2|$ för stort kan även tidsperioden $|t_4 - t_3|$ bli oönskat lång, se FIG. 6.5. Man bör därför söka hålla $p_n \lesssim 50 \text{ W/m}^2$ (storleksordning) under tidsperioden (t_3, t_4) dvs. $|\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2| \lesssim 0,5 \text{ °C}$. Vanligen gäller

då $|t_4 - t_3| \leq 0,1$ à $0,2$ timmar. Förlustenergin kan således grovt uppskattas till $\Delta E_a \leq 10 \text{ Wh/m}^2$. Denna förlust har som synes ingen praktisk betydelse för solfångarnas effektivitet. Redan en måttlig ökning av $|\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2|$ till 1°C kan däremot medföra en allvarlig försämring i det att $|t_4 - t_3|$ då kan nå värden på ett par tre timmar, dvs. $\Delta E_a \leq 200$ à 300 Wh/m^2 . Risken för detta är sannolikt störst då $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 < -1$. Om $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 > 1$ är risken stor för oscillerande till- och frånslag.

Värmekapacitet i solfångaren inverkar så att tidsperioden (t_3, t_4) blir större än vad som blir fallet utan värmekapacitet. Denna verkan är dock i allmänhet liten. Den kapacitivt lagrade energin ska här räknas för temperaturdifferensen $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2$. För en solfångare av fabrikat Lennox LSC 18-1 är enligt ekv (6.23) denna energimängd

$$\Delta E_C \approx 3,4 \cdot 0,5 = 1,7 \text{ Wh/m}^2$$

om temperaturdifferensen satts till $0,5^\circ\text{C}$.

Av ekv. (6.26) kan man uppskatta förlängningen av tidsperioden (t_3, t_4) till följd av värmekapacitet enligt

$$\Delta(t_4 - t_3) \approx \frac{\Delta E_C}{100 \cdot (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2)} = \frac{1,7}{100 \cdot 0,5} = 0,034$$

dvs. ca 2 min.

Om man antar en med tiden linjärt avtagande effekt fördubblas denna tid till ca 4 min.

I samband med tillslag av pumpcirkulationen kan man definiera en tidsfördröjning ($t_2 - t_1$) av tillslaget där t_1 är tidpunkten då skillnaden mellan vattentemperaturen vid absorbatorns utlopp och värmlagrets temperatur, $\Delta\theta$, börjat bli positiv och t_2 är tidpunkten för tillslaget. Denna tidsfördröjning innebär i praktiken

ingen energiförlust eftersom den under tiden ($t_2 - t_1$) upplagrade energimängden till största delen tillgodogörs genom den avgivna positiva effekten efter tiden t_2 , se FIG. 6.5. Den lilla förlust som uppkommer beror endast på de något förhöjda termiska förlusterna från solfångare som följd av den något högre temperaturnivån i solfångaren.

6.8.2 Simulerad styrning av pumpcirkulationens till- och frånslag

Den simulerade styrningen av till- och frånslag av pumpcirkulationen gjordes enligt fyra olika alternativ samtidigt. Av den teoretiska betraktelsen av energiförluster i föregående avsnitt framgår att endast frånslagsfunktionen behöver studeras. Eftersom cirkulationen under experimenten var ständigt tillslagen kunde för simuleringen som värmelagrets temperatur tjäna temperaturen hos vattnet vid solfångarens inlopp. Kontrollvariabeln $\Delta\theta$ utgjordes alltså av vattnets temperaturdifferens mellan utloppet och inloppet hos solfångaren. Vid konstant vattenflöde är den avgivna effekten en ekvivalent kontrollvariabel eftersom vattenflödet och temperaturdifferensen är faktorer i effekten. Vid simuleringen användes effekten som kontrollvariabel eftersom vattenflödet inte var konstant under experimentperioden (ofullkomlig pumputrustning).

Det första styralternativet innebär frånslag omedelbart efter att effekten blivit negativ. Alternativet har alltså kontrollfunktionen enligt ekv. (6.9).

Av den ovan förda diskussionen med utgångspunkt från FIG. 6.5 framgår att de övriga alternativen borde innebära frånslag efter passage av några valda positiva och negativa effektnivåer. Så har emellertid inte gjorts. I stället har följande villkor formulerats.

Frånslag sker omedelbart efter att

- alt. 2: effektens medelvärde under de senaste 5 minuterna blivit negativ
- alt. 3: effektens medelvärde under de senaste 10 minuterna blivit negativ
- alt. 4: effekten varit ständigt negativ under de senaste 5 minuterna.

Villkoren formulerades så för att undvika onödiga frånslag/tillslag om effekten skulle bli tillfälligt kraftigt negativ under mycket kort tid (en eller ett par minuter). Effekten kan bli kraftigt negativ på kort tid om solfångarens värmekapacitet är ringa och de termiska förlusterna är stora.

Genom de formulerade villkoren är perioder med negativ effekt begränsade till högst 5 resp. 10 minuter. Effektnivåerna vid frånslag är däremot inte specificerade. Som nämnts i avsnitt 6.7 har det visat sig under experimenten att frekvensen av sådana kortvariga perioder med negativ effekt är mycket låg mitt i längre perioder med positiv effekt. Däremot förekommer de oftare i början och slutet av perioder med positiv effekt. Vilka konsekvenser detta får för pumpen genom ett motsvarande extra antal frånslag/tillslag har inte närmare studerats här. Vilken typ av villkor, effektbegränsande eller tidsbegränsande, som är att föredra är från energiförlustsynpunkt ointressant eftersom förlusterna är försumbara. Resultaten med den simulerade styrningen av pumpcirkulationen kan sammanfattas med att de infångade energimängderna enligt alternativen 2-4 överensstämmer i det närmaste fullständigt med den infångade energimängden enligt det ideala alternativet 1.

Även om styrningen av pumpcirkulationen behandlats med vissa förenklingar kan man ändå konstatera av denna undersökning att en lämpligt konstruerad och riktigt inställd styrautomatik inte bidrar till nämnvärda energiförluster av ofullständig styrstrategi vid till- och frånslag av pumpcirkulationen.

6.9 Sammanfattning och slutsatser av den experimentella undersökningen

Denna undersökning har i första hand syftat till att jämföra beräknade mängder instrålad och infångad solenergi under klara, halvklara och mulna dagar enligt den vid institutionen för byggnadsteknik utvecklade beräkningsmetoden med motsvarande experimentellt bestämda infångade energimängder.

De experimentella undersökningarna genomfördes vid institutionen för byggnadsteknik, KTH, under tiden juli-november 1977. I vissa avseenden kan experimentperioden anses vara för kort för att man ska erhålla statistiskt säkerställda resultat. Dock måste framhållas att inom den givna tidsramen och med de knappa personella och ekonomiska resurser som kunnat disponeras för detta arbete har ett fullt nöjaktigt resultat uppnåtts. *De experimentella bestämningarna överensstämmer i stort väl med egna genomförda beräkningar.*

Den aktuella ytan hade lutningen 60° mot horisontalplanet och var vänd mot söder.

Solfångaren som användes vid experimenten var av fabriken Lennox LSC 18-1. Glasningen består av två anti-reflexbehandlade glas med låg järnhalt. Absorbatorytan är selektivt svart. För beräkningarna av infångade energimängder erfordrades den aktuella solfångarens koefficientvärden i effektbalansekvationen. Dessa kunde hämtas från fabrikantens datablad men trots detta genomfördes egna noggranna bestämningar. Bl.a. undersöktes prover av glas och absorbator i spektrometer. Det visade sig då att fabrikantens uppgifter var i vissa avseenden för optimistiska. Transmissionsfaktorn för ett glas bestämdes till 0,90 mot utlovade 0,96. Man kan dessutom anse att k-värdet, ca $4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, är onödigt högt, trots att fabrikantens uppgift ligger strax därunder, med tanke på att den selektivt svarta absorbatorytan har så goda optiska egenskaper ($a \approx 0,94$, $\epsilon \approx 0,09$). En halvering av k-värdet genom bättre värme-

isolering av framför allt solfångarens kanter och eliminering av vissa köldbryggor mellan absorbatoren och ytterhöljet torde vara fullt möjlig. Egna försök med tilläggsisolering pekar i den riktningen. Ett onödigt högt k-värde är tyvärr alltför vanligt förekommande bland solfångarkonstruktioner.

Vid de experimentella bestämningarna av infångad mängd energi var pumpcirkulationen ständigt tillslagen. Därigenom undveks påverkan på den infångade energimängden av värmekapacitet i solfångaren och av en ofullständig styrstrategi vid till- och frånslag av pumpcirkulationen i ett fullständigt system. Energiförluster på grund av dessa två faktorer behandlas i stället separat utgående bl.a. från de resultatprotokoll som laboratoriedatorns terminalenhet skrev ut under försökens gång. Det visar sig att värmekapaciteten i den aktuella solfångaren ger upphov till storleksordningen 5-10 % förlust av den infångade energin under sommarhalvåret. Under vinterhalvåret är storleksordningen dubbelt så stor. Förlusten beror till stor del av bl.a. drifttemperaturen. Under juli-augusti var denna ca 70°C och under september-november ca 45°C. Ingen nämnvärd energiförlust kan relateras till normala ofullständigheter vid automatiskt till- och frånslag av pumpcirkulationen.

7 PARAMETERVARIATION, FÖRSÖRJNINGSGRADER
 OCH OPTIMALA SYSTEMDIMENSIONER FÖR
 OLIKA SOLVÄRMESYSTEM OCH BYGGNADER
 I SKANDINAVISKT KLIMAT

I detta kapitel visas bl.a. beräknade försörjningsgrader och dimensioner hos systemkomponenter för en mängd beräkningsfall. Dessa omfattar såväl lokala (avsnitt 7.5 och 7.7) som centrala solvärmesystem (avsnitt 7.8) samt passivt soluppvärmda hus (avsnitt 7.6). Beräkningarna har till stor del utförts med det vid institutionen för byggnadsteknik konstruerade datorprogrammet enligt den egna beräkningsmetoden.

Målsättningen med beräkningarna har varit att undersöka hur olika parametrar påverkar sambanden mellan försörjningsgrader och solvärmesystemens dimensioner.

Beräkningsresultaten redovisas bl.a. i ekonomiska termer i form av investeringskostnader och energikostnader för solvärmens. Energifkostnaderna är beräknade med annuiteten 10 %.

Veterligen är detta det första arbete som behandlar solvärmens ekonomi i en bred översikt för svenska förhållanden. Det måste dock framhållas att det finns många osäkra faktorer inbyggda i antagna kostnader för systemkomponenter. Likaså spelar det stor roll för resultatet vilken metod för lönsamhetskalkylen som tillämpas (diskuteras i avsnitt 7.2). Möjlighet finns för den som så önskar att räkna enligt någon annan kalkylmetod.

7.1 Orientering om beräkningarnas omfattning

7.1.1 Små lokala solvärmesystem

Små solvärmesystem karakteriseras hittills oftast av att energilagringsskapaciteten inte är dimensionerad för att säsongslagra solenergi från sommaren till vintern. Under den mörkaste årstiden måste följaktligen kompletterande energi tillsättas, vilket kan uppfattas som en nackdel hos lokala solvärmesystem. Under sommaren däremot fås sådant överskott av solenergi att svårigheter kan uppstå att skydda anläggningen mot överhettning (bl.a. kokning i ett vätskesystem).

Det finns dock ett övervägande flertal positiva sidor hos lokala solvärmesystem som förtjänar att belysas:

- med ett lokalt solvärmesystem som ger hög försörjningsgrad, ca 70 %, i ett värmesnålt hus är den återstående erforderliga energimängden inte större än att den kan tillföras bekvämt med någon form av inom landet producerat bränsle. Förbränningsutrustningen kan vara mycket enkel. Tidpunkterna då utrustningen ska vara i drift kan väljas manuellt och ganska fritt eftersom det finns en väl tilltagen energilagringsskapacitet i huset
- oberoende av vilket energislag som utnyttjas för husets uppvärmning är ett lokalt energilager i huset till stor fördel t.ex. vid nattackumlering av elvärme, värmepumpdrift m.m.
- från beredskapssynpunkt är försörjningen av värme klart bättre skyddad vid lokala solvärmesystem än vid centrala
- forskningen på energilagringssområdet syns inom något årtionde kunna leda fram till lagringseinheter med så hög energitäthet att lokal säsongslagring blir både tekniskt och ekonomiskt

möjlig. Äldre typer av energilager kan då bytas ut mot nya.

Instrålningsförhållandena har genom beräkningar påvisats vara tämligen likvärdiga inom större delen av landet (avsnitt 7.7). Av denna anledning har inverkan av huvuddelen av de parametrar som varierats vid beräkningarna endast studerats för Stockholm. Andra parametrar som horisontavskärmning, drifttemperatur, solfångararea och värmelagringskapacitet har däremot varierats vid ytterligare 5 orter.

Nedan följer en sammanställning av de parametrar som varierats

- horisontavskärmning
- solfångarens lutning
- absorbatorns emissionskoefficient
- antalet glas i glasningen
- glaskvaliteten i glasningen
- drifttemperaturen
- plan reflektor med varierande lutning, storlek och reflexionsegenskaper
- solfångararean
- värmelagringskapaciteten.

Byggnaden, vars värmebehov solvärmesystemet är avsett att till en del tillgodose, har i nästan alla fall antagits vara ett värmesnålt småhus med ca 120 m² bostadsyta. Betoningen på värmesnålt hus motiveras av att under överskådlig framtid torde energibesparande åtgärder, utgående från energiförbrukningsnivåer hos byggnader byggda enligt kraven i SNB 1975, vara lönsammare än produktion av solvärme. Några jämförande beräkningar har dock gjort med ett hus till formen lika med det nämnda värmesnåla men med ett dubbelt så stort energibehov återspeglade god isolerstandard

från mitten av 1960-talet. En presentation av antagna parametervärden och andra beräkningsdata finns i avsnitt 7.3.

De erhållna resultaten kan utnyttjas generellare än för enbart de antagna småhusen. T.ex. kan resultaten även gälla för radhus, flerbostadshus och lokaler under förutsättning att energibehovet för dessa byggnader varierar under året ungefär som i något av de här antagna fallen.

I avsnitt 7.6 har försörjningsgrader beräknats för *passivt soluppvärmda hus*. Försörjningsgraderna blir låga dels därför att inget bidrag ges till varmvattenbehovets täckning, dels därför att värmelagringskapaciteten utan extraordinära åtgärder är liten. Den tillgodogjorda solenergin blir emellertid billig om inte huset ges en alltför speciell utformning. Rent allmänt passar passivt soluppvärmda hus bäst i klimat med soliga dagar och kalla nätter. Denna karakteristik passar inte så väl in på det svenska klimatet.

7.1.2 Stora solvärmecentraler

Det karakteristiska för en stor solvärmecentral är att värmelagringskapaciteten hos lagringsenheten är mycket stor (lagringsvolym 10^5 à 10^7 m³). Därigenom erbjuds en möjlighet till säsongslagring av värme och det avslutna byggnadsbeståndets värmebehov kan då till 100 % täckas med solenergi. Samtidigt är förhållandet mellan värmelagrets volym och omslutande yta så fördelaktigt att värmeförlusterna från värmelagret under lagringstiden praktiskt taget kan försummas (några enstaka procent förlust av lagrad energi). Däremot drabbas systemet av distributionsförluster som kan nå storleksordningen 30 % av den lagrade energimängden. Det stora värmelagret medger att all av solfångaren infångad energi kan tillföras värmelagret till skillnad mot vad fallet är vid små solvärmesystem med begränsad

energilagringsskapacitet. Detta förhållande innebär också att det är betydligt enklare att optimera ett stort solvärmesystem än ett litet. Däremot kräver ett stort system naturligtvis betydligt mera projekteringsarbete.

Vad beträffar solfångaren gäller det endast att söka den lutning och eventuella kombination med reflektor som ger maximal energi under året vid valt drifttemperaturområde. Detta kan undersökas för olika solfångarkonstruktioner, såväl plana som i olika grad koncentrerande. Solfångarna kan vara fasta eller rörliga. Den infångade energimängden ska därefter jämföras med kostnaden för konstruktionen i fråga. I avsnitt 7.8, som behandlar effektivitet och ekonomi för stora solvärmecentraler, begränsas studien till att omfatta endast solfångare som är plana och fast monterade.

Vid diskussion om ekonomin för stora solvärmecentraler måste man beakta den konkurrens som kan bjudas av spillvärme från kärnkraftverk, mottrycks kraftvärmeverk, processindustrier m.fl.

7.2 Optimeringsproblemet

Optimeringsstudier syftar till att finna bästa utformning av ett system så att de sammanlagda kostnaderna för den önskade funktionen hos systemet blir lägsta möjliga. Omfattningen av ett system kan variera beroende på vem som är beslutsfattaren. En minsta optimeringsenhet, när det gäller uppvärmning av byggnader, bör utgöras av uppvärmningssystemet tillsammans med byggnaden som ska uppvärmas. Optimeringen innebär att:

1. bestämma olika systemalternativs termiska prestanda
2. värdera tekniska prestanda i ekonomiska termer
3. jämföra olika systemlösningars ekonomi och välja den lösning som ger bästa ekonomi.

Alla dessa punkter innehåller vanligen osäkerheter av olika natur.

För solvärmesystem beror osäkerheterna hos punkt 1 på svårigheter att precisera och kvantifiera instrålningsmängder och värmebehov under systemets ekonomiska livslängd.

Osäkerheten hos punkt 2 beror på att man vet så lite om den framtida ekonomiska utvecklingen och hur den ekonomiska politiken kommer att föras. Det har stor betydelse från vems utgångspunkt den ekonomiska värderingen görs. Samhällsekonomiska och privatekonomiska värderingar kan leda till tämligen skilda resultat. Rent allmänt är det i dag från samhällsekonomisk synpunkt i högsta grad påkallat att skära ned förbrukningen av importerad energi men de flesta enskilda besluten om energibesparande åtgärder måste lockas fram med kraftiga stimulansåtgärder från samhällets sida för att bli privatekonomiskt attraktiva.

Det finns flera olika metoder för bedömning av investeringars lönsamhet som kan ge helt olika resultat och däri ligger osäkerheten hos punkt 3. Orsaken till detta är att olika antaganden och värderingar ligger bakom de olika ekonomiska beräkningsmetoderna. I en privatekonomisk kalkyl ska man ta hänsyn till bl.a. följande faktorer:

- ränta på lånat kapital eller kalkylräntefot på eget kapital
- kapitaltillgång och kreditmöjligheter
- avskrivningstid
- återbetalningstid för lån
- prisökningar på energi
- allmänna höjningar av inkomstnivåer
- beskattningseffekter (marginalskatter, taxeringsvärden)

- bidrag och subventioner från samhället
- drift- och underhållskostnader under avskrivningstiden.

I olika litteraturreferenser diskuteras den marginella lönsamheten av olika energibesparande åtgärder, t.ex. tjockare isolering för byggnader, värmeåtervinning från ventilationsluft, värmepumpar, solvärmesystem etc. men utgående från ofta olika ekonomiska beräkningsmetoder. Det är då självklart olämpligt att direkt jämföra sådana resultat.

Om man har att välja mellan olika investeringsalternativ av likartad natur kan flera olika beräkningsmetoder tänkas ge samma rangordning mellan alternativen trots att energikostnaderna får olika värden med de olika metoderna och valet av beräkningsmetod är då kanhända inte så kritiskt. Däremot om man ska göra en jämförelse mellan energikostnaden för en besparingsåtgärd med kostnaden för köpt energi är det viktigt att energikostnaden för energibesparingen uttrycks med den verkliga uppoffringens värde för den som gör investeringen. Det finns alltså plats för åtskilliga individuella variationer av en energibesparings värde.

I föreliggande arbete görs inte någon närmare analys av olika ekonomiska beräkningsmetoder. I de fall energikostnader har beräknats uttryckta i kr/kWh bygger dessa på en konventionell kalkylmetod med en annuitet av 10 %. Möjligheten finns för den som så önskar att räkna om värdena enligt någon annan metod. En strävan med ovanstående diskussion är att rikta uppmärksamhet på att ekonomiska värderingar av ett och samma investeringsobjekt för energibesparing av flera orsaker kan skilja kraftigt och att sådana värderingar därför måste tolkas med stor försiktighet.

Tyngdpunkten i föreliggande arbete ligger på beräkningar av de tekniska prestanda som ligger till grund för ekonomiska värderingar.

7.3 Förutsättningar och antaganden vid genomförda beräkningar enligt den egna beräkningsmetoden

Den studerade problemställningen omfattar ett brett variationsområde med många intressanta parametrar. Av praktiska skäl har inte alla tänkbara kombinationer av parametervärden behandlats. I stället har värden på parametrar successivt valts ut under beräkningarnas gång i sådan omfattning att inverkan av de studerade faktorerna kunnat bedömas med tillräcklig säkerhet.

Nedan följer en sammanställning av varierade parametervärden samt övriga förutsättningar och antaganden.

Lokala solvärmesystem

Klimatdata:

- antal klara, halvklara och mulna dagar enligt SMHI:s statistik 1931-60, TAB. 4.1, för Stockholm se även FIG. 7.1
- uteluftens temperatur under dagen kl. 08-18 enligt SMHI:s statistik 1931-60, TAB. 4.2
- medelvindhastighet: 5 m/s, representativt årsmedelvärde (Taesler, 1972).

Geografiska orter:

- Malmö, Göteborg, Västervik, Örebro, Stockholm, Umeå.

Omgivningskaraktistika:

- markreflexionsfaktor: 0,2, representativt årsmedelvärde (Höglund & Stephenson, 1968)
- horisontavskärmning över horisonten: 0° eller 10° .

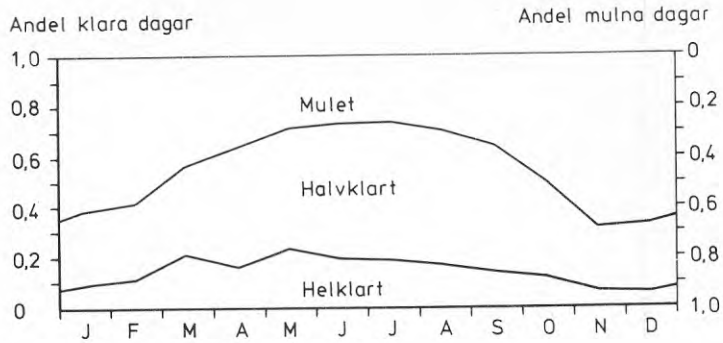


FIG. 7.1. Andelen helklara, halvklara och mulna dagar i Stockholm enligt statistik av SMHI, från 1931-60.

Solfångare:

Vätskekyld sluten absorbatör med glasning framför och värmeisolering på baksidan och runt kanterna, FIG. 1.5.

Värmekapaciteten i solfångaren har antagits vara så liten att inverkan av denna på effektiviteten kan försummas. I verkligheten är värmeförlusten på grund av värmekapaciteten för goda solfångarkonstruktioner av storleksordningen några få procent av den infångade energin.

- Absorbatorytans absorptionskoefficient för solstrålning: 0,95
- absorbatorytans emissionskoefficient för värme-
strålning: 0,1 (selektivt svart), 0,9 (svart-
målad)
- antal glas: 1 eller 2
- glaskvalitet: normalglas eller järnfrött med
antireflexbehandlade ytor för solstrålning
- lutning mot horisontalplanet, vänd mot söder:
40°-90°
- drifttemperatur: under året konstanta värden
45°-90°C
- area: 5-65 m².

Värmelager:

Värmelagringskapaciteter kan översättas till volym av valfritt lagringsmedium som arbetar vid antagna temperaturer. I första hand åsyftas här vatten eller salt-hydrat.

- Värmelagringskapacitet utöver behov för dygnsutjämning: 0-3000 kWh. 100 kWh motsvarar en volym av ca $1,2 \text{ m}^3$ salthydrat eller $1,9 \text{ m}^3$ vatten vid 45° temperaturändring.

Plana reflektorer i anslutning till plana solfångare:

- reflektorns lutning mot horisontalplanet: 10° från solfångaren till 30° åt solfångaren, FIG. 7.2
- reflektorns storlek: följande värden på dimensionslösa måttparametrar (FIG. 7.2):
 - solfångarens höjd/bredd, B: 0,3 0,6
 - reflektorns bredd/solfångarens bredd, C: 1,0 1,5
 - reflektorns längd/solfångarens bredd, D: 0,5 1,0 2,0.

Reflektorytan har i de flesta fall antagits i huvudsak speglande dvs. med följande reflexionsfaktorer:

- direkt infallande strålning - riktad reflekterad strålning: 0,70
- direkt infallande strålning - diffus reflekterad strålning: 0,10
- diffus infallande strålning - diffus reflekterad strålning: 0,80.

Någon enstaka beräkning har utförts med en diffust reflekterande reflektoryta, reflexionsfaktor 0,70.

Reflexionsfaktorerna har valts med hänsyn tagen till lätt nedsmutsning och åldring av ytan i naturlig utomhusmiljö. I det första fallet har ytan antagits bestå

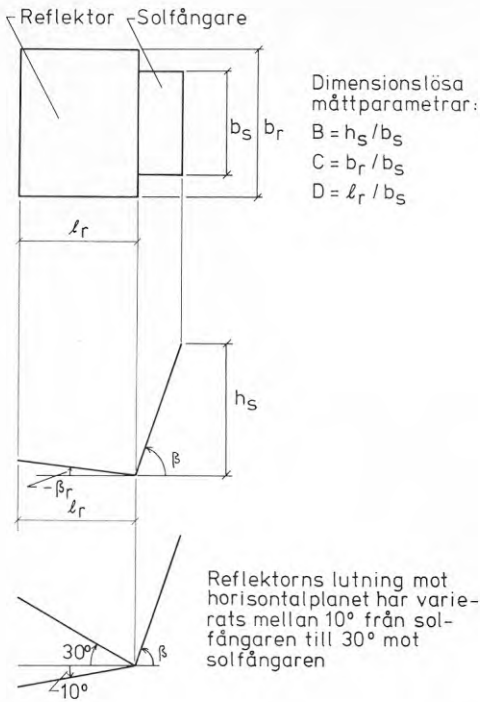


FIG. 7.2.

Parametrar för beskrivning av en plan reflektors storlek.

av högglanspolerad eloxerad aluminiumplåt, i det senare av en ljusreflekterande papp.

Värmebehov:

Värmebehovet hos två lika stora småhus betraktas. Det ena huset, kallat hus 1, antas ha ett värmebehov jämförbart med det man finner hos normala småhus byggda på 1960-talet med bostadsyta 100 å 120 m². Det andra huset, kallat hus 2, antas genom målmedvetna byggnadstekniska och installationstekniska värmebesparingsåtgärder ha ett väsentligt lägre värmebehov. Med värmebehov menas här energi till transmissions- och ventilationsförluster och varmvattenberedning minskad med värme från belysning, maskiner, människor, solinläckning genom fönster och värmeåtervinningsanläggningar.

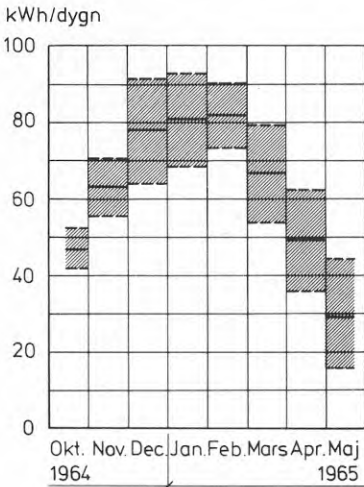
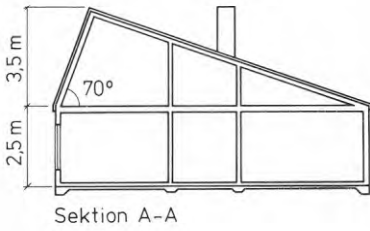
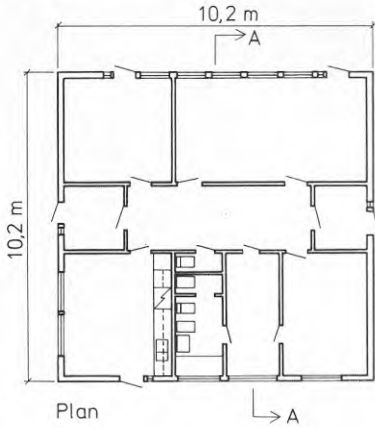
Värmebehovet för hus 1 har antagits med ledning av en värmebalansstudie för ett småhus i Nälsta, Stockholm

av Elmroth & Höglund (1973). Mätprogrammet genomfördes från oktober 1964 till april 1965. Av SMHI registrerade månadsmedelvärden över lufttemperaturen och antalet soltimmar för Stockholm under denna tid ansluter sig mycket nära till normalårets värden (1931-60).

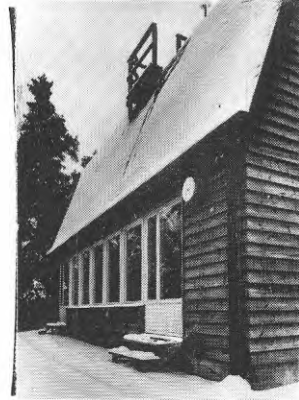
Presentation av huset och den uppmätta värmeförbrukningen under eldningssäsongen 1964-65 ges i FIG. 7.3. Det skall dock påpekas att huset då var obebott. Varmvattenförbrukningen måste därför uppskattas till en för småhus normal förbrukning, ca 15 kWh/dygn. Korrektion för värme till godo från belysning, maskiner och människor för fallet att huset vore bebott har inte gjorts eftersom man då samtidigt kan anta en motsatt effekt bl.a. genom ökad luftomsättning och avskärmning av solinstrålning genom fönster med persienner. Totala årsvärmebehovet blir 21,4 MWh. Värmebehoven under årets månader framgår av TAB. 7.1.

Husets branta takdel lutar 70° och antas vara riktad mot söder. I verkligheten är den sidan riktad mot sydväst. Solinstrålningen genom det stora fönstret under den branta takdelen har haft väsentlig inverkan på värmeförbrukningen under höst- och vårmånaderna. Solfångaren antas sitta på den branta takdelen vars totala area är ca 35 m^2 . Genom vissa konstruktiva förändringar skulle takytan kunna ökas till ca 60 m^2 . Här antas att det då uppkomna större vindsutrymmet inte påverkar värmeförbrukningen.

Värmebehovet för hus 2 har approximativt beräknats för de sex olika orterna såsom visas i appendix V. Värme genomgångskoefficienten hos bjälklag och ytterväggar har antagits till ca $0,14 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Fönstren har antagits bestå av 3-glas isolerrutor med värmespeglar. Ventilationen har antagits motsvara ca 0,5 luftomsättningar per timme och 70 % värmeåtervinning från ventilationsluften. Varmvattenberedningen har antagits motsvara 20 kWh/dygn. 50 % värmeåtervinning från varmvattnet har antagits under september-maj varför endast 10 kWh/dygn behöver tillföras under denna tid utifrån. De



Huset sett från norr



Söderfasaden

Värmeförbrukningen under eldningssäsongen 1964-65, dygnsmedelförbrukning under resp. månad jämte övre och undre spridningsgränser

FIG. 7.3. Försökshus Nälsta, Stockholm. Uppmätt värmeförbrukning. (Elmroth & Höglund, 1973.)

TAB. 7.1.

Antagna värmebehov i ett för 1960-talet normalt välisolerat småhus och ett värmesnålt småhus. Båda husen antas ha bostadsytan 100 à 120 m² och vara belägna i Stockholm. Med värmebehov menas här energi till transmissions- och ventilationsförluster och varmvattenberedning minskad med värme från belysning, maskiner, människor, solinläckning genom fönster och värmeåtervinningsanläggningar. Transmissions- och ventilationsförlusterna i hus 1 har uppskattats med ledning av uppgifter från ett provhus i Nälsta utanför Stockholm¹⁾. Mätprogrammet genomfördes från oktober 1964 till april 1965. Av SMHI registrerade månadsmedelvärden över lufttemperaturen och antalet soltimmar för Stockholm under denna tid ansluter sig mycket nära till normalårets värden (1931-60). Varmvattenbehovet har antagits till för småhus normal förbrukning, ca 15 kWh/dygn. Värmebehovet för hus 2 har approximativt beräknats. Värmegenomgångskoefficienten hos bjälklag och ytterväggar har därvid antagits till ca 0,14 W/m².°C. Fönstren har antagits bestå av 3-glas isolerrutor med värmespeglar. Ventilationen har antagits motsvara ca 0,5 luftomsättningar per timme och 70 % värmeåtervinning från ventilationsluften. Varmvattenberedningen har antagits motsvara 20 kWh/dygn. 50 % värmeåtervinning från varmvattnet har antagits under september-maj varför endast 10 kWh/dygn behöver tillföras under denna tid utifrån.

Månad	Värmebehov	
	Hus 1 Normalt nytt välisolerat hus kWh/dygn	Hus 2 Värmesnålt hus kWh/dygn
	v.v. kWh/dygn: 15	20
Jan.	95	40
Feb.	95	40
Mars	80	35
Apr.	63	28
Maj	45	20
Juni	15	20
Juli	15	20
Aug.	15	20
Sept.	45	20
Okt.	63	28
Nov.	80	35
Dec.	95	40
Året	21 400 kWh	10 500 kWh

1) Elmroth & Höglund (1973).

antagna värmebehoven under årets månader för Stockholm framgår av TAB. 7.1. Totala årsvärmebehovet blir 10,5 MWh. Med tanke på de högisolerande ytterkonstruktionerna kan värdet förefalla hågot högt. Man måste då ha klart för sig svårigheterna att utnyttja överskottsvarme från hushållsel och personer i ett högisolerat hus utan speciell lagringsenhet för energi från rumsluft vid en temperatur endast några grader över dimensionerande rumstemperatur. En sådan lagringsenhet är inte antagen här.

Värmelagret har antagits vara välisolerat och placerat i huset på sådan plats att den okontrollerbara värmeavgivningen från värmelagret till 100 % kommer huset till godo.

För dygnsutjämning av värme krävs för hus 1 ca 100 kWh och för hus 2 ca 40 kWh lagringskapacitet.

Solvärmecentraler

Klimatdata: se lokala solvärmesystem ovan

Geografisk ort: Stockholm

Omgivningskaraktäristika: se lokala solvärmesystem ovan.

Solfångare:

Vätskekyld sluten absorbatör med glasning framför och värmeisolering på baksidan och runt kanterna. Försumbar värmekapacitet i solfångaren.

• Absorbatorytans absorptionskoefficient för solstrålning: 0,95

• absorbatorytans emissionskoefficient för värme-
strålning: 0,1 (selektivt svart), 0,9 (svart-
målad)

• antal glas: 1 eller 2

• glaskvalitet: i huvudsak järnfritt med antireflexbehandlade ytor för solstrålning, i några fall även normalglas

- lutning mot horisontalplanet, vänd mot söder:
50°, 60°, 70°
- drifttemperatur: under året konstant värde i huvudsak 90°C, i några fall lägre
- area: dimensionerad för 100 % försörjningsgrad.

Värmelager:

- lagringsmedium vatten
- värmelagringskapacitet: dimensionerad för 100 % försörjningsgrad.

Plana reflektorer:

- se lokala solvärmesystem ovan.

Värmebehov:

Värmesnåla nya småhus i grupp och äldre bebyggelse.

- Värmesnålt småhus, se lokala solvärmesystem ovan, värmeförluster från kulvertledningen mellan huset och centralen och förluster från värmelagret ca 30 % av framfört värme
- äldre bebyggelse: representeras av några vanliga 3-vånings lamellhus av smalhustyp i Ulvsunda, Stockholm, uppförda omkring 1940 där institutitionen för byggnadsteknik bedriver forskningsverksamhet i energibesparande syfte (Höglund & Johnsson, 1976). Årsvärmebehovet för en typisk lägenhet på 48 m² i dessa hus under ett normalår är ca 19,3 MWh. Värmeförluster från kulvertledningen och värmelagret: ca 23 % av framfört värme.

7.4 Beräkning med datorprogrammet enligt den egna beräkningsmetoden

Beräkningarna har underlättats väsentligt tack vare att datorprogram för den egna beräkningsmetoden har

konstruerats. Därigenom har en stor mängd fall kunnat behandlas.

De erforderliga uppgifterna som utgör indata till programmet framgår av nedanstående faktaruta. I rutan finns även kort beskrivet vad programmet beräknar och ger i utskrift. Ett exempel på en resultatutskrift finns i appendix VI förkortat återgiven av utrymmesskäl.

Faktaruta om dataprogrammet

INDATA

Latitud
 Markens reflexionsfaktor
 Antalet helklara, halvklara och mulna dagar under varje månad
 Uteluftens temperatur under dagen, medelvärde varje månad
 Horisontavskärmning
 Vindhastighet
 Solfångarens lutning mot horisontalplanet, vänd mot söder
 Absorbatorns emissionsfaktor för långvägig strålning
 Antal glas framför absorbatorn
 Andel absorberad direkt strålning med hänsyn till glas-kvaliten och absorbatorytans absorptionsfaktor för kortvägig strålning
 Andel absorberad diffus strålning med hänsyn till d:0
 Drifttemperatur i solfångaren

Om plan reflektor framför solfångaren förekommer:

Reflektorns lutning mot horisontalplanet
 Solfångarens höjd/bredd
 Reflektorns bredd/solfångarens bredd
 Reflektorns längd/solfångarens bredd
 Reflektorns reflexionsfaktorer: direkt-riktad, direkt-diffus, diffus-diffus

Solfångareareor, olika alternativ
 Värmelagringskapaciteter, olika alternativ
 Värmebehovet, medelvärde för varje månad

PROGRAMMET BERÄKNAR:

För varje månad den 21
 För varje timme
 Direkta irradiansen vinkelrätt mot strålningens plan
 Strålningens infallsvinkel mot solfångarplanet
 Direkta, diffusa och totala irradiansen på solfångarplanet vid helklart, halvklart och mulet väder
 Infångade solenergin
 Månadssummor instrålad energi från direkt och diffus strålning samt infångad energi
 Årssummor instrålad energi från direkt och diffus strålning samt infångad energi

För varje månad och för året:

Energitillskott och försörjningsgrader utifrån värmebehovet, värmelagringskapaciteten och infångade solenergin. Olika solfångareareor och värmelagringskapaciteter

7.5 Optimering av små lokala solvärme- system - beräkningsresultat

Beräknade försörjningsgrader för det värmesnåla småhuset i Stockholm redovisas med ett antal för solvärmesystemet väsentliga parametrar varierade. Vid en systemoptimering kan vissa parametervärden vara bestämda redan i förutsättningarna. I den efterföljande ekonomiska studien har därför optimum sökts för några olika givna parameterkombinationer. I denna studie påvisas dessutom att för en bestämd vald försörjningsgrad med storleksordning av betydelse, dvs. minst ca 0,50, blir kostnaderna för solenergin högre för småhuset från 1960-talet än för det värmesnåla småhuset vilket motiverar att nämnda parameterstudie genomförts för det värmesnåla småhuset. Skillnaden mellan de två husens energikostnader är dock inte så stor om fasta kostnader får en betydande inverkan eftersom dessa kostnader påverkar kraftigast det värmesnåla husets energikostnad.

I redovisningen av beräknade försörjningsgrader förekommer olika parametervärden för andel absorberad strålning vilkas innebörd är följande

	Andel absorberad strålning	
	A_1 Direkt strålning vid nära vinkel- rätt infall	A_2 Diffus strålning
1 glas, normalkvalitet	0,82	0,74
1 glas, järnfritt, antireflexbehandlade ytor	0,90	0,84
2 glas, normalkvalitet	0,75	0,67
2 glas, järnfritt, antireflexbehandlade ytor	0,87	0,80

En närmare presentation av koefficienterna A_1 och A_2 med beräkning av värdena för fallet 2 glas av normalkvalitet finns i appendix I.

Då man studerar beräkningsresultatet kan det vara av intresse att ha en översiktlig bild av instrålningskarakteristiken. Den beräknade medelinstrålningen per dygn i Stockholm visas i FIG. 7.4 för ytor med olika lutning riktade mot söder. I FIG. 7.5 visas några fall med medelinstrålningen uppdelad i direkt och diffus strålning. Årssummorna av direkt, diffus och total solinstrålning mot ytor med varierande lutning framgår av FIG. 7.6.

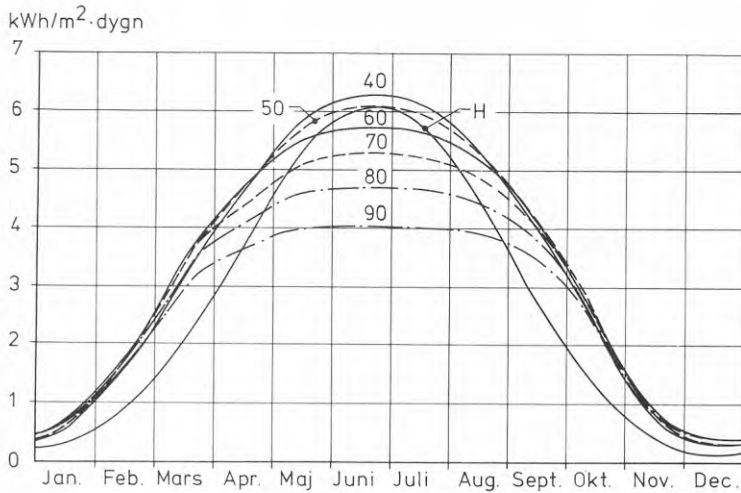


FIG. 7.4. Beräknad medelinstrålning per dygn i Stockholm mot olika orienterade ytor. Lutningen mot horisontalplanet är varierad från 40° till 90°. H = horisontell yta.

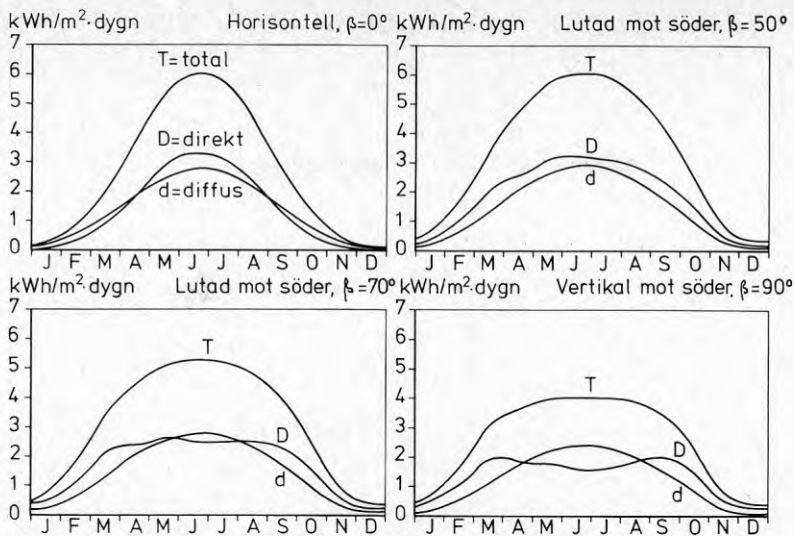


FIG. 7.5. Beräknad direkt, diffus och total medelinstrålning per dygn i Stockholm mot olika orienterade ytor. Markreflexionsfaktor 0,2.

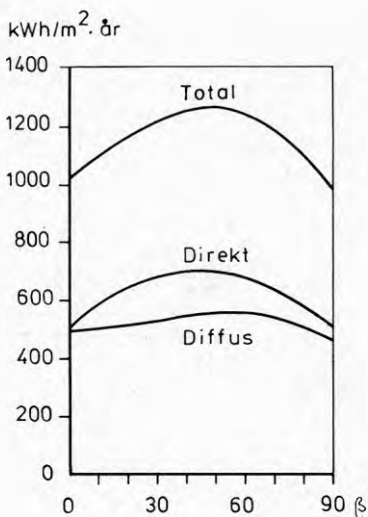


FIG. 7.6.

Årssummor av direkt, diffus och total solinstrålning mot ytor med varierande lutning mot horisontalplanet (β) riktade mot söder beräknade för ett normalår i Stockholm. Markreflexionsfaktor 0,2.

7.5.1 Variation av solfångarens lutning

a) Solfångare utan plan reflektor framför

Försörjningsgraden är endast till ringa grad beroende av solfångarens lutning inom intervallet 40-80°. Vid

mindre solfångarareor (5 à 10 m²) är lutningar på 50° à 60° fördelaktigast och vid större solfångarareor (20 à 35 m²) är lutningar på 70° à 80° fördelaktigast (TAB. 7.2). Detta kan förklaras med att under månader då solen står högt kan energitillskottet till följd av en mindre solfångarlutning bättre tillgodogöras från en liten solfångare än från en stor. Detta tillgodogjorda energitillskott ska då överstiga den minskning av tillgodogjord energi som i stället uppkommer under månader då solen står lågt.

TAB. 7.2. *Inverkan av solfångarens lutning på försörjningsgraden. Solfångare utan reflektor.*

LATITUD:60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20

YTANS LUTNING: β GRADER, VÄND MOT SÖDER

HORISONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

SOLFÅNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.75

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.67

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÅNGAREN:45GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 50^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.29	0.34	0.39	0.43	0.46	0.51
225	0.31	0.41	0.48	0.55	0.59	0.64
440	0.31	0.43	0.50	0.56	0.63	0.70
665	0.31	0.43	0.52	0.60	0.66	0.72
1300	0.31	0.43	0.59	0.66	0.72	0.78
3000	0.31	0.43	0.61	0.62	0.68	0.94

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 70^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.28	0.35	0.39	0.44	0.46	0.51
225	0.28	0.40	0.49	0.56	0.60	0.65
440	0.28	0.40	0.51	0.59	0.65	0.72
665	0.28	0.40	0.53	0.61	0.67	0.75
1300	0.28	0.40	0.57	0.67	0.73	0.81
3000	0.28	0.40	0.57	0.84	0.90	0.97

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 80^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.25	0.34	0.39	0.43	0.46	0.50
225	0.25	0.36	0.48	0.56	0.60	0.65
440	0.25	0.36	0.50	0.59	0.65	0.72
665	0.25	0.36	0.51	0.61	0.67	0.75
1300	0.25	0.36	0.51	0.67	0.73	0.81
3000	0.25	0.36	0.51	0.76	0.89	0.97

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 90^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.22	0.30	0.37	0.42	0.45	0.49
225	0.22	0.30	0.43	0.54	0.59	0.65
440	0.22	0.30	0.43	0.56	0.63	0.71
665	0.22	0.30	0.43	0.58	0.65	0.74
1300	0.22	0.30	0.43	0.64	0.71	0.80
3000	0.22	0.30	0.43	0.65	0.86	0.96

b) Solfångare med plan reflektor framför

Försörjningsgraden är endast till ringa grad beroende av solfångarens lutning inom intervallet $50-90^{\circ}$

(TAB. 7.3).

TAB. 7.3. *Inverkan av solfångarens lutning på försörjningsgraden. Solfångare med plan reflektor framför.*

LATITUD: 60 GRADER NCR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20

RYTTANS LUTNING: β GRADER, VÄND MOT SÖDER

HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

REFLEKTORNS LUTNING: 0 GRADER SOLFÅNGARENS HÖJD/BREDD: 0.30

REFLEKTORNS BREDD/SOLFÅNGARENS BREDD: 1.50

REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÅNGARENS BREDD: 0.50

REFLEKTORNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD: 0.70
DIREKT-DIFFUS: 0.10 DIFFUS-DIFFUS: 0.80

SOLFÅNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.75

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.67

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÅNGAREN: 45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 50^{\circ}$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARENS AREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.36	0.41	0.45	0.48	0.53
225	0.33	0.43	0.51	0.57	0.61	0.65
440	0.33	0.46	0.53	0.61	0.65	0.72
665	0.33	0.46	0.55	0.63	0.68	0.75
1300	0.33	0.46	0.61	0.69	0.74	0.81
3000	0.33	0.46	0.65	0.85	0.90	0.98

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 70^{\circ}$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARENS AREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.43	0.46	0.49	0.54
225	0.34	0.47	0.54	0.60	0.63	0.67
440	0.34	0.48	0.56	0.65	0.68	0.74
665	0.34	0.48	0.59	0.67	0.70	0.78
1300	0.34	0.48	0.65	0.73	0.76	0.84
3000	0.34	0.48	0.68	0.89	0.92	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 80^{\circ}$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARENS AREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.43	0.46	0.48	0.53
225	0.34	0.47	0.54	0.60	0.63	0.68
440	0.34	0.47	0.57	0.65	0.68	0.74
665	0.34	0.47	0.59	0.67	0.70	0.79
1300	0.34	0.47	0.65	0.73	0.76	0.85
3000	0.34	0.47	0.68	0.89	0.92	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER MED $\beta = 90^{\circ}$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARENS AREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.32	0.38	0.42	0.46	0.48	0.53
225	0.32	0.45	0.54	0.60	0.63	0.67
440	0.32	0.45	0.56	0.64	0.67	0.74
665	0.32	0.45	0.58	0.67	0.70	0.78
1300	0.32	0.45	0.64	0.73	0.76	0.84
3000	0.32	0.45	0.65	0.89	0.92	1.00

7.5.2 Solfångare med och utan plan reflektor framför

Försörjningsgraden blir större med reflektor än utan men det är diskutabelt huruvida denna ökning är värd kostnaden för reflektorn.

Precis som för solfångararean avtar gränsnyttan för ökande reflektorarea. Det är t.ex. onödigt att ha en reflektorarea större än 1,5 à 2 ggr solfångararean.

För ett konstant förhållande mellan solfångararean och reflektorarean är det fördelaktigare med en lägre och bredare solfångare än en högre och smalare. Orsaken till detta är att negativa geometriska randeffekter vid reflexionen avtar ju bredare reflektorn är.

Jämförelse mellan fallen $\left. \begin{array}{l} \text{solfångarens höjd/bredd} = 0,3 \\ \text{reflektorns längd/solfångarens bredd} = 0,5 \end{array} \right\}$

och $\left. \begin{array}{l} \text{solfångarens höjd/bredd} = 0,6 \\ \text{reflektorns längd/solfångarens bredd} = 1,0 \end{array} \right\}$ utfaller till det

förstnämnda fallets fördel med endast obetydlig marginal.

Sambandet mellan de geometriska parametrarna vid konstant förhållande mellan reflektorarean A_r och solfångararean A_s lyder

$$A_r/A_s = \frac{C \cdot D}{B} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta_r} \quad (7.1)$$

där $B = h_s/b_s$

$$C = b_r/b_s$$

$$D = l_r/b_s$$

$$b_s = \text{solfångarens bredd}$$

$$h_s = \text{solfångarens vertikala höjd}$$

- b_r = reflektorns bredd
 l_r = reflektorns längd
 β = solfångarens lutningsvinkel mot horisontalplanet
 β_r = reflektorns lutningsvinkel mot horisontalplanet.

En närmare presentation av de geometriska parametrarna finns i avsnitt 4.5.

För konstanta värden på A_r/A_s , C , β och β_r gäller $A_r/A_s = \text{konst} \cdot l_r/h_s$. I ett system solfångare-reflektor med tillräcklig bredd har de absoluta måtten därför ingen praktisk betydelse, FIG. 7.7.

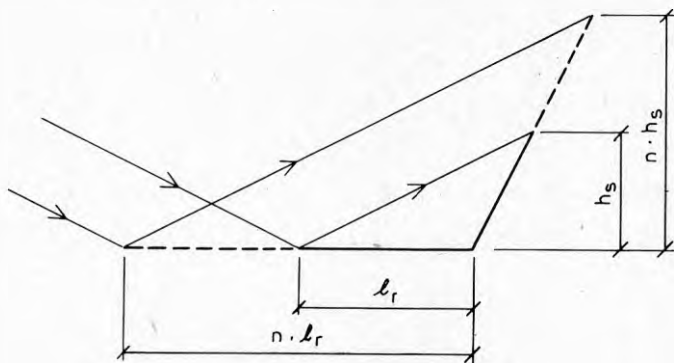


FIG. 7.7. Vid konstant areaförhållande A_r/A_s har de absoluta måtten ingen betydelse för reflexionsresultatet förutsatt att bredden är tillräckligt stor så att geometriska randeffekter kan försummas.

Inverkan av varierande värden på de geometriska måttparametrarna kan studeras i TAB. 7.4. Jämför även TAB. 7.2 och 7.3.

TAB. 7.4. Inverkan av reflektorns storlek på försörjningsgraden.

LATITUD: 60 GRADER NORR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20

YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER

HORISONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

REFLEKTORN LUTNING: 0 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD: B

REFLEKTORN BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD: 1.00

REFLEKTORN LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD: D

REFLEKTORN REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD: 0.70
DIREKT-DIFFUS: 0.10 DIFFUS-DIFFUS: 0.80

SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.75

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.67

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER B = 0,30 D = 0,50

VÄRME- | SOLFÄNGAREAREA M² A_r/A_s = 1,57
LAGER |
KWH |

	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.42	0.46	0.49	0.54
225	0.34	0.46	0.54	0.60	0.63	0.67
440	0.34	0.47	0.56	0.64	0.67	0.74
665	0.34	0.47	0.58	0.67	0.70	0.78
1300	0.34	0.47	0.64	0.73	0.76	0.84
3000	0.34	0.47	0.67	0.89	0.92	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER B = 0,30 D = 2,0

VÄRME- | SOLFÄNGAREAREA M² A_r/A_s = 6,26
LAGER |
KWH |

	5	7	10	15	20	35
0	0.34	0.39	0.44	0.48	0.50	0.55
225	0.35	0.48	0.55	0.61	0.65	0.70
440	0.35	0.49	0.58	0.66	0.70	0.77
665	0.35	0.49	0.60	0.69	0.72	0.81
1300	0.35	0.49	0.66	0.75	0.78	0.87
3000	0.35	0.49	0.69	0.91	0.94	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER B = 0,60 D = 0,50

VÄRME- | SOLFÄNGAREAREA M² A_r/A_s = 0,78
LAGER |
KWH |

	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.37	0.41	0.45	0.48	0.52
225	0.32	0.45	0.52	0.58	0.61	0.66
440	0.32	0.45	0.54	0.62	0.66	0.73
665	0.32	0.45	0.56	0.64	0.69	0.77
1300	0.32	0.45	0.62	0.70	0.75	0.83
3000	0.32	0.45	0.64	0.87	0.91	0.99

FÖRSÖRJNINGSGRADER B = 0,60 D = 2,0

VÄRME- | SOLFÄNGAREAREA M² A_r/A_s = 3,13
LAGER |
KWH |

	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.43	0.46	0.49	0.54
225	0.33	0.46	0.54	0.60	0.63	0.68
440	0.33	0.47	0.56	0.65	0.68	0.75
665	0.33	0.47	0.58	0.67	0.71	0.79
1300	0.33	0.47	0.64	0.73	0.77	0.85
3000	0.33	0.47	0.67	0.89	0.93	1.00

7.5.3 Variation av den plana reflektorns lutning

Reflektorns lutningsvinkel inom intervallet -20° - $+10^{\circ}$ påverkar försörjningsgraden i allmänhet endast i ringa grad. För små solfångarareor (5 à 10 m^2) fås bästa utbyte med lutningsvinkeln -10° à -20° medan för större solfångarareor (20 à 35 m^2) fås bästa utbyte med lutningsvinkeln 0° à 10° (TAB. 7.5). I det senare fallet är lutningsvinkeln mera anpassad för vinterhalvårets solhöjder och därför bör en sådan vinkel väljas för större solfångarareor.

TAB. 7.5. Inverkan av reflektorns lutning på försörjningsgraden.

LATITUD: 60 GRADER NORR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20

YTANS LUTNING: β GRADER, VÄND MOT SÖDER

HORISONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

REFLEKTORN LUTNING: β_r GRADER SOLFÅNGARENS HÖJD/BREDD: 0.30

REFLEKTORN BREDD/SOLFÅNGARENS BREDD: 1.00

REFLEKTORN LÄNGD/SOLFÅNGARENS BREDD: 0.50

REFLEKTORN REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD: 0.70
DIREKT-DIFFUS: 0.10 DIFFUS-DIFFUS: 0.80

SOLFÅNGAREN: ABSORBERARENS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.75

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.67

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTEMPERATUR I SOLFÅNGAREN: 45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$\beta = 50^{\circ}$ $\beta_r = 10^{\circ}$					
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARAREAN M ²	5	7	10	15	20	35
0	0.30	0.35	0.40	0.45	0.47	0.53	
225	0.31	0.42	0.49	0.56	0.60	0.66	
440	0.31	0.44	0.51	0.59	0.65	0.72	
665	0.31	0.44	0.53	0.61	0.67	0.74	
1300	0.31	0.44	0.59	0.67	0.73	0.80	
3000	0.31	0.44	0.62	0.83	0.89	0.96	

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$\beta = 50^{\circ}$ $\beta_r = 0^{\circ}$					
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARAREAN M ²	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.36	0.41	0.45	0.48	0.53	
225	0.32	0.43	0.51	0.57	0.61	0.65	
440	0.32	0.45	0.53	0.61	0.65	0.72	
665	0.32	0.45	0.55	0.63	0.68	0.75	
1300	0.32	0.45	0.61	0.69	0.74	0.81	
3000	0.32	0.45	0.65	0.85	0.90	0.97	

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$\beta = 50^{\circ}$ $\beta_r = -10^{\circ}$					
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARAREAN M ²	5	7	10	15	20	35
0	0.32	0.37	0.40	0.44	0.47	0.52	
225	0.34	0.44	0.51	0.56	0.59	0.64	
440	0.34	0.46	0.53	0.60	0.64	0.70	
665	0.34	0.48	0.55	0.62	0.66	0.73	
1300	0.34	0.48	0.61	0.68	0.73	0.79	
3000	0.34	0.48	0.69	0.85	0.89	0.95	

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$\beta = 50^{\circ}$ $\beta_r = -20^{\circ}$					
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGARAREAN M ²	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.35	0.39	0.43	0.46	0.51	
225	0.36	0.43	0.49	0.54	0.57	0.62	
440	0.36	0.45	0.51	0.58	0.62	0.67	
665	0.36	0.47	0.54	0.60	0.64	0.70	
1300	0.36	0.51	0.60	0.66	0.70	0.76	
3000	0.36	0.51	0.72	0.82	0.86	0.92	

TAB. 7.5. (forts.)

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 70^\circ$ $\beta_r = 10^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.37	0.42	0.46	0.49	0.54
225	0.31	0.43	0.52	0.60	0.63	0.69
440	0.31	0.43	0.54	0.64	0.68	0.75
665	0.31	0.43	0.56	0.66	0.71	0.80
1300	0.31	0.43	0.62	0.72	0.77	0.86
3000	0.31	0.43	0.62	0.88	0.93	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 70^\circ$ $\beta_r = 0^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.42	0.46	0.49	0.54
225	0.34	0.46	0.54	0.60	0.63	0.67
440	0.34	0.47	0.56	0.64	0.67	0.74
665	0.34	0.47	0.58	0.67	0.70	0.78
1300	0.34	0.47	0.64	0.73	0.76	0.84
3000	0.34	0.47	0.67	0.89	0.92	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 70^\circ$ $\beta_r = -10^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.42	0.45	0.48	0.53
225	0.37	0.46	0.52	0.58	0.61	0.66
440	0.37	0.48	0.55	0.62	0.66	0.72
665	0.37	0.51	0.57	0.65	0.68	0.76
1300	0.37	0.51	0.63	0.71	0.74	0.82
3000	0.37	0.51	0.73	0.87	0.90	0.98

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 70^\circ$ $\beta_r = -20^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.32	0.36	0.40	0.44	0.47	0.52
225	0.37	0.44	0.50	0.55	0.59	0.63
440	0.37	0.46	0.53	0.59	0.63	0.69
665	0.37	0.49	0.55	0.62	0.66	0.72
1300	0.37	0.52	0.61	0.68	0.72	0.78
3000	0.37	0.52	0.74	0.84	0.88	0.94

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 90^\circ$ $\beta_r = 10^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.28	0.37	0.42	0.46	0.48	0.53
225	0.28	0.39	0.53	0.61	0.64	0.69
440	0.28	0.39	0.55	0.65	0.69	0.76
665	0.28	0.39	0.56	0.67	0.71	0.80
1300	0.28	0.39	0.56	0.73	0.77	0.86
3000	0.28	0.39	0.56	0.84	0.94	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 90^\circ$ $\beta_r = 0^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.38	0.42	0.46	0.48	0.53
225	0.32	0.44	0.53	0.59	0.63	0.67
440	0.32	0.44	0.55	0.64	0.67	0.74
665	0.32	0.44	0.57	0.67	0.70	0.78
1300	0.32	0.44	0.63	0.73	0.76	0.84
3000	0.32	0.44	0.63	0.89	0.92	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 90^\circ$ $\beta_r = -10^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.32	0.37	0.41	0.45	0.48	0.53
225	0.33	0.45	0.51	0.57	0.61	0.65
440	0.33	0.47	0.54	0.61	0.65	0.72
665	0.33	0.47	0.56	0.64	0.68	0.75
1300	0.33	0.47	0.62	0.70	0.74	0.81
3000	0.33	0.47	0.67	0.86	0.90	0.97

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\beta = 90^\circ$ $\beta_r = -20^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.32	0.36	0.40	0.44	0.47	0.52
225	0.37	0.44	0.50	0.55	0.59	0.63
440	0.37	0.46	0.53	0.59	0.63	0.69
665	0.37	0.49	0.55	0.62	0.66	0.72
1300	0.37	0.52	0.61	0.68	0.72	0.78
3000	0.37	0.52	0.74	0.84	0.88	0.94

7.5.4 Glasning med järnfritt och antireflexbehandlat glas

Solfångare som har glasning med järnfritt och antireflexbehandlat glas ger i tvåglasutförande för små solfångareareor (5 à 7 m²) ca 20 % mer utnyttjad solenergi och för större solfångareareor (20 à 35 m²) ca 5 % mer utnyttjad solenergi än solfångare vars glasning har obehandlade ytor och normal järnhalt (TAB. 7.6). Skillnaden vid ett glas är något mindre. Framställning av järnfritt och antireflexbehandlat glas behöver inte medföra nämnvärt högre kostnader än för vanligt standardglas (Mar et al., 1975). Hittills har dock en marknad för det bättre glaset saknats. Därför kan sådant glas ännu bara framställas på ett fåtal platser i världen.

TAB. 7.6. Inverkan på försörjningsgraden av järnfritt och antireflexbehandlat glas i solfångarens glasning ($A_1=0,87$ $A_2=0,80$).

ATITUD: 60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20
 TAKS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER
 ISOLATIONAVSKÄRMNING: 0 GRADER

SOLFÅNGAREN: ABSORBTORNS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: A1
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: A2
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÅNGAREN: 45GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$A_1 = 0,75$ $A_2 = 0,67$					
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGAREAREA M ²						
	5	7	10	15	20	35	
0	0.28	0.35	0.39	0.44	0.46	0.51	
225	0.28	0.40	0.49	0.56	0.60	0.65	
440	0.28	0.40	0.51	0.59	0.65	0.72	
665	0.28	0.40	0.53	0.61	0.67	0.75	
1300	0.28	0.40	0.57	0.67	0.73	0.81	
3000	0.28	0.40	0.57	0.84	0.90	0.97	

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$A_1 = 0,87$ $A_2 = 0,80$					
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÅNGAREAREA M ²						
	5	7	10	15	20	35	
0	0.33	0.38	0.42	0.46	0.49	0.55	
225	0.35	0.46	0.53	0.59	0.63	0.68	
440	0.35	0.48	0.55	0.64	0.67	0.74	
665	0.35	0.49	0.58	0.66	0.70	0.79	
1300	0.35	0.49	0.64	0.72	0.76	0.85	
3000	0.35	0.49	0.69	0.98	0.92	1.00	

TAB. 7.6. (forts.)

LATITUD:60 GRADER NCRR	MÄRKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20	SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON:0.10	ANTAL GLAS:2
YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER		ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: A1	
HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER		ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: A2	
REFLEKTORNS LUTNING: 0 GRADER	SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD:0.30	VINDHASTIGHET: 5M/S	
REFLEKTORNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD:1.00		DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45GRADER C	
REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD:0.50			
REFLEKTORNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD:0.70			
DIREKT-DIFFUS:C.10	DIFFUS-DIFFUS:0.80		

FÖRSÖRJNINGSGRADER A1 = 0,75 A2 = 0,67							FÖRSÖRJNINGSGRADER A1 = 0,87 A2 = 0,80						
VÄRME- SOLFÄNGARAREAN M2							VÄRME- SOLFÄNGARAREAN M2						
LAGER	5	7	10	15	20	35	LAGER	5	7	10	15	20	35
KWH							KWH						
0	0.33	0.38	0.42	0.46	0.49	0.54	0	0.36	0.41	0.45	0.49	0.51	0.57
225	0.34	0.46	0.54	0.60	0.63	0.67	225	0.41	0.50	0.57	0.62	0.65	0.70
440	0.34	0.47	0.56	0.64	0.67	0.74	440	0.41	0.52	0.60	0.66	0.70	0.76
665	0.34	0.47	0.58	0.67	0.70	0.78	665	0.41	0.55	0.62	0.69	0.73	0.81
1300	0.34	0.47	0.64	0.73	0.76	0.84	1300	0.41	0.57	0.68	0.75	0.79	0.87
3000	0.34	0.47	0.67	0.89	0.92	1.00	3000	0.41	0.57	0.82	0.91	0.95	1.00

7.5.5 Antal glas och absorbatorns emissionsfaktor för långvågig strålning

Väljs glasning med ett glas i stället för två glas blir den absorberade strålningsenergin större men vanligen väger detta inte upp de samtidigt ökade termiska förlusterna. Detta accentueras då glasningen består av järnfrött och antireflexbehandlat glas, då drifttemperaturen ökas eller då emissionsfaktorn för långvågig strålning ges större värde. En plan reflektor framför solfångaren minskar denna verkan till en del men innebär samtidigt en ytterligare kostnad som ska dras ifrån besparingen för ett glas.

Kostnaden för vissa selektivt svarta absorbatorytor är ungefär samma som för en god målningsbehandling med svart färg. Skillnaden mellan termiska förluster från en selektivt svart resp. svartmålad absorbatoryta ökar med ökande drifttemperatur. Betydelsen av antalet glas och absorbatorns emissionsfaktor för långvågig strålning framgår av TAB. 7.7. Drifttemperaturen är här antagen

till 45°C. Temperaturberoendet framgår genom jämförelse mellan TAB. 7.7 och i nästa avsnitt TAB. 7.8.

TAB. 7.7. *Inverkan på försörjningsgraden av antalet glas och absorbatorns emissionsfaktor för långvågig strålning.*

LATITUD:60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER
HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNENS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2
ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.75
ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.67

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.28	0.35	0.39	0.44	0.46	0.51
225	0.28	0.40	0.49	0.56	0.60	0.65
440	0.28	0.40	0.51	0.59	0.65	0.72
665	0.28	0.40	0.53	0.61	0.67	0.75
1300	0.28	0.40	0.57	0.67	0.73	0.81
3000	0.28	0.40	0.57	0.84	0.90	0.97

LATITUD:60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER
HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.42	0.46	0.49	0.55
225	0.35	0.46	0.53	0.59	0.63	0.68
440	0.35	0.48	0.55	0.64	0.67	0.74
665	0.35	0.47	0.58	0.66	0.70	0.79
1300	0.35	0.49	0.64	0.72	0.76	0.85
3000	0.35	0.49	0.69	0.80	0.92	1.00

LATITUD:60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER
HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNENS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:1
ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.82
ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.74

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.27	0.33	0.38	0.42	0.43	0.47
225	0.27	0.38	0.47	0.55	0.58	0.63
440	0.27	0.38	0.49	0.57	0.63	0.69
665	0.27	0.38	0.52	0.59	0.66	0.72
1300	0.27	0.38	0.55	0.66	0.72	0.78
3000	0.27	0.38	0.55	0.82	0.88	0.94

SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNENS EPSILON: ϵ ANTAL GLAS:2
ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.87
ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.80

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.29	0.35	0.39	0.43	0.45	0.48
225	0.30	0.42	0.49	0.56	0.60	0.65
440	0.30	0.42	0.51	0.60	0.65	0.72
665	0.30	0.42	0.54	0.62	0.67	0.74
1300	0.30	0.42	0.60	0.68	0.73	0.80
3000	0.30	0.42	0.60	0.84	0.89	0.96

TAB. 7.7. (forts.)

LATITUD:60 GRADER NGRR MARKENS REFLEXIONSFÄKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

SOLFÄNGAREN: ABSORBERENS EPSILON: ϵ ANTAL GLAS:1
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.90
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.84
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.35	0.39	0.43	0.45	0.49
225	0.32	0.43	0.50	0.57	0.60	0.65
440	0.32	0.44	0.52	0.60	0.65	0.72
665	0.32	0.44	0.55	0.63	0.68	0.75
1300	0.32	0.44	0.61	0.69	0.74	0.81
3000	0.32	0.44	0.63	0.85	0.90	0.97

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.23	0.29	0.34	0.37	0.39	0.42
225	0.23	0.32	0.42	0.49	0.54	0.59
440	0.23	0.32	0.44	0.52	0.56	0.64
665	0.23	0.32	0.46	0.54	0.59	0.66
1300	0.23	0.32	0.46	0.60	0.65	0.72
3000	0.23	0.32	0.46	0.69	0.81	0.88

LATITUD:60 GRADER NGRR MARKENS REFLEXIONSFÄKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER
 REFLEKTORNS LUTNING: 0 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD:0.30
 REFLEKTORNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD:1.00
 REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD:0.50
 REFLEKTORNS REFLEXIONSFÄKTORER: DIREKT-RIKTAD:0.70
 DIREKT-DIFFUS:0.10 DIFFUS-DIFFUS:0.80

SOLFÄNGAREN: ABSORBERENS EPSILON: ϵ ANTAL GLAS:2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.36	0.41	0.45	0.49	0.51	0.57
225	0.41	0.50	0.57	0.62	0.65	0.70
440	0.41	0.52	0.60	0.66	0.70	0.76
665	0.41	0.55	0.62	0.69	0.73	0.81
1300	0.41	0.57	0.68	0.75	0.79	0.87
3000	0.41	0.57	0.82	0.91	0.95	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.34	0.38	0.42	0.45	0.47	0.51
225	0.36	0.47	0.54	0.60	0.63	0.67
440	0.36	0.49	0.57	0.65	0.68	0.73
665	0.36	0.50	0.59	0.67	0.70	0.78
1300	0.36	0.50	0.65	0.73	0.76	0.84
3000	0.36	0.50	0.72	0.89	0.92	1.00

TAB. 7.7. (forts.)

LATITUD:60 GRADER NORR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20

YTANS LUTNING:7C GRADER,VÄND MOT SÖDER

HORISONTAVSKÄRHNING: 0 GRADER

REFLEKTORNS LUTNING: 0 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD:0.30

REFLEKTORNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD:1.00

REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD:0.50

REFLEKTORNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD:0.70

DIREKT-DIFFUS:0.10 DIFFUS-DIFFUS:0.80

SOLFÄNGAREN: ABSORBTORNS EPSILON: ϵ ANTAI GLAS:1

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÄLNING:0.90

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÄLNING:0.84

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- | SOLFÄNGARAREA M2

LAGER	5	7	10	15	20	35
KWH						
0	0.35	0.39	0.42	0.46	0.47	0.52
225	0.38	0.48	0.55	0.60	0.63	0.67
440	0.38	0.50	0.58	0.65	0.68	0.74
665	0.38	0.52	0.60	0.67	0.70	0.78
1300	0.38	0.53	0.66	0.73	0.76	0.84
3000	0.38	0.53	0.76	0.90	0.93	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- | SOLFÄNGARAREA M2

LAGER	5	7	10	15	20	35
KWH						
0	0.28	0.34	0.37	0.40	0.42	0.44
225	0.29	0.40	0.49	0.55	0.58	0.62
440	0.29	0.40	0.51	0.59	0.63	0.68
665	0.29	0.40	0.53	0.61	0.65	0.71
1300	0.29	0.40	0.58	0.67	0.71	0.77
3000	0.29	0.40	0.58	0.83	0.87	0.93

7.5.6 Drifttemperatur

De termiska förlusterna från solfångaren beror av solfångarens värmeförlustkoefficient (k -värde) och drifttemperatur (för given utelufttemperatur). Ju högre drifttemperatur desto större är de termiska förlusterna men om k -värdet är lågt ändras inte vid en höjning av drifttemperaturen de termiska förlusterna i absoluta mått så mycket även om den relativa förändringen är stor. Med andra ord är solfångare med ett glas känsligare för ändringar av drifttemperaturen än solfångare med två glas. På samma sätt är solfångare med svartmålad absorbatoryta känsligare än solfångare med selektivt svart absorbatoryta. De termiska förlusterna är oberoende av mängden absorberad strålning. Ett tillskott av absorberad strålning genom en mera transparent glasning eller med en plan reflektor utgör alltså ett rent nettotillskott av energi och därmed minskas betydelsen av de termiska förlusterna. Förhållandena framgår genom jämförelse av TAB. 7.7 (drifttemperatur 45°C) och TAB. 7.8 (drifttemperatur 90°C).

TAB. 7.8. Försörjningsgrader vid drifttemperaturen 90°C .

LATITUD: 60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXICASFAKTOR: 0.20
 YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER
 HÖRISONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

SOLFÅNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON: ϵ ANTAL GLAS: 2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÅNGAREN: 90GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$\epsilon = 0,1$					
VÄRME- LAGER	SOLFÅNGAREAREA M ²	5	7	10	15	20	35
KWH							
0	0.24	0.31	0.36	0.39	0.42	0.44	
225	0.24	0.33	0.45	0.52	0.56	0.62	
440	0.24	0.33	0.47	0.55	0.60	0.67	
665	0.24	0.33	0.47	0.57	0.62	0.70	
1300	0.24	0.33	0.47	0.63	0.66	0.76	
3000	0.24	0.33	0.47	0.71	0.85	0.92	

FÖRSÖRJNINGSGRADER		$\epsilon = 0,9$					
VÄRME- LAGER	SOLFÅNGAREAREA M ²	5	7	10	15	20	35
KWH							
0	0.14	0.20	0.27	0.33	0.35	0.38	
225	0.14	0.20	0.28	0.41	0.47	0.53	
440	0.14	0.20	0.28	0.43	0.49	0.58	
665	0.14	0.20	0.28	0.43	0.51	0.60	
1300	0.14	0.20	0.28	0.43	0.57	0.66	
3000	0.14	0.20	0.28	0.43	0.57	0.82	

TAB. 7.8. (forts.)

LATITUD: 60 GRADER NORR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20
 YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.17	0.23	0.30	0.34	0.36	0.40
225	0.17	0.23	0.33	0.44	0.49	0.55
440	0.17	0.23	0.33	0.46	0.52	0.60
665	0.17	0.23	0.33	0.49	0.54	0.63
1300	0.17	0.23	0.33	0.50	0.60	0.69
3000	0.17	0.23	0.33	0.50	0.67	0.85

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATERNS EPSILON: ϵ ANTAI GLAS: 1
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.50
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.84
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 90GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.16
225	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.20
440	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.20
665	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.20
1300	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.20
3000	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.20

LATITUD: 60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20
 YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER
 REFLEKTORNENS LUTNING: 0 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD: 0.30
 REFLEKTORNENS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD: 1.00
 REFLEKTORNENS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD: 0.50
 REFLEKTORNENS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD: 0.70
 DIREKT-DIFFUS: 0.10 DIFFUS-DIFFUS: 0.80

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.29	0.35	0.39	0.42	0.44	0.45
225	0.29	0.41	0.51	0.57	0.60	0.64
440	0.29	0.41	0.53	0.62	0.65	0.70
665	0.29	0.41	0.55	0.64	0.67	0.74
1300	0.29	0.41	0.59	0.70	0.73	0.80
3000	0.29	0.41	0.59	0.86	0.90	0.97

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATERNS EPSILON: ϵ ANTAI GLAS: 2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 90GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.20	0.27	0.34	0.37	0.39	0.42
225	0.20	0.27	0.39	0.50	0.54	0.59
440	0.20	0.27	0.39	0.52	0.56	0.64
665	0.20	0.27	0.39	0.54	0.60	0.66
1300	0.20	0.27	0.39	0.59	0.66	0.72
3000	0.20	0.27	0.39	0.59	0.78	0.88

TAB. 7.8. (forts.)

LATITUD: 60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20 SOLFÄNGAREN: ABSORBERATÖRNS EPSILON: ϵ ANTAL GLAS: 1
 YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.90
 HORIZONTAVSKÄRMNING: 0 GRADER ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.84
 REFLEKTÖRNS LUTNING: 0 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD: 0.30 VINDHASTIGHET: 5M/S
 REFLEKTÖRNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD: 1.00 DRIFTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 90GRADER C
 REFLEKTÖRNS LÅNGD/SOLFÄNGARENS BREDD: 0.50
 REFLEKTÖRNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD: 0.70
 DIREKT-DIFFUS: 0.10 DIFFUS-DIFFUS: 0.80

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,1$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREÅ M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.22	0.30	0.35	0.38	0.40	0.43
225	0.22	0.31	0.44	0.52	0.55	0.60
440	0.22	0.31	0.45	0.55	0.60	0.65
665	0.22	0.31	0.45	0.57	0.62	0.67
1300	0.22	0.31	0.45	0.63	0.68	0.73
3000	0.22	0.31	0.45	0.67	0.84	0.90

FÖRSÖRJNINGSGRADER $\epsilon = 0,9$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREÅ M2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.07	0.09	0.13	0.19	0.23	0.30
225	0.07	0.09	0.13	0.20	0.27	0.42
440	0.07	0.09	0.13	0.20	0.27	0.45
665	0.07	0.09	0.13	0.20	0.27	0.47
1300	0.07	0.09	0.13	0.20	0.27	0.47
3000	0.07	0.09	0.13	0.20	0.27	0.47

7.5.7 Horisontavskärmning

I tätorter kan horisontavskärmning knappast undvikas. Även i glesområden måste man många gånger räkna med horisontavskärmning p.g.a. nivåskillnader i omgivningen och skogsridåer. Horisontavskärmningen kan vara mycket olikformigt fördelad längs horisonten men konsekvenskerna av horisontavskärmningen från solenergisynpunkt kan ändå uppskattas med godtagbar säkerhet om man antar en avskärmning till konstant höjdinkel längs hela horisonten. Vid en horisontavskärmning av 10° över horisonten avskärmas den direkta solstrålningen i det närmaste helt under tiden november-januari på latituden 60° N. Årsförsörjningsgraden påverkas dock endast till mindre grad av detta så som framgår av TAB. 7.9 eftersom instrålningen under vintern utan horisontavskärmning är så liten.

TAB. 7.9. Inverkan av horisontavskärmning på försörjningsgraden.

LATITUD: 60 GRADER NCR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20

YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER

HORISONTAVSKÄRMNING: h_a GRADER

SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.87

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.80

VINDHASTIGHET: 5 M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $h_a = 0^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.33	0.38	0.42	0.46	0.49	0.55
225	0.35	0.46	0.53	0.59	0.63	0.68
440	0.35	0.48	0.55	0.64	0.67	0.74
665	0.35	0.49	0.58	0.66	0.70	0.79
1300	0.35	0.49	0.64	0.72	0.76	0.85
3000	0.35	0.49	0.69	0.88	0.92	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $h_a = 10^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.31	0.36	0.40	0.42	0.44	0.47
225	0.33	0.44	0.50	0.55	0.57	0.59
440	0.33	0.46	0.53	0.60	0.62	0.65
665	0.33	0.46	0.55	0.62	0.64	0.69
1300	0.33	0.46	0.61	0.68	0.71	0.75
3000	0.33	0.46	0.66	0.84	0.87	0.92

LATITUD: 60 GRADER NCR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20

YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER

HORISONTAVSKÄRMNING: h_a GRADER

REFLEKTORNS LUTNING: 0 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD: 0.30

REFLEKTORNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD: 1.00

REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD: 0.50

REFLEKTORNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD: 0.70
DIREKT-DIFFUS: 0.10 DIFFUS-DIFFUS: 0.80

SOLFÄNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.87

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.80

VINDHASTIGHET: 5 M/S

DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER $h_a = 0^\circ$

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.36	0.41	0.45	0.49	0.51	0.57
225	0.41	0.50	0.57	0.62	0.65	0.70
440	0.41	0.52	0.60	0.66	0.70	0.76
665	0.41	0.55	0.62	0.69	0.73	0.81
1300	0.41	0.57	0.68	0.75	0.79	0.87
3000	0.41	0.57	0.82	0.91	0.95	1.00

FÖRSÖRJNINGSGRADER $h_a = 10^\circ$

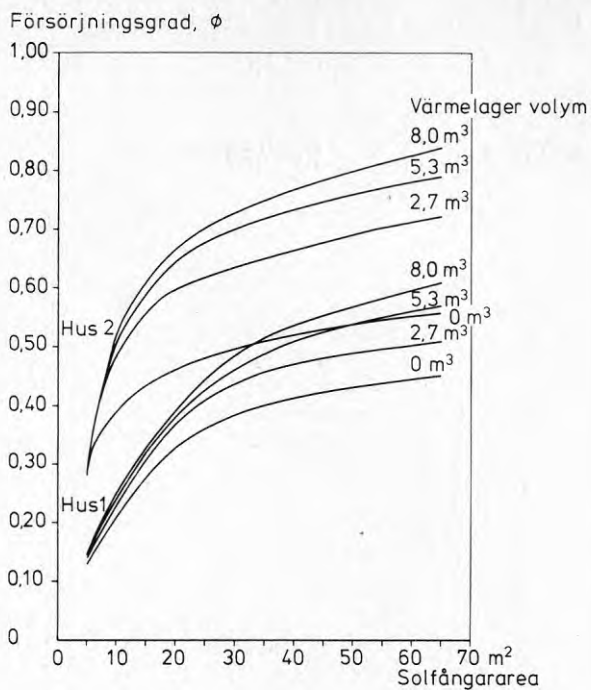
VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGARAREAN M ²					
	5	7	10	15	20	35
0	0.35	0.39	0.42	0.44	0.45	0.49
225	0.39	0.48	0.54	0.57	0.58	0.59
440	0.39	0.50	0.57	0.62	0.64	0.65
665	0.39	0.52	0.59	0.64	0.66	0.70
1300	0.39	0.55	0.65	0.70	0.72	0.76
3000	0.39	0.55	0.78	0.86	0.89	0.92

7.5.8 Två olika energibehov.
1960-talshuset och det
värmesnåla huset

Försörjningsgraden blir för en bestämd storlek på solvärmesystemet helt naturligt högre för det värmesnåla huset än för 1960-talshuset. Detta förhållande kvarstår även om solvärmesystemens dimensioner antas proportionella mot de respektive värmebehoven beroende på att 1960-talshusets värmebehov är mera koncentrerat än det värmesnåla husets till den mörka årstiden. Representativa exempel på försörjningsgradens variation med solfångararean och värmelagringsvolymer salthydrat framgår av FIG. 7.8. Beräknade månadsvisa försörjningsgrader finns i TAB. 7.10.

I motsats till att för en bestämd storlek på solvärmesystemet försörjningsgraden blir lägre för 1960-talshuset blir mängden tillgodogjord solenergi större än för det värmesnåla huset. Det kan då synas som att solvärmesystemet är ekonomiskt fördelaktigare i 1960-talshuset men detta är sannolikt felaktigt eftersom det återstår ett betydande energibehov att försörja på annat vis. Om sättet för denna kompletterande energiförsörjning anses vara acceptabelt torde rent ekonomiska överväganden tala för 100 % försörjning på detta vis. I annat fall återstår endast energibesparande åtgärder varefter ekonomin för solvärmesystemet blir likartad som för det här antagna värmesnåla huset. Behoven av kompletterande energi för de två husen för varierande solfångarareor och värmelagringsvolymer salthdrat framgår av FIG. 7.9.

De här beräknade försörjningsgraderna för året kan även utnyttjas i andra fall under förutsättning att årsvärmebehovets fördelning på månaderna överensstämmer med någon av de här antagna fördelningarna, se FIG. 7.10.



Beräkningsdata:

- ort: Stockholm, latitud $60^{\circ}N$
- horisontavskärmning: 0°
- markens reflexionsfaktor: 0,2
- vindhastighet. 5 m/s
- solfångarens lutning: 70° vänd mot söder
- antal glas: 2, normal kvalitet
- absorbatorns emissionsfaktor för långvågig strålning: 0,1
- drifttemperatur: $45^{\circ}C$

FIG. 7.8. Försörjningsgrader (årsvärden) för 1960-talshuset (hus 1, årsvärmebehov 21,4 MWh) och det värmesnåla huset (hus 2, årsvärmebehov 10,5 MWh) med olika solfångarareor och värmelagringsvolymmer av salthydrat (utöver volymen för endast dygnsutjämnning, ca 1,2 m^3 för hus 1, ca 0,5 m^3 för hus 2).

TAB. 7.10. Beräknade månadsvisa försörjningsgrader för A) 1960-talshuset (hus 1), B) det värmesnåla småhuset (hus 2) med olika solfångarareor och värmelagringsvolymmer av salthydrat (utöver volymen för endast dygnsutjämnning). Beräkningsdata, se FIG. 7.8.

A) 1960-tals hus, årsvärmebehov 21,4 MWh

Månad	A = 5 m ²				A = 7 m ²				A = 10 m ²				A = 15 m ²			
	L:0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³
Jan.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06
Feb.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15
Mars	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,16	0,16	0,16	0,23	0,23	0,23	0,23	0,34	0,34	0,34	0,34
Apr.	0,18	0,18	0,18	0,18	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,35	0,53	0,53	0,53	0,53
Maj	0,29	0,29	0,29	0,29	0,41	0,41	0,41	0,41	0,58	0,58	0,58	0,58	0,73	0,87	0,87	0,87
Juni	0,76	0,91	0,91	0,91	0,78	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,83	1,00	1,00	1,00
Juli	0,77	0,93	0,93	0,93	0,78	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,83	1,00	1,00	1,00
Aug.	0,72	0,86	0,86	0,86	0,73	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	1,00	1,00	0,76	1,00	1,00	1,00
Sep.	0,22	0,22	0,22	0,22	0,31	0,38	0,54	0,58	0,45	0,52	0,68	0,85	0,61	0,75	0,91	1,00
Okt.	0,09	0,09	0,09	0,09	0,12	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,17	0,17	0,26	0,26	0,26	0,31
Nov.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06
Dec.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Medelvärde	0,13	0,14	0,14	0,14	0,16	0,18	0,19	0,19	0,21	0,23	0,24	0,25	0,28	0,31	0,32	0,33

Månad	A = 20 m ²				A = 35 m ²				A = 50 m ²				A = 65 m ²			
	L:0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³
Jan.	0,08	0,08	0,08	0,08	0,14	0,14	0,14	0,14	0,19	0,19	0,19	0,19	0,25	0,25	0,25	0,25
Feb.	0,19	0,19	0,19	0,19	0,32	0,34	0,34	0,34	0,41	0,49	0,49	0,49	0,42	0,51	0,59	0,63
Mars	0,45	0,45	0,45	0,45	0,56	0,66	0,74	0,79	0,56	0,66	0,74	0,83	0,56	0,66	0,74	0,83
Apr.	0,64	0,70	0,70	0,70	0,64	0,76	0,88	1,00	0,65	0,77	0,88	1,00	0,65	0,77	0,88	1,00
Maj	0,74	0,90	1,00	1,00	0,76	0,92	1,00	1,00	0,78	0,94	1,00	1,00	0,80	0,96	1,00	1,00
Juni	0,86	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Juli	0,87	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Aug.	0,78	1,00	1,00	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00
Sep.	0,64	0,81	0,97	1,00	0,64	0,81	0,97	1,00	0,64	0,81	0,97	1,00	0,65	0,81	0,97	1,00
Okt.	0,34	0,34	0,34	0,43	0,50	0,60	0,60	0,69	0,50	0,61	0,72	0,84	0,50	0,61	0,72	0,84
Nov.	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,13	0,13	0,13	0,19	0,19	0,19	0,19	0,22	0,24	0,24	0,24
Dec.	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08
Medelvärde	0,33	0,37	0,38	0,39	0,40	0,46	0,49	0,52	0,43	0,49	0,54	0,57	0,45	0,51	0,57	0,61

TAB. 7.10. (forts.)

B) Värmesnålt hus, årsvärmebehov 10,5 MWh

Månad	A = 5 m ²				A = 7 m ²				A = 10 m ²				A = 15 m ²			
	L: 0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³
Jan.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,14	0,14	0,14	0,14
Feb.	0,12	0,12	0,12	0,12	0,16	0,16	0,16	0,16	0,23	0,23	0,23	0,23	0,32	0,35	0,35	0,35
Mars	0,26	0,26	0,26	0,26	0,36	0,36	0,36	0,36	0,48	0,52	0,52	0,52	0,56	0,77	0,77	0,77
Apr.	0,39	0,39	0,39	0,39	0,54	0,55	0,55	0,55	0,64	0,79	0,79	0,79	0,64	0,91	1,00	1,00
Maj	0,65	0,65	0,65	0,65	0,73	0,91	0,91	0,91	0,74	1,00	1,00	1,00	0,76	1,00	1,00	1,00
Juni	0,68	0,68	0,68	0,68	0,76	0,95	0,95	0,95	0,78	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00
Juli	0,69	0,70	0,70	0,70	0,77	0,98	0,98	0,98	0,78	1,00	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00
Aug.	0,63	0,65	0,65	0,65	0,72	0,91	0,91	0,91	0,73	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00
Sep.	0,50	0,50	0,50	0,50	0,64	0,70	0,70	0,70	0,64	1,00	1,00	1,00	0,64	1,00	1,00	1,00
Okt.	0,19	0,19	0,19	0,19	0,27	0,27	0,27	0,27	0,37	0,40	0,64	0,90	0,49	0,59	0,84	1,00
Nov.	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,13	0,13	0,13	0,21
Dec.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
Medel- värde	0,28	0,28	0,28	0,28	0,35	0,40	0,40	0,40	0,39	0,49	0,51	0,53	0,44	0,56	0,59	0,61

Månad	A = 20 m ²				A = 35 m ²				A = 50 m ²				A = 65 m ²			
	L: 0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³	0 m ³	2,7 m ³	5,3 m ³	8,0 m ³
Jan.	0,19	0,19	0,19	0,19	0,29	0,32	0,32	0,32	0,37	0,46	0,46	0,46	0,39	0,57	0,60	0,60
Feb.	0,39	0,46	0,46	0,46	0,42	0,62	0,81	0,81	0,42	0,62	0,81	1,00	0,42	0,62	0,81	1,00
Mars	0,56	0,77	0,97	1,00	0,56	0,77	0,97	1,00	0,56	0,77	0,97	1,00	0,56	0,77	0,97	1,00
Apr.	0,65	0,91	1,00	1,00	0,65	0,92	1,00	1,00	0,66	0,93	1,00	1,00	0,67	0,94	1,00	1,00
Maj	0,77	1,00	1,00	1,00	0,82	1,00	1,00	1,00	0,87	1,00	1,00	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00
Juni	0,83	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Juli	0,83	1,00	1,00	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Aug.	0,76	1,00	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00
Sep.	0,64	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	1,00	1,00
Okt.	0,50	0,76	1,00	1,00	0,50	0,76	1,00	1,00	0,50	0,76	1,00	1,00	0,50	0,76	1,00	1,00
Nov.	0,17	0,17	0,17	0,39	0,26	0,30	0,30	0,52	0,32	0,43	0,43	0,64	0,32	0,53	0,56	0,77
Dec.	0,06	0,06	0,06	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,20	0,20	0,20
Medel- värde	0,46	0,60	0,65	0,67	0,51	0,65	0,72	0,75	0,54	0,69	0,76	0,80	0,56	0,72	0,79	0,84

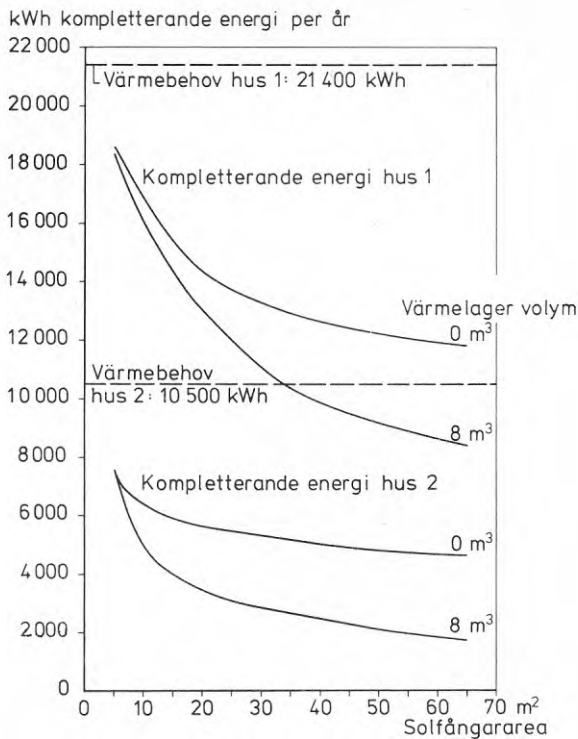


FIG. 7.9. Erforderlig mängd kompletterande energi för 1960-talshuset (hus 1) och det värmesnåla huset (hus 2) med olika solfångarareor och värmelagringsvolym av salthydrat (utöver volymen för endast dygnsutjämnning, ca $1,2 \text{ m}^3$ för hus 1, ca $0,5 \text{ m}^3$ för hus 2). Beräkningsdata, se FIG. 7.8.

I FIG. 7.11 ges försörjningsgraden för året för

- varierade relativa solfångarareor
- varierade relativa volymer salthydrat för värmelagring utöver vad som behövs för ett dygns värmebehov. Volymen för ett dygns maximala värmebehov kan beräknas utgående från att värmelagringskapaciteten 100 kWh motsvarar en volym av ca $1,2 \text{ m}^3$ salthydrat
- två olika relativa fördelningar av årsvärmebehovet på månaderna.

Andel av årsvärmebehovet

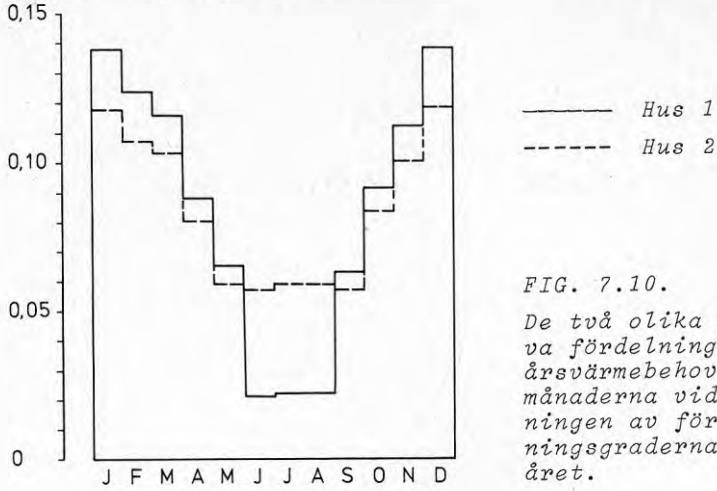


FIG. 7.10.

De två olika relativa fördelningarna av årsvärmebehovet på månaderna vid beräkningen av försörjningsgraderna för året.

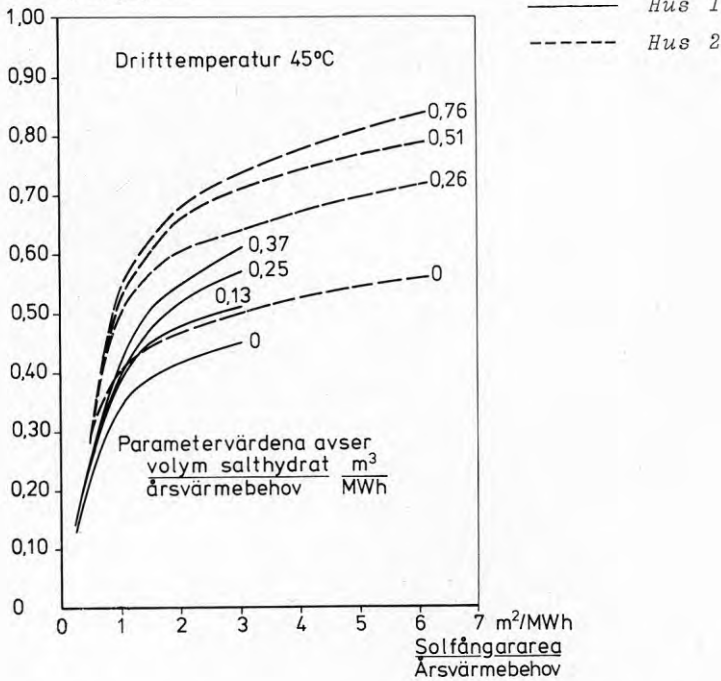
Försörjningsgrad, ϕ 

FIG. 7.11. Försörjningsgraden för året ϕ för varierande solfångararea/årsvärmebehov och värmelagringsvolym/årsvärmebehov. De relativa fördelningar av årsvärmebehovet på månaderna som förutsatts här, framgår av FIG. 7.10.

7.5.9 Investeringskostnader för opti- malt dimensionerat solvärmesystem

Investeringskostnaden för ett solvärmesystem omfattar solfångare, värmelagringsenhet, ev. reflektor och övrig kringutrustning som rör, ventiler, pumpar, reglerutrustning m.m. Installationsutrustning som kan behövas utöver ovan nämnda har i allmänhet inget specifikt samband med solenergi och bör därför inte tas med i investeringskostnaderna för solvärmesystemet. Möjligen bör kostnaden för ett värmedistributionssystem för vatten adderas till solvärmesystemets övriga kostnader vid jämförelse med elvärme eller luftburen värme.

Man finner snabbt vid en beräkning att i de allra flesta fall blir solenergi dyrare än konventionell energi i dagens läge. En optimering av ett solvärmesystem, så som visas prov på nedan, behöver emellertid inte alltid innebära att söka den totala lösning på energiförsörjningsproblemet som ger lägsta möjliga energikostnad i dagsläget. Ett givet krav kan i stället vara att man vid optimeringen ska ta fasta på bivillkoret att helt eller delvis ersätta konventionella energikällor med solvärmesystem. Med andra ord kan man vid planeringen av byggnaden fastställa en önskad försörjningsgrad till en maximalt accepterad kostnad och därefter söka den konstruktionsutförning av byggnaden och solvärmesystemet som till lägsta kostnad ger den önskade försörjningsgraden. Hur försörjningsgraden och den maximalt accepterade kostnaden ska väljas kan vara svårt att motivera med privatekonomiska termer. Det torde vara en uppgift för samhället att komma med allmänna rekommendationer i denna fråga eftersom frågan kanske berör mera ett samhällsintresse än ett enskilt.

En intressant fråga är avvägningen mellan investering i energibesparande åtgärder i huset och investering för energiproduktion. För en fastställd försörjningsgrad kan man beräkna marginalkostnaden för energin om t.ex. solvärmesystemet görs lite större och husets vär-

mebehov samtidigt ökas genom mindre isolering, slopan-
de av värmeåtervinning ur ventilationsluft etc. Man
kan raskt konstatera att en ökning av uppvärmningsbeho-
vet faller till största delen inom vintermånaderna
samtidigt som solinstrålningen är liten. Eftersom
varmvattenbehovet förutsetts vara oförändrat och vär-
melagringskapaciteten inte är dimensionerad för sä-
songslagring sjunker försörjningsgraden trots att sol-
värmesystemets dimensioner i förhållande till husets
årsenergibehov behålls oförändrade. En marginell ökning
av solvärmesystemets dimensioner medför således att
både ökningen av tillgodogjord energi och ökningen i
investeringskostnad blir mindre (om man utgår från en
fast investeringskostnad) i förhållande till systemets
ökade dimensioner än den ursprungliga tillgodogjorda
energin och investeringskostnaden i förhållande till
de ursprungliga dimensionerna. Den marginella energi-
kostnaden kan alltså bli både lägre och högre än den
genomsnittliga (FIG. 7.12). Med ett litet värmelager
gäller vanligen det sistnämnda. Om man betraktar den
marginella energikostnaden för byggnadstekniska bespa-
ringsåtgärder t.ex. tjockare isolering i förhållande
till vad som är vanligt i dagens läge finner man att
dessa åtgärder oftast är lönsamma redan med dagens ener-
gipriser. Därtill kommer fördelar med lång livslängd och
praktiskt taget obefintliga marginella underhållskostnader.

Marginella energikostnaden för installationstekniska
åtgärder t.ex. värmeåtervinning ur ventilationsluft
förefaller vara väl konkurrenskraftiga i förhållande
till solenergin. I en sådan jämförelse är investerings-
kostnaden för värmeåtervinning relativt väl känd ef-
tersom tekniken tillämpas kommersiellt i bred skala
medan investeringskostnaden för solvärmesystem än så
länge bygger på optimistiska kalkyler för en framtida
bred tillämpning.

Slutsatsen av ovanstående resonemang är att med största
sannolikhet är det lönsammare att göra hus energisnåla
och investera i ett litet solvärmesystem än att söka

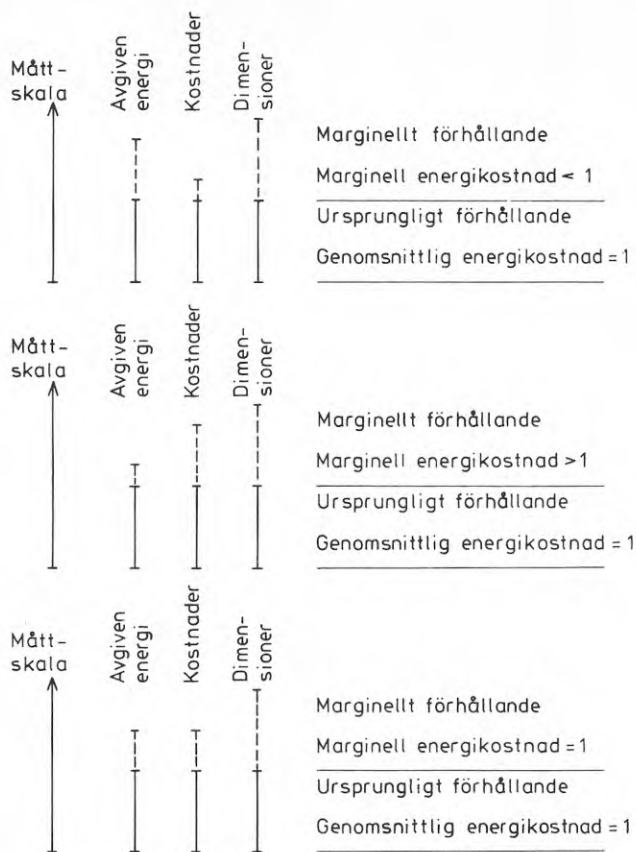


FIG. 7.12. Principfigur som illustrerar hur en marginell ökning av ett lokalt solvärmesystems dimensioner resulterar i en marginell energikostnad som kan vara såväl högre som lägre än den genomsnittliga energikostnaden.

producera mycket energi från ett större solvärmesystem till ett mera energikrävande hus. Detta illustreras längre fram i detta avsnitt i en jämförelse mellan kostnader för solenergin för 1960-talshuset och det energisnåla huset.

Om framtida lokala solvärmesystem kan utrustas med mera avancerade värmelager t.ex. destillationslager (kemisk värmepump) så att säsongslagring av värme blir praktiskt möjlig i vanliga hus (lagringsvolym ca 10 m^3)

ökar solvärmens konkurrenskraft eftersom man då har möjlighet att dimensionera för 100 % försörjningsgrad. En marginell ökning av solvärmesystemets dimensioner medför sannolikt då att den marginella energikostnaden blir lägre än den genomsnittliga. Trots denna effekt kan man i dag inte uttala sig om den marginella energikostnadsnivån för ett sådant solvärmesystem. Förmodligen kommer den nivån att ligga åtminstone högre än den marginella energikostnaden för de förutsatta byggnadstekniska besparingsåtgärderna i det energisnåla huset.

Här följer en grov uppskattning av *kostnaderna* för ett solvärmesystem bestående av solfångare, värmelager, eventuell reflektor och övrig kringutrustning vid en tänkt framtida *industriell massproduktion*.

Med ledning av de tidigare redovisade försörjningsgraderna för det värmesnåla huset med olika parametrar varierade har de fall valts ut som kan förväntas ge lägsta kostnader för vissa givna förutsättningar. Kostnaderna har erhållits på följande vis:

För ett givet fall med givna parametervärden har försörjningsgraden beräknats som funktion av solfångararean och värmelagringskapaciteten. För olika konstanta försörjningsgrader kan då kombinationer av solfångararea och värmelagringskapacitet erhållas och den kombination söks för varje försörjningsgrad som ger kostnadsminimum, se ett exempel i FIG. 7.13 och TAB. 7.14.

Antagna priser på solfångare, reflektor och värmelager är endast grova men rimliga uppskattningar. Priserna är så osäkra eftersom solvärmeutrustning ännu inte tillverkats och saluförts i några längre serier i Skandinavien. Därför är det också svårt att uppskatta vad smärre detaljförändringar, så som utbyte av två glas mot ett glas i solfångaren, innebär för priset.

Spekulationer kring detta har därför uteslutits här. Följande priser har antagits (vid 1976-77 års penningvärde):

- solfångare med två glas: 400 kr/m²
(se bl.a. Ringblom & Peterson, 1977)
- reflektor lagd på träpanel: 100 kr/m²
(t.ex. eloxerad blank aluminium lagd på träpanel)
- värmelager: ca 30-100 kr/kWh beroende på värmelagrets storlek, se TAB. 7.11 och 7.12.

Kostnaden för övrig kringutrustning kan grovt skattas till 3000-7000 kr tämligen oberoende av det lokala solvärmesystemets dimensioner. Här har antagits 5000 kr.

TAB. 7.11. Kostnad för vattentank.

Värme- lagrings- kapacitet utöver dygnsutj. kWh	Värme- lagrings- kapacitet inkl. ka- pacitet för dygns- utj. kWh. Värmesnålt hus	Volym vatten, m ³ å 58 kWh/m ³	Priser ^a kr/m ³ ·10 ⁻³	Investe- ringskost- nad kr·10 ⁻³	Investe- ringskost- nad kr/kWh
0	40	0,7	6	4,2	105
75	115	2,0	3,5	7,0	61
150	190	3,3	2,5	8,2	43
225	265	4,6	2,5	11,5	43
300	340	5,9	2,5	14,8	43
375	415	7,2	2,4	17,3	42
440	480	8,3	2,2	18,3	38
525	565	9,7	2,0	19,4	34
600	640	11,0	2,0	22,0	34
665	705	12,2	2,0	24,4	35

^a Priser enl. Solenergi för varmvattenberedning (Ringblom & Peterson, 1977).

TAB. 7.12. *Kostnad för värmelagring i salthydrat samt för varmvattenberedare.*

Värme- lagrings- kapacitet utöver dygnsutj. kWh	Värme- lagrings- kapacitet inkl. ka- pacitet för dygns- utj. kWh. Värmesnålt hus	Volym salt- hydrat, $m^3 \text{ } \ddot{a} \text{ } 83$ kWh/m^3	Priser ^a $kr/m^3 \cdot 10^{-3}$	Inves- terings- kostnad $kr \cdot 10^{-3}^a$	Inves- terings- kostnad inkl. varmvat- tenbere- dare 0,3 $m^3 \text{ } \ddot{a} \text{ } 2000$ kr	Inves- terings- kostnad kr/kWh
0	40	0,5	4,0	2,0	4,0	100
75	115	1,4	3,1	4,4	6,4	56
150	190	2,3	2,8	6,5	8,5	45
225	265	3,2	2,6	8,4	10,4	39
300	340	4,1	2,5	10,2	12,2	36
375	415	5,0	2,4	12,0	14,0	34
440	480	5,8	2,3	13,5	15,5	32
525	565	6,8	2,3	15,4	17,4	31
600	640	7,7	2,2	17,1	19,1	30
665	705	8,5	2,2	18,5	20,5	29

^a Saltet kostar ca $1000 \text{ kr}/m^3$. Behållare, värmeväxla-
re, fläktar, isolering m.m. kostar ung. prop. mot $V^{2/3}$
där V = volymen. Per m^3 fås då priset $1000 + 2400 V^{-1/3}$
kr och totalt $1000 V + 2400 V^{2/3}$. Konstanten 2400 är en
grov uppskattning.

Gemensamma data för nedan presenterade beräkningsfall
är:

- latitud: $60^\circ N$
- markens reflexionsfaktor: 0,2
- solfångarens lutning: 70° vänd mot söder
- vindhastighet 5 m/s
- antal glas: 2
- absorbatorns emissionsfaktor för långvågig strål-
ning: 0,1

För fall med reflektor:

- solfångarens höjd/bredd: 0,3
- reflektorns bredd/solfångarens bredd: 1,0
- reflektorns längd/solfångarens bredd: 0,5

$$\left. \begin{array}{l} \text{reflektorarea} \\ \text{solfångararea} \end{array} \right\} : 1,6$$

(kontrollberäkningar har gjorts som visar att det inte existerar något optimum för reflektorareor mellan 0 till 1,6 ggr solfångararean).

Data som skiljer de olika beräkningsfallen åt framgår av TAB. 7.13.

TAB. 7.13. Sammanställning av data som skiljer de olika beräkningsfallen åt.

Fall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h_a	0°	10°	0°	0°	10°	10°	0°	0°	10°	10°	10°	10°	10°
Reflektor	nej	nej	nej	nej	nej	nej	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
β_r	-	-	-	-	-	-	0°	0°	0°	0°	-10°	-10°	-10°
r_{DR}	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0
r_{Dd}	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7
r_{dd}	-	-	-	-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Glastyp	ng	ng	sg	sg	sg	sg	ng	sg	sg	sg	sg	sg	sg
θ_{DT}	45°C	45°C	45°C	90°C	45°C	90°C	45°C	45°C	45°C	90°C	45°C	90°C	45°C

Beteckningar:

h_a = horisontavskärmning, grader över horisonten

β_r = reflektorns lutning, grader

r_{DR} = reflektorns reflexionsfaktor för riktad reflexion av direkt infallande strålning

r_{Dd} = reflektorns reflexionsfaktor för diffus reflexion av direkt infallande strålning

r_{dd} = reflektorns reflexionsfaktor för diffus reflexion av diffus infallande strålning

ng = glas med normal järnhalt

sg = glas med försumbar järnhalt och antireflexbehandling

θ_{DT} = drifttemperatur i solfångaren, °C. Vid 45°C antas värmelagring i salthydrat och vid 90°C i vatten.

I FIG. 7.13 och TAB. 7.14 visas detaljerade beräkningar för fall 2 som ett exempel.

Vid värmelagring i vatten förutsätts vattentemperaturen variera mellan 45° och 90°C . Beräkningsmetoden förutsätter emellertid konstant drifttemperatur. I fallet med värmelagring i vatten erhålls ett beräkningsresultat på säkra sidan om temperaturen antas konstant 90°C . Som tidigare påpekats är en bra solfångares effektivitet inte så känslig för drifttemperaturen (FIG. 7.14). Därför

A: INSTÄLLNINGSBERÄKNING

LATITUD:60 GRADER NCRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:70 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTAVSKÄRMNING:10 GRADER

B: BERÄKNING AV INFÄNGAD SOLENERGI

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATORS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.75
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.67
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:45 GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER, ϕ	SOLFÄNGAREAREA, A_s , m^2					
	5	7	10	15	20	35
0	0.27	0.33	0.37	0.41	0.42	0.44
75	0.27	0.36	0.42	0.47	0.48	0.50
150	0.27	0.38	0.46	0.51	0.53	0.55
225	0.27	0.38	0.47	0.53	0.56	0.58
300	0.27	0.38	0.47	0.55	0.58	0.61
375	0.27	0.38	0.48	0.55	0.60	0.63
440	0.27	0.38	0.49	0.56	0.61	0.65
525	0.27	0.38	0.50	0.57	0.62	0.66
600	0.27	0.38	0.50	0.58	0.63	0.67
665	0.27	0.38	0.51	0.58	0.63	0.67
1300	0.27	0.38	0.54	0.64	0.69	0.73
3000	0.27	0.38	0.54	0.80	0.85	0.89

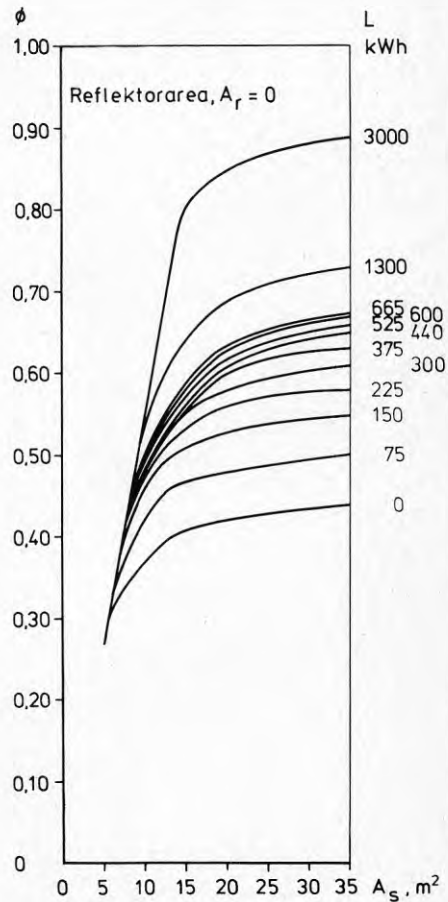


FIG. 7.13. Försörjningsgraden ϕ som funktion av solfångarearean A_s och värmelagringskapaciteten L för fall nr 2.

LATITUD: 60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXIONSFÄKTOR: 0.20

YTANS LUTNING: 60 GRADER, VÄND MOT SÖDER

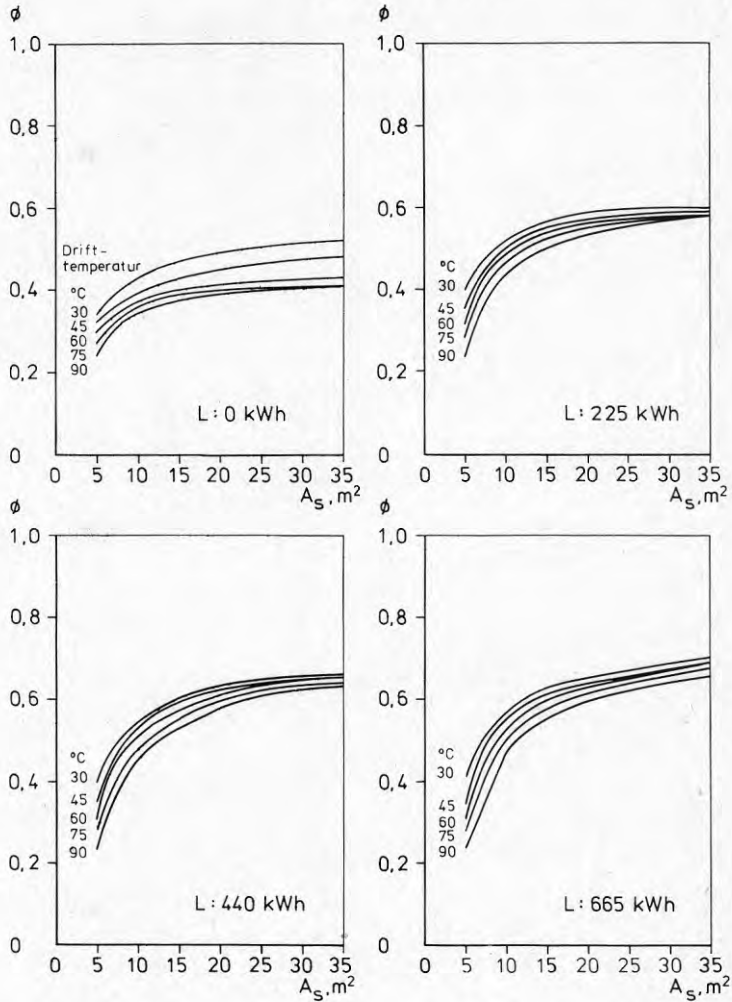
HÖRISONTAVSKÄRMNING: 10 GRADER

SOLFÅNGAREN: ABSORBATORNS EPSILON: 0.10 ANTAI GLAS: 2

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.87

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.80

VINDHASTIGHET: 5 M/S

 ϕ = försörjningsgraden A_s = solfångararea

L = värmelagringskapacitet utöver dygnslagring

FIG. 7.14. Försörjningsgrader vid olika konstanta drifttemperaturer. Som synes är drifttemperaturen 90°C ett bra antagande för solvärmesystem med värmelagring i vatten 45-90°C. Beräkningsresultatet är på säkra sidan utan någon större underskattning av prestanda.

utgör beräkningsresultatet inte heller någon större underskattning av försörjningsgraden. I fall då värmelagringskapaciteten är stor i förhållande till solfångararean eller då värmebehovet inklusive värmeförluster från värmelagret är stort i förhållande till solvärmesystemets dimensioner kan det hända att maximala drifttemperaturen aldrig når över 70 à 80°C. För sådana fall bör därför en lägre genomsnittlig drifttemperatur antas i beräkningar. Det som i första hand försummas genom antagandet om lägsta drifttemperatur 45°C är under vissa perioder förvärmning av tappvarmvattnet till en temperatur lägre än 45°C samt värmetillskott genom ofrivilligt värmeläckage från värmelagret då lagret har lägre temperatur än 45°C.

Man finner av kostnadsberäkningen bl.a. följande:

- kostnaden för värmelagret är den klart tyngsta kostnadsposten och slår igenom kraftigt i den ekonomiska kalkylen
- plana reflektorer är med antagna prisrelationer inte ekonomiska i lokala solvärmesystem men kostnadsdifferenserna är små mellan fallen med och utan reflektor.

I TAB. 7.15 har sammanställts de funna lägsta sammanlagda kostnaderna för solfångare, värmelager och i förekommande fall reflektor vid respektive försörjningsgrader för det värmesåla småhuset.

Samma kostnader som i TAB. 7.15 men uttryckta i kr/kWh solenergi finns i TAB. 7.16. I TAB. 7.17 finns den totala kostnaden för solenergin uträknad vari ingår kostnaden för övrig kringutrustning om 5000 kr. Annuiteten har antagits till 10 % vilket ungefär motsvarar 8 % ränta och 20 års avskrivningstid.

Resultatet återfinns även i FIG. 7.15. Man ser att det knappast går att komma under 0,30 kr/kWh.

Med förutsatta priser på systemkomponenter blir kostnaderna för system med saltvärmelagring lägre än med

TAB. 7.15. Lägsta sammanlagda kostnader för solfångare, värmelager och i förekommande fall reflektor. Beteckningar, se TAB. 7.13.

Fall	1	2	3	4	5	6	9 ^a	10 ^a
h_a	0°	10°	0°	0°	10°	10°	10°	10°
Glastyp	ng	ng	sg	sg	sg	sg	sg	sg
θ	45°C	45°C	45°C	90°C	45°C	90°C	45°C	90°C
ϕ :	K o s t n a d				1 0 ³ k r			
0,40	8,2	9,4	7,4	10,6	8,0	11,3	8,3	11,5
0,45	10,6	11,1	9,5	12,5	10,4	12,9	10,6	13,1
0,50	12,4	13,8	11,0	14,2	12,9	15,4	13,2	15,6
0,55	15,2	17,5	13,6	18,5	16,4	20,5	16,5	20,0
0,60	18,4	22,0	16,5	23,1	20,6	28,0	21,4	27,3
0,65	22,3	29,2	20,0	29,9	27,8	36,0	28,5	33,9
0,70	27,2	-	25,7	-	-	-	-	-
0,75	34,5	-	30,6	-	-	-	-	-

^a Med reflektor

TAB. 7.16. Lägsta sammanlagda kostnader för solfångare, värmelager och i förekommande fall reflektor uttryckta i kr/kWh. Annuitet 10 %. Beteckningar, se TAB. 7.13.

Fall	1	2	3	4	5	6	9 ^a	10 ^a
h_a	0°	10°	0°	0°	10°	10°	10°	10°
Glastyp	ng	ng	sg	sg	sg	sg	sg	sg
θ	45°C	45°C	45°C	90°C	45°C	90°C	45°C	90°C
ϕ :	K o s t n a d				k r / k W h			
0,40	0,195	0,224	0,176	0,252	0,190	0,269	0,198	0,275
0,45	0,224	0,235	0,201	0,265	0,220	0,273	0,224	0,277
0,50	0,236	0,263	0,210	0,270	0,246	0,293	0,251	0,297
0,55	0,263	0,303	0,236	0,320	0,284	0,355	0,286	0,346
0,60	0,292	0,349	0,262	0,367	0,327	0,444	0,340	0,433
0,65	0,327	0,428	0,293	0,438	0,407	0,528	0,418	0,497
0,70	0,370	-	0,350	-	-	-	-	-
0,75	0,438	-	0,389	-	-	-	-	-

^a Med reflektor

TAB. 7.17. Totalkostnad för solenergin, kr/kWh, då kringutrustningen kostar 5000 kr. Annuitet 10 %. Beteckningar, se TAB. 7.13.

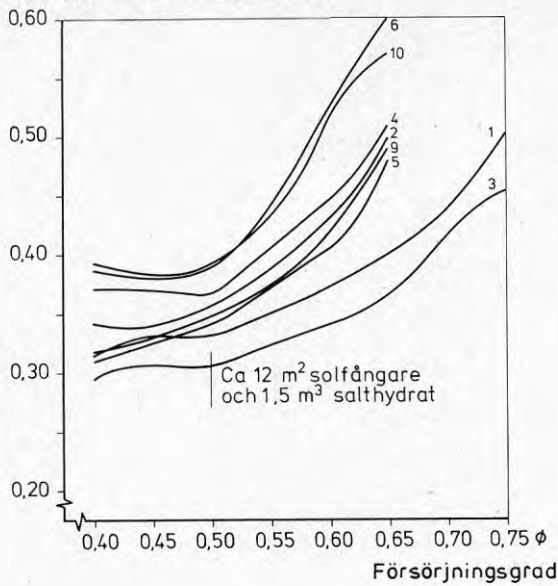
Fall	1	2	3	4	5	6	9 ^a	10 ^a
h_a	0°	10°	0°	0°	10°	10°	10°	10°
Glastyp	ng	ng	sg	sg	sg	sg	sg	sg
θ	45°C	45°C	45°C	90°C	45°C	90°C	45°C	90°C
ϕ :	K o s t n a d k r / k W h							
0,40	0,314	0,343	0,295	0,371	0,310	0,388	0,317	0,393
0,45	0,330	0,341	0,307	0,370	0,326	0,379	0,330	0,383
0,50	0,331	0,358	0,305	0,366	0,341	0,389	0,347	0,392
0,55	0,350	0,390	0,322	0,407	0,371	0,442	0,372	0,433
0,60	0,371	0,429	0,341	0,446	0,406	0,524	0,419	0,513
0,65	0,400	0,501	0,366	0,511	0,481	0,601	0,491	0,570
0,70	0,438	-	0,418	-	-	-	-	-
0,75	0,502	-	0,452	-	-	-	-	-

^a Med reflektor

vattenlagring. I gynnsammaste fall, utan horisontavskärmning, nås försörjningsgraden 50 % med ca 12 m² solfångare och ca 1,5 m³ salthyrat till energikostnaden ca 0,30 kr/kWh. Ökas solfångarearean till ca 33 m² och värmelagret till ca 7 m³ nås försörjningsgraden 75 % till energikostnaden ca 0,45 kr/kWh.

För att understryka den tidigare nämnda stånpunkten att solvärmesystem i första hand bör placeras i värme snåla hus har en jämförelse gjorts mellan kostnaderna för solenergin för 1960-talshuset och det energisnåla huset. Förutom husens värmebehov är förutsättningarna i denna jämförelse lika som i fall 1, TAB. 7.13. Den ekonomiska jämförelsen framgår av TAB. 7.18 och FIG. 7.16. För mer än 50 % försörjningsgrad är energikostnaden för 1960-talshuset högre än för det energisnåla huset trots att den betydande fasta kostnaden för varmvattenberedaren och övrig kringutrustning fördelas

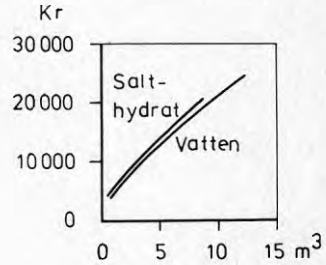
Kostnad för solenergin, kr/kWh



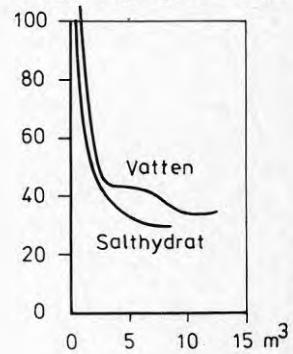
Priser:

Solfångare: 400 kr/m²Reflektor : 100 kr/m²

Värmelager:



Kr/kWh lagringskapacitet



Pumpar reglerutr. m.m.: 5000 kr

Annuitet: 10 %

Kurva	1	2	3	4	5	6	9 ^a	10 ^a
h_a	0°	10°	0°	0°	10°	10°	10°	10°
Glastyp	ng	ng	sg	sg	sg	sg	sg	sg
θ	45°C	45°C	45°C	90°C	45°C	90°C	45°C	90°C

^a Med reflektor h_a = horisontavskärmning

ng = normalglas

 θ = drifttemperatur

sg = specialglas

FIG. 7.15. Kostnad för solenergi vid optimalt dimensionerat lokalt solvärmesystem för värmesnällt småhus i Stockholm.

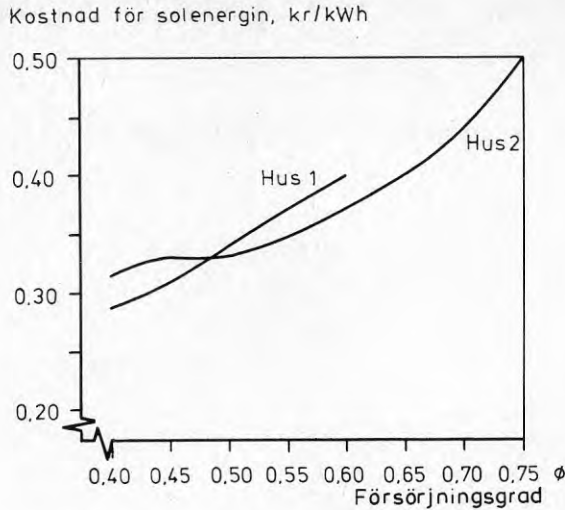
TAB. 7.18. Jämförelse mellan kostnaderna för solenergin för 1960-talshuset (hus 1) och det energisnåla huset (hus 2). Värmebehov hus 1: 21,4 MWh, hus 2: 10,5 MWh.
Lägsta sammanlagda kostnader för solfångare och värmelager. Förutsättningar enligt fall 1, TAB. 7.13: horisontavskärmning 0°, normalglas, drifttemperatur 45°C.

φ	10 ³ kr		kr/kWh		kr/kWh inkl. kringutrustning	
	Hus 1	Hus 2	Hus 1	Hus 2	Hus 1	Hus 2
0,40	19,6	8,2	0,229	0,195	0,287	0,314
0,45	24,8	10,6	0,258	0,224	0,309	0,330
0,50	31,6	12,4	0,295	0,236	0,342	0,331
0,55	38,9	15,2	0,330	0,263	0,373	0,350
0,60	46,7	18,4	0,364	0,292	0,403	0,371
0,65	-	22,3	-	0,327	-	0,400
0,70	-	27,2	-	0,370	-	0,438
0,75	-	34,5	-	0,438	-	0,502

hos 1960-talshuset på en dubbelt så stor energimängd som hos det värmesnåla huset. Till detta ska då läggas att en bestämd försörjningsgrad för 1960-talshuset innebär nämnda energimängd som är dubbelt så stor som för det värmesnåla huset vilket med den förhållandevis höga energikostnaden talar ytterligare till det värmesnåla husets fördel.

I en privatekonomisk kostnadsjämförelse mellan olika energislag kan man måhända räkna med avsevärt lägre kostnader för solenergin än enligt FIG. 7.15 med hänsyn till skattelättnader, statliga subventioner och inflation. Solenergens attraktionskraft kommer således till stor del att bero av vilken reell kostnad för solenergin beslutsfattaren för investeringen kan räkna med.

Vid en fullständig optimering måste man som tidigare nämnts genomföra marginalkostnadsjämförelser för såväl



Horisontavskärmning 0°
 Solfångare med normalglas
 Drifttemperatur 45°C

Värmebehov:
 Hus 1: 21 400 kWh/år
 Hus 2: 10 500 kWh/år

FIG. 7.16. Kostnad för solenergin vid optimalt dimensionerat lokalt solvärmesystem för småhuset från 1960-talet (hus 1) och det värmesnåla småhuset (hus 2) i Stockholm.

energibesparande åtgärder som för energiproduktion. En sådan överslagsmässig jämförelse visar att besparingsåtgärder kostar vid annuiteten 10 % i storleksordningen 0,20 kr/kWh för det energisnåla småhuset (överslagsberäkningar visade i avsnitt 7.8) medan man av FIG. 7.15 o. 7.16 ser att den marginella energikostnaden för solvärmens vid mer än 50% försörjningsgrad alltid är högre än den genomsnittliga dvs. från 0,30 kr/kWh och högre. Dessutom bör man studera kostnaden för den kompletterande energin. Än finns goda möjligheter att köpa konventionell energi till lägre pris än 0,20 kr/kWh, dvs. lägre än kostnaden för energibesparande åtgärder, men målsättningen med det energisnåla huset är just att minimera behovet av konventionell energi till en rimlig kostnad därför att man tror att den framtida tillgången blir knapp och priset därmed högt. Denna effekt kan

även uttryckas med siffror genom någon metod för nuvärdesomräkning av kostnaden för sparad energi med hänsyn till räntor, energiprisökningar, livslängd och för privatpersoner skattelättnader, statliga subventioner m.m.

Slutsatsen av ovanstående jämförelse mellan energisparande och energiproduktion är att det ekonomiskt kanske skulle löna sig att spara ytterligare energi så länge marginalkostnaden understiger 0,30 kr/kWh men i praktiken går det knappast att komma mycket längre i energibesparing.

I det allmänna fallet måste man kontrollera om marginella energikostnader för olika åtgärder är sinsemellan oberoende eller kopplade. T.ex. är kostnaden för köpt energi att betrakta som oberoende så länge energileverantörens villkor kan anses oförändrade medan kostnaden för energi från ett eget solvärmesystem till viss grad måste betraktas som kopplat till husets värmebehov. Husets värmebehov beror av varmvattenbehovet, ventilationsgraden med ev. värmeåtervinning, isolergraden, vald lufttemperatur inomhus m.m. Lufttemperaturen kan i sin tur från komfortsynpunkt väljas några grader lägre om ytterkonstruktionerna har tillräckligt hög isolergrad jämfört med om isolergraden är lägre. I en situation med kopplade energikostnader kan man således inte utan vidare studera en isolerad åtgärd i taget. En försiktig överslagsmässig bedömning så som visats ovan må dock vara acceptabel. Man måste således i allmänhet undersöka de totala energikostnaderna för olika alternativa åtgärdspaket som ger total energiförsörjning.

7.6 Försörjningsgrader för passivt soluppvärmda hus

I ett renodlat passivt soluppvärmt hus tillgodogörs solenergin enbart genom husets byggnadstekniska och arkitektoniska utformning. Solstrålningen får falla

in genom sydligt orienterade fönster och tunga byggnadsdelar inomhus får fungera som utjämningsmagasin för värmen mellan dag och natt. I allmänhet erfordras någon form av aktiv luftstyrning inomhus för att er- hålla önskade temperaturer i olika delar av huset och bättre utnyttja de tunga byggnadsdelarna som värme- lager. Med aktiv styrning kan uppvärmd luft även föras in i hålbjälklag av betong (Danielsson, 1978) eller i en stenbädd under grundplattan. Under sommaren kan ett sådant system även användas för att ge svalka i huset. Värmelagringskapaciteten vid temperaturförhöjning i ett passivt soluppvärmt hus kan i allmänhet inte bli större än vad som räcker för att utjämna solvärmen mot husets värmebehov från dag till natt. Detta beror på att energin inte kan lagras utanför det temperaturinter- vall på 5 à 10°C som anses vara acceptabelt för inom- hustemperaturen. All energitransport till och från värmelagret sker ju via rumsluften. En väsentligt högre energitäthet kan uppnås med värmelagring i salthydrater eftersom lagringen då sker vid ungefär konstant temperatur. Byggnadsdelar med inbyggda salt- hydratlager befinner sig ännu bara i början av expe- rimentstadiet. Sådan teknik beskrivs t.ex. av Johnson (1977).

Rent allmänt passar passivt soluppvärmda hus bäst i klimat med soliga dagar och kalla nätter. Denna karak- teristik av klimatet passar inte så väl in på det svenska. I svenskt klimat måste alltså en hel del komp- letterande energi tillföras. Det är då väsentligt att i systemet för den kompletterade energin ingår väl fungerande termostater, individuella för varje rum, så att solvärmen kan utnyttjas effektivt. Försörjnings- graden blir alltså låg därför att värmelagringskapa- citeten utan extraordinära åtgärder är låg men dess- utom därför att inget bidrag ges till varmvattenbeho- vets täckning. Den tillgodogjorda solenergin blir emel- lertid billig om inte huset ges en alltför speciell utformning.

Nedan visas vilka försörjningsgrader som har approximativt beräknats för fallet att det tidigare antagna värmesnåla småhuset (avsnitt 7.3) uppvärms passivt med solenergi. För huset har antagits varmvattenbehovet 10 kWh/dygn och ingen värmeåtervinning från varmvattnet. Vid stora fönsterareor ($\geq 10 \text{ m}^2$) antas större delen av de fönster som släpper in solvärmen bestå av 2 järnfria och antireflexbehandlade glas och vara så anordnade att då instrålningen understiger tröskelvärdet för att ge nettoeffekt, anbringas någon form av högvärdig isolering till dessa fönster. Fönstren har vid beräkningen antagits luta 70° mot horisontalplanet och vara riktade åt söder.

Energibehovet för husets uppvärmning framgår av FIG. 7.17. Årssumman är 5700 kWh. För varmvattnet behövs ca 3600 kWh/år, vilket är ett lågt antagande. Totala årssumman blir således 9300 kWh/år.

De beräknade försörjningsgraderna för olika fönsterareor mot söder framgår av FIG. 7.18.

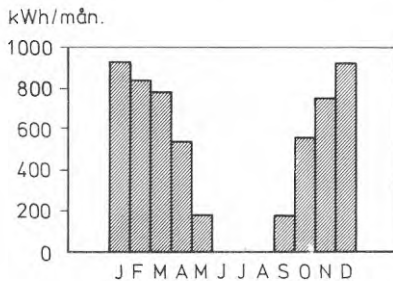


FIG. 7.17. *Energibehovet för lokaluppvärmning i det passivt soluppvärmda huset.*

Av figuren kan man dra slutsatsen att för passivt soluppvärmda värmesnåla hus av det beskrivna slaget ligger försörjningsgraden kring 20 à 30 %.

Det kan vara en förnuftig lösning att installera ett aktivt solvärmesystem för varmvatten i ett passivt

soluppvärmt hus eftersom värmelagret i ett aktivt solvärmesystem för enskilda hus är den dyraste komponenten och värmelagret för endast varmvatten inte behöver vara stort. Beroende på solfångararean och varmvattenbehovet kan försörjningsgraden då ligga mellan ca 30 och 50 %.

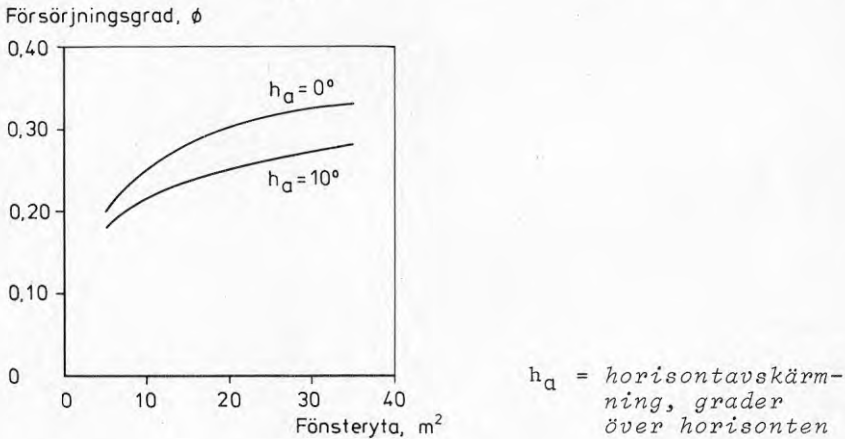
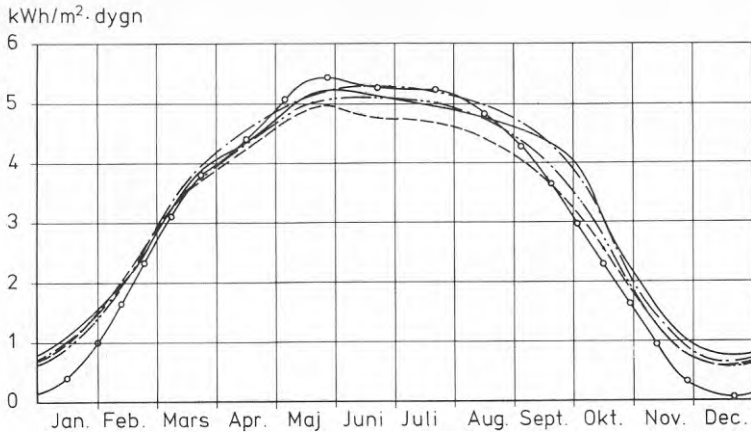


FIG. 7.18. Försörjningsgraden ϕ för ett värmesnålt hus utan värmeåtervinning från varmvatten. Energibehov för varmvatten: 3600 kWh/år. Totalt energibehov: 9300 kWh.

7.7 Solvärmesystems effektivitet på några olika orter i Sverige

Försörjningsgraden för ett hus med ett lokalt solvärmesystem av fastställd storlek varierar inte mycket med ortens geografiska belägenhet inom Skandinavien. Försörjningsgraden för det värmesnåla småhuset har beräknats ligga ca 10 procentenheter lägre i mellersta Norrland jämfört med i Svealand. Orsaken till skillnaden är främst det större värmebehovet under vintern i Norrland. Instrålningsförhållandena är däremot ungefär likvärdiga med avseende på olika latituder i Skandinavien (FIG. 7.19). Däremot finns vissa skillnader i molnighetsfrekvens mellan inland och kust. Oftast har kustorter lägre molnighetsfrekvens än inlandsorter särskilt under sommaren.



————— Malmö
 - - - - - Göteborg
 — · — Västervik
 — .. — Örebro
 —○— Umeå

FIG. 7.19. Medelinstrålning per dygn mot en yta lutad 70° mot horisontalplanet och vänd mot söder beräknad för 5 orter i Sverige.

Försörjningsgrader har beräknats för följande orter:

Ort	Latitud
Malmö	56°N
Göteborg	58°N
Västervik	58°N
Örebro	59°N
Umeå	64°N
Stockholm Bromma	59°N

Värmebehovet har approximativt beräknats för det värmesåla småhuset under ett normalår, se appendix V. Stockholm Bromma har tagits med därför att det i övriga sammanhang använda värmebehovet för Stockholm Nälsta bygger på mätningar under uppvärmningssäsongen 1965-66. Värmebehovet under december är för normalåret något lägre än för 1965 i Nälsta vilket medför att försörjningsgraden under normalåret ligger något över försörjningsgraden under 1965-66 för Nälsta. Skillnaden är

försumbar för solfångarareor under ca 15 m^2 , FIG. 7.20.

För ovannämnda orter har försörjningsgraden beräknats med följande faktorer varierade:

- ingen horisontavskärmning och horisontavskärmning 10°
- drifttemperatur 45°C och 90°C
- solfångararea $5\text{-}35 \text{ m}^2$
- värmelagringskapacitet utöver behovet för dygnsutjämning $0\text{-}3000 \text{ kWh}$. (Redovisningen omfattar endast fallen 225 kWh och 665 kWh .)

Följande faktorer har behållits oförändrade i samtliga fall:

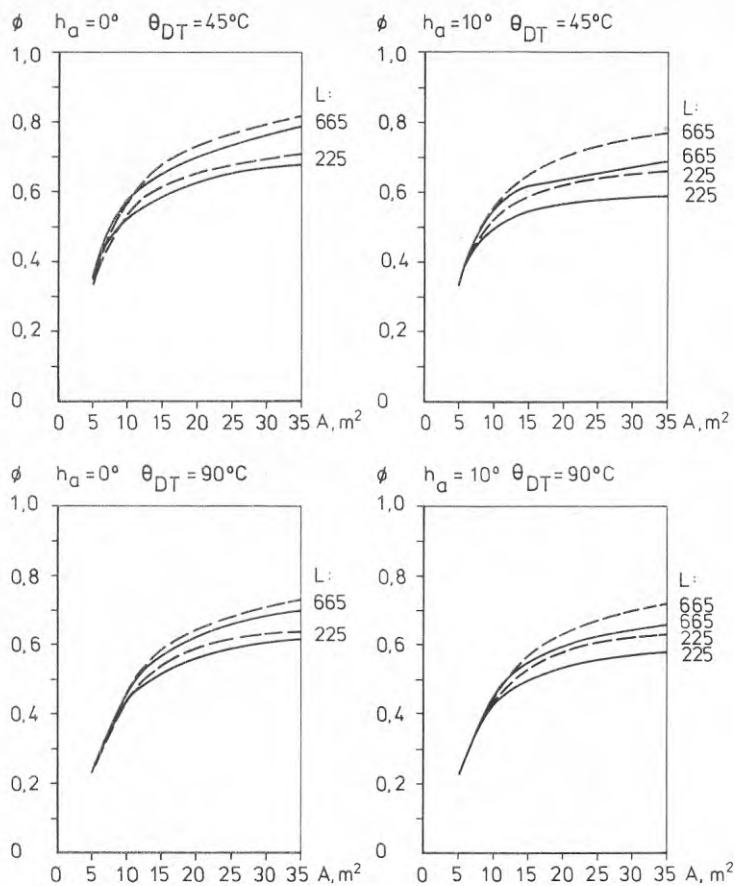
- markens reflexionsfaktor $0,20$
- solfångarens lutning 70° vänd mot söder
- solfångarens konstruktion med glasning av 2 järnfria och antireflexbehandlade glas, absorbator med selektivt svart yta
- vindhastighet 5 m/s .

Latitudens inverkan på bästa solfångarlutning är så liten att den har försummats här.

Instrålningen har beräknats för helklara, halvklara och mulna dagar utifrån molnighetsstatistik från SMHI för 1931-60.

Antalet helklara, halvklara och mulna dagar under normalåret finns redovisat i appendix V. Där finns även uteluftens medeltemperatur under dagen (kl. 8-18).

Jämförelsen mellan de olika orternas försörjningsgrader framgår av FIG. 7.21 och 7.22. Det inbördes förhållandet mellan försörjningsgrader på olika orter är som framgår av figurerna tämligen oberoende av de faktorer som varierats: horisontavskärmning, drifttemperatur,



----- Gäller för normalår, Stockholm Bromma
 _____ " " 1965-66, Stockholm Nälsta

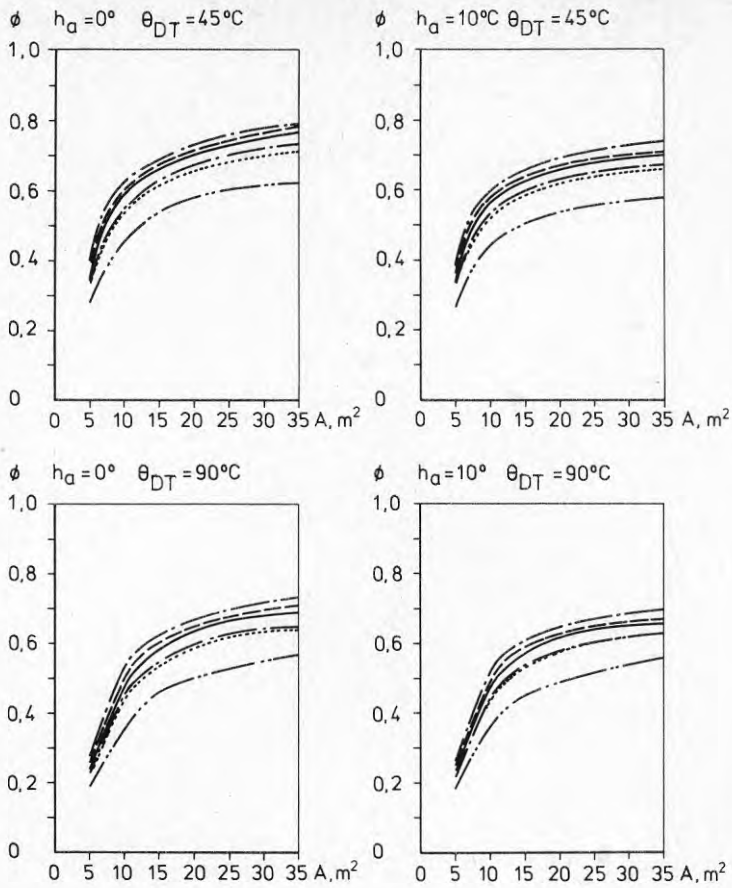
A = solfångararea, m^2

L = värmelagringskapacitet utöver behovet för dygns-
 utjämning (≈ 40 kWh), kWh

h_a = horisontavskärmning, grader över horisonten

θ_{DT} = drifttemperatur, $^{\circ}C$

FIG. 7.20. Försörjningsgraden ϕ för det värmesnåla småhuset.

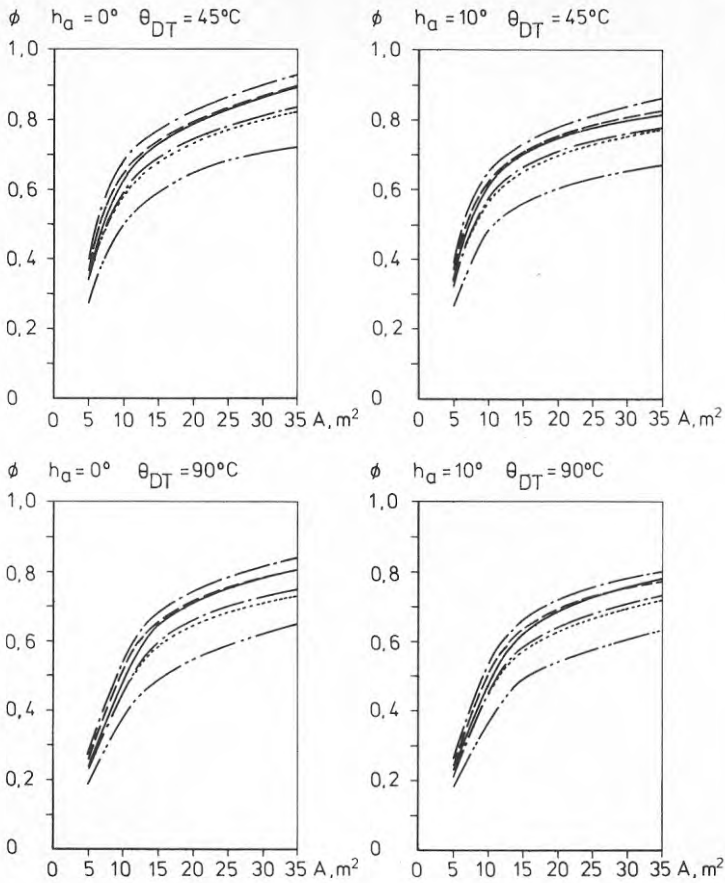


h_a = horisontavskärmning

θ_{DT} = drifttemperatur

— · — Malmö
 - - - - Västervik
 — Göteborg
 — · — Örebro
 ····· Stockholm
 — ·· — Umeå

FIG. 7.21. Försörjningsgraden ϕ för lokala solvärme-system (energismåla småhus) som funktion av solfångararean A . Värmelagringskapacitet för lagring utöver dygnsutjämnning 225 kWh. (Motsvarar ca 2,7 m³ salthydrot eller 4,3 m³ vatten vid 45°C temperaturförhöjning.) Värmelagringskapacitet för dygnsutjämnning 40 kWh.



h_a = horisontavskärmning

θ_{DT} = drifttemperatur

— · — Malmö
 - - - - - Västervik
 ————— Göteborg
 — · — Örebro
 Stockholm
 — · · — Umeå

FIG. 7.22. Försörjningsgraden ϕ för lokala solvärme-system (energislåla småhus) som funktion av solfångararean A . Värmelagringskapacitet för lagring utöver dygnsutjämnning 665 kWh. (Motsvarar ca 8 m³ salthydrot eller 13 m³ vatten vid 45°C temperaturförhöjning.) Värmelagringskapacitet för dygnsutjämnning 40 kWh.

solfångararea och värmelagringskapacitet. Skillnaderna beror främst på olika värmebehov på orterna.

Beräkningsresultatet visar sammanfattningsvis att solvärmens kan utnyttjas i större delen av Skandinavien men att försörjningsgraden med ett solvärmesystem av given storlek blir större ju längre söderut en ort är belägen.

7.8 Stora solvärmecentralers effektivitet och ekonomi

Utmärkande för en stor solvärmecentral är att systemets värmelager har mycket stor värmekapacitet (10^4 à 10^6 MWh) så att säsongslagring av värme är möjlig och de medelst kulvertssystem anslutna byggnadernas värmebehov till 100 % kan täckas med solenergi.

Ett stort värmelager medger att all av solfångaren infångad energi kan tillföras värmelagret till skillnad mot vad fallet är vid små solvärmesystem med begränsad värmelagringskapacitet. Distributionsförluster mellan värmelagret och byggnaderna anses ligga på acceptabel nivå så länge det rör sig om måttliga distributionssträckor. Teknik och erfarenhet finns sedan lång tid från drift av fjärrvärmesystem.

Solfångaren kan antingen vara i direkt anslutning till solvärmecentralen eller vara uppdelad på enheter utplacerade på de anslutna byggnaderna. I förstnämnda fall kan solfångartypen vara plan eller av olika grader koncentrerande, fast eller rörlig efter solen. Några olika alternativ framgår av FIG. 7.23.

Bland metoder att lagra värme ligger närmast till hands temperaturförhöjning av vatten maximalt upp till ca 90°C . Genom temperaturförhöjningen drabbas värmelagret av värmeförluster som avges vid lagrets begränsningsytor. Dessa förluster är relativt sett försumbara om lagret görs tillräckligt stort tack vare ett då fördelaktigt förhållande mellan lagringsvolymen och den

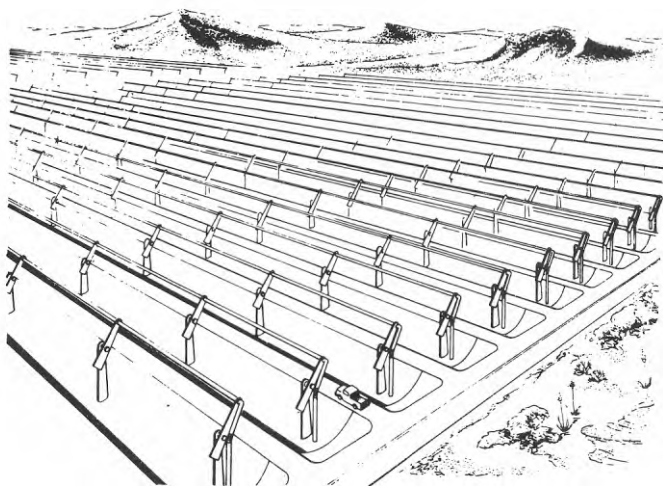
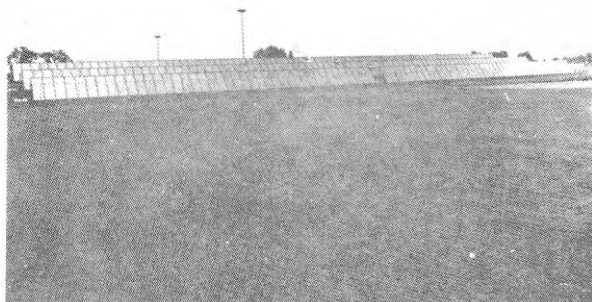


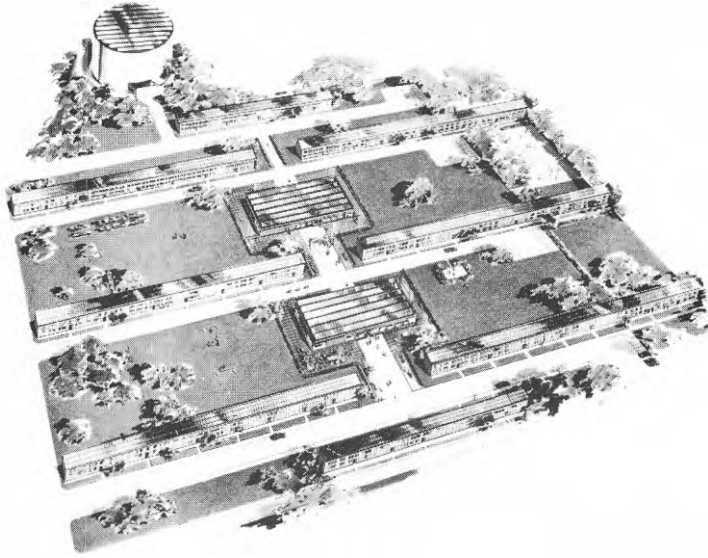
FIG. 7.23. Exempel på hur det kan se ut med fritt placerade solfångare i anslutning till en solvärmecentral. Övre bilden visar plana fasta solfångare för en soluppvärmd skola i Minneapolis, USA (Honeywell Inc.). Den undre bilden visar ett förslag till en s.k. farm-anläggning bestående av koncentrerande solfångare med rörlig absorbatör (General Atomic Company, San Diego, USA).

omslutande arean. Ett värmelager av storleksordningen 10^6 m^3 vatten förlorar under en 6-månadersperiod endast några enstaka procent av den lagrade energin.

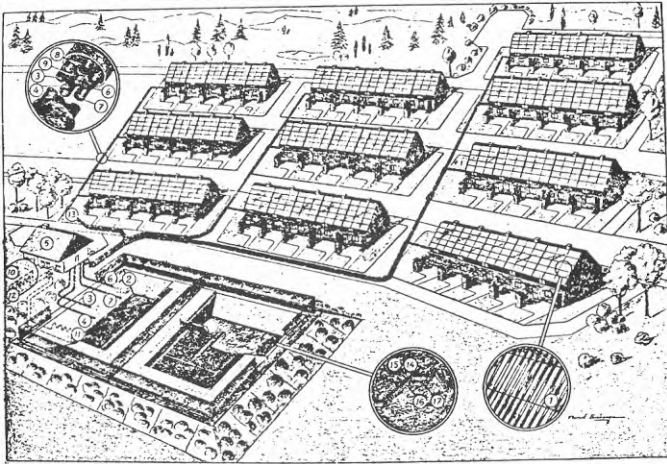
Rent praktiskt kan ett vattenmagasin utformas som en stål- eller betongcistern ovan jord, en damm med jordvallar, en avgränsad del av en sjö eller ett bergrum, FIG. 7.24. Värmelagringskapaciteten beror förutom av volymen bl.a. på hur låg den vattentemperatur väljs vid vilken värmelagret definieras vara utladdat. Om lägsta användbara temperatur har satts högt, t.ex. 70°C för att kunna försörja äldre bebyggelse med solvärme, måste antingen vattenvolymen väljas så stor att den motsvaras av energimängden mellan temperaturerna 70°C och 90°C eller måste en värmepump kopplas in då temperaturen understiger 70°C .

Fördelen med det första alternativet är att elenergi erfordras endast för pumpdriften i solfångarkretsen och distributionskretsen samt att systemet är bättre rustat för onormalt stora variationer hos instrålningssmängder eller värmebehov. En nackdel med ett så stort värmelager är att det tar flera år efter idrifttagandet att nå den önskade arbetstemperaturen. Fördelen med det andra alternativet är det energitätare värmelagret tack vare det större temperaturintervallet för energilagringen men å andra sidan erfordras elenergi till värmepumpen dvs. märkbart mindre än 100 % av byggnadernas värmebehov täcks då med solenergi.

I dagens läge förefaller vatten vara det medium som i praktiken lämpar sig bäst för värmelagring i stora enheter men forskningen på värmelagringsområdet kan om något eller några årtionden ha lett fram till effektivare system med andra och energitätare medier. Energilagring genom destillationsprocesser, s.k. kemiska värmepumpar förefaller kunna ge energitätheter upp emot 1 MWh/m^3 . Vid destillationslagring finns inget

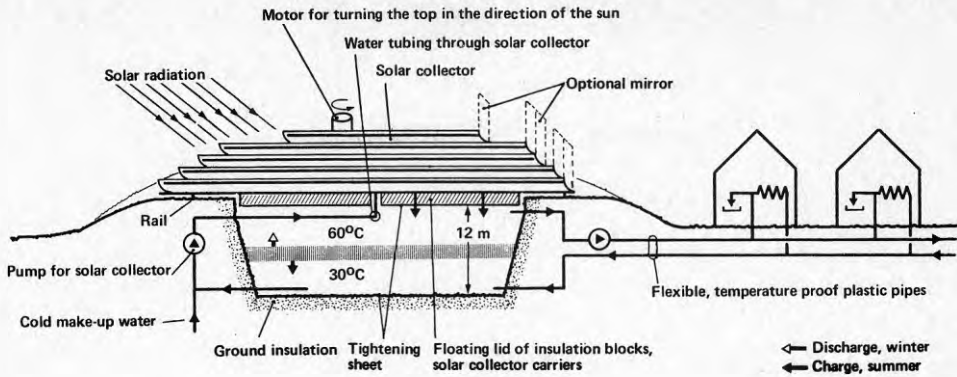


a)

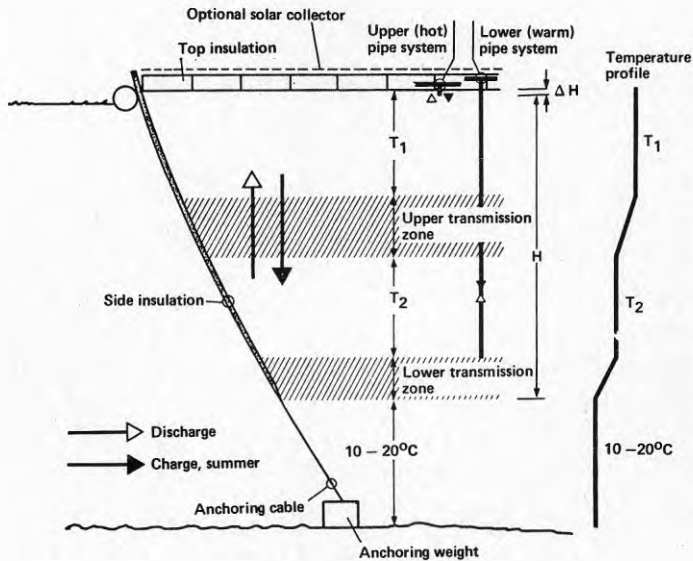


b)

FIG. 7.24. Figuren fortsätter på nästa sida.



c)



d)

FIG. 7.24. Några exempel på hur centrala solvärmsystem och speciellt värmelagret kan utformas. Exempel a) är ett förslag från Statens Vattenfallsverk där ca 500 lägenheter ansluts till ett system med värmelagring i en stålcistern. Exempel b) är ett förslag från AB Östgötabyggen där ca 50 radhus ansluts till ett system med värmelagring i en utgrävd damm. Även exempel c), som är ett förslag från AB Atomenergi, har värmelagring i en utgrävd damm men på dammen placeras ett flytande lock med solfångare. Locket är vridbart så att solfångarna kan följa solen. Exempel d) är också ett förslag från AB Atomenergi och avser värmelagring i delar av sjöar.

värmeläckage. De aktuella lagringsmedierna är ofta vanliga industrikemikalier som torde kunna erhållas till rimliga priser.

Optimering av en stor solvärmecentral är i princip betydligt enklare än optimering av ett lokalt solvärmesystem. Däremot kräver ett stort system naturligtvis betydligt mera projekteringsarbete. Vad beträffar solfångaren gäller det endast att söka den lutning och eventuella kombination med reflektor som ger maximal energi under året vid valt drifttemperaturområde. Detta kan undersökas för olika solfångarkonstruktioner, såväl plana som av olika grader koncentrerande, fasta eller rörliga. En sådan optimering för en fast plan solfångare i Stockholm visas nedan.

7.8.1 Optimal plan solfångare för solvärmecentral

För ett antal olika solfångaralternativ har beräknats mängden infångad energi under normalåret i Stockholm vid drifttemperaturen 90°C . Som tidigare nämnts för enklare beräkningarna kraftigt genom att anta en konstant drifttemperatur. Underskattningen av mängden infångad energi genom detta är svår att uppskatta men torde med ledning av beräkningar med olika konstanta drifttemperaturer ligga i storleksordningen 50 à 100 kWh/m²·år (FIG. 7.25). Värdet beror bl.a. av vilken lägsta drifttemperatur man väljer då värmelagret är urladdat. Faktorer som bidrar till att underskattningen blir tämligen liten är dels att en solfångarkonstruktion valts med relativt små termiska förluster dels att av fysikaliska skäl under större delen av drifttiden drifttemperaturen i verkligheten ligger närmare maximivärdet 90°C än minimivärdet. En stor fördel med det beräknade resultatet är att det kan utnyttjas generellt utan hänsyn till komplicerade och svårbedömbara temperaturförlopp i värmelagret.

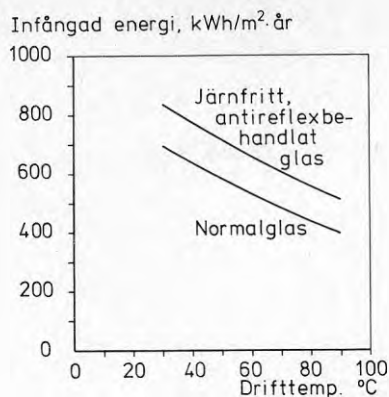


FIG. 7.25. Årssummor infångad energi vid olika drifttemperaturer.

Förutsättningar:

Latitud: 60°

Markreflexionsfaktor: 0,20

Ytans lutning: 60°

Horisontavskärmning: 10°

Solfångaren:

Absorbator, selektivt svart yta, $\epsilon = 0,1$

Antal glas: 2

Vindhastighet: 5 m/s

Andel absorberad direkt strålning: A_1 $\left\{ \begin{array}{l} \text{normalglas } A_1=0,75 \\ \text{järnfritt,} \\ \text{antireflex } A_1=0,87 \end{array} \right.$

Andel absorberad diffus strålning: A_2 $\left\{ \begin{array}{l} \text{normalglas } A_2=0,67 \\ \text{järnfritt,} \\ \text{antireflex } A_2=0,80 \end{array} \right.$

De intressantaste beräkningsresultaten finns sammanställda i FIG. 7.26. Följande faktorer har varierats:

- solfångarens lutning mot horisontalplanet, vänd mot söder: 50° , 60° , 70°
- horisontavskärmning grader över horisonten: 0° , 10°

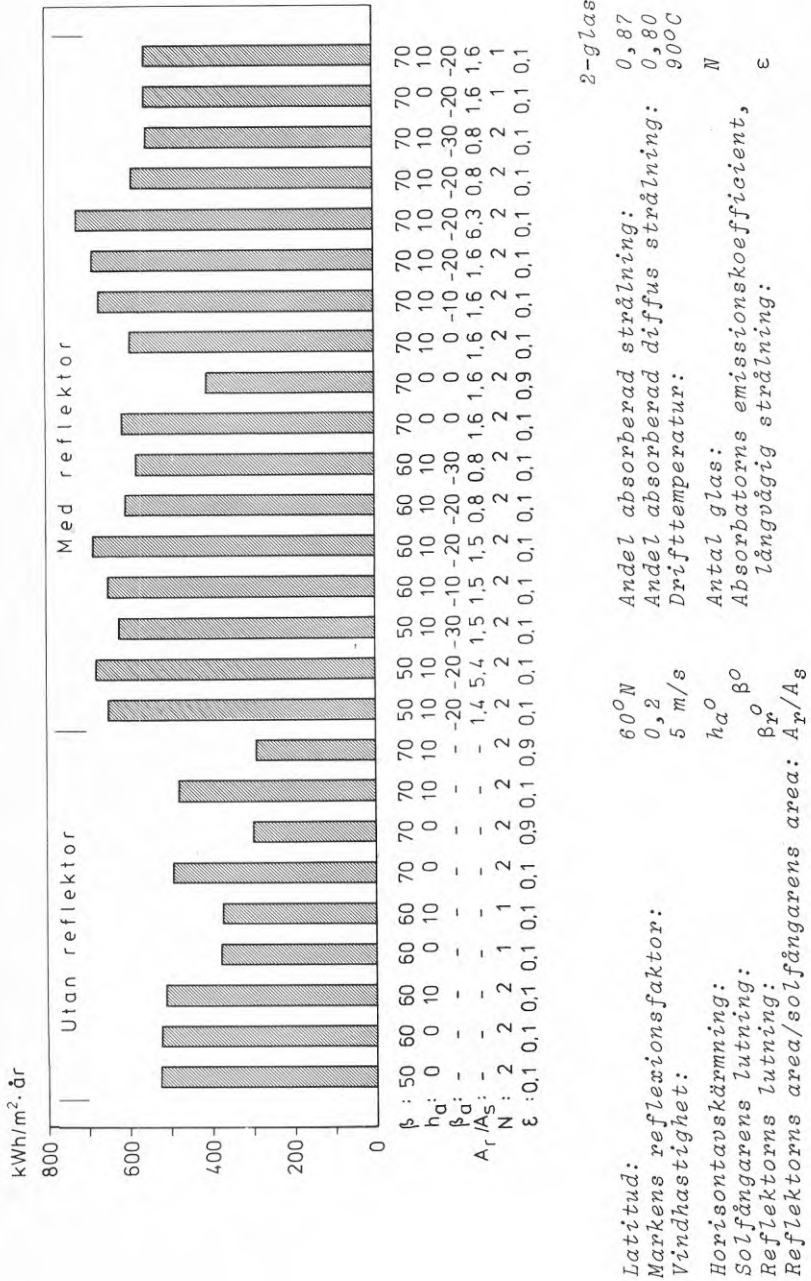


FIG. 7.26. Infångad energimängd per m² solfångare och år vid 90°C drifttemperatur i Stockholm.

Latitud: 60°N
 Markens refleksionsfaktor: 0,2
 Vindhastighet: 5 m/s
 Horisontavskärning: h_a^0
 Solfångarens lutning: β^0
 Reflektorns lutning: β_r^0
 Reflektorns area/solfångarens area: A_r/A_s

Andel absorberad strålning: 0,87
 Andel absorberad diffus strålning: 0,80
 Drifttemperatur: 90°C
 Antal glas: N
 Absorbatorns emissionskoefficient: ϵ
 Långvägig strålning: ϵ

2-glas 1-glas

- absorbator med selektivt svart och svartmålad yta
- glasning med 1 eller 2 glas med antireflexbehandling och försumbar järnhalt
- med och utan plan reflektor framför solfångaren
- reflektorarea/solfångararea: 0,8 (B=0,6 C=1,0 D=0,5 se avsnitt 7.3)
 - 1,4-1,6 (B=0,3 C=1,0 D=0,5),
 - 6,3 (B=0,3 C=1,0 D=2,0)
- reflektorns lutning mot horisontalplanet: 0° , -10° , -20° , -30° (FIG. 7.2).

Resultatet kan sammanfattas enligt följande:

- största mängden infångad energi med solfångare utan reflektor är drygt $500 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$ och med reflektor ca $700 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$
- optimal solfångarlutning utan reflektor är 50° ä 60° och med reflektor 60° ä 70°
- solfångare med 1 glas i stället för 2 ger ca $130 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$ mindre energi, gäller med selektivt svart absorbatoryta
- solfångare i 2-glasutförande med svartmålad absorbatoryta i stället för selektivt svart ger ca $200 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$ mindre energi
- optimal reflektorlutning är -20°
- horisontavskärmning 10° har ingen märkbar inverkan.

7.8.2 Ekonomi

Resultatet av en ekonomisk kalkyl för ett solvärmesystem är mycket starkt beroende av:

- storleken av den betraktade byggnadens energiförbrukning i relation till fasta kostnader och kostnader på grund av värmedistributionsförluster
- fördelningen i tiden av byggnadens energiförbrukning
- antagna priser på ingående komponenter
- vald ekonomisk kalkylmetod.

Detta arbete syftar inte till att utreda hela denna vitt förgrenade ekonomiska frågeställning utan fastmer belysa med några exempel vad solvärmen kan komma att kosta i en storskalig tillämpning. Resultaten får alltså inte tolkas så att de gäller generellt. Däremot kan man utläsa vissa tendenser från exemplen som kan vara till stöd vid en mera detaljerad projektering av ett tilltänkt objekt.

7.8.2.1 *Värmesnåla småhus anslutna till en solvärmecentral*

Antag att ett värmesnålt småhus enligt den tidigare beskrivningen ansluts till solvärmecentralen. Husets årsvärmebehov under ett normalår är ca 10,5 MWh. Försörjningsgraden 100 % kan i princip erhållas med olika kombinationer av solfångararea och värmelagringskapacitet. Beräkningen av försörjningsgrader har genomförts med antagandet att värmeförlusterna från kulvertledningen mellan huset och centralen är ca 30 %. Värmeförlusterna från värmelagret är av storleksordningen 5 à 10 % (se TAB. 7.19) och kan antas inkluderade i kulvertförlusterna. Husets värmebehov har således räknats upp med 50 % vid dimensioneringen av solvärmesystemet.

TAB. 7.19. *Förluster från vattenmagasin, storleksordningar. Inverkan av dessa förluster på energikostnaden som i detta fall har antagits vara 0,30 kr/kWh om förlusterna är försumbara.*

Antal hus	Vattenvolym m ³	Värme- förlust %	Behov att öka syst. %	Energi- kostnad kr/kWh
50	10 000	20	25	0,38
500	100 000	9	10	0,33
5000	1 000 000	4	4	0,31
+ ∞	+ ∞	0	0	0,30

Uppgifter om förluster till en del hämtade från Statens Vattenfallsverk (Olof Nilsson, 1977-04-13 DDK3-ON/ke).

Följande priser på systemkomponenter antas:

- solfångare: 400 kr/m^2
- reflektor: 100 kr/m^2
- värmelager, vattenmagasin $> 10^4 \text{ m}^3$: 60 kr/m^3 ¹⁾
(värdet avser marginalkostnad men för stora anläggningar skiljer sig genomsnittliga och marginella kostnader ganska lite)
- distribution och reglering: $6000 \text{ kr/lägenhet}^1)$,
för gruppbyggda småhus antas ca $10\,000 \text{ kr/hus}$.

Resultatet av försörjningsgradsberäkningen framgår av FIG. 7.27. 100 % försörjningsgrad erhålls då värmelagringskapaciteten per hus är ca 8000 kWh eller däröver. Optimum erhålls vid minsta möjliga solfångararea per hus. Utan reflektor är denna area 31 m^2 och med reflektor 23 m^2 . Den erforderliga vattenvolymen per hus är ca 160 m^3 om värmelagringen antas ske inom temperaturintervallet $45\text{--}90^\circ\text{C}$. En viss säkerhetsfaktor lagd på solfångararean och vattenvolymen kan vara lämplig om målsättningen är att till 100 % täcka värmebehovet även under år med sämre instrålning eller större värmebehov än normalårets. Om denna överdimensionering kan försvaras ekonomiskt i en totaloptimering omfattande uppvärmningssystemet och husens isolerstandard kan vara mera tveksamt.

¹⁾ Uppgifter enligt stencil från Statens Vattenfallsverk (Olof Nilsson, 1977-04-13 DDK3-ON/kc).

A: INSTÄLLNINGSBEFÄKNING

LATITUD:60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:60 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HÖRSÖNTAVSKÄRMNING:10 GRADER

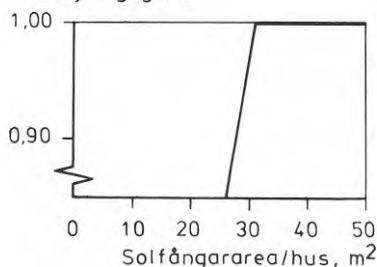
FÖRSÖRJNINGSGRADER

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M2					
	20	25	30	35	40	50
4000	0.65	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84
6000	0.65	0.81	0.92	0.94	0.95	0.97
8000	0.65	0.81	0.98	1.00	1.00	1.00
10000	0.65	0.81	0.98	1.00	1.00	1.00
12000	0.65	0.81	0.98	1.00	1.00	1.00
14000	0.65	0.81	0.98	1.00	1.00	1.00

B: BERÄKNING AV INFÄNGAD SOLENERGI

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATORS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:90 GRADER C

Försörjningsgrad



Värmelagrings-
kapacitet
8000 kWh

A: INSTÄLLNINGSBEFÄKNING

LATITUD:60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:60 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HÖRSÖNTAVSKÄRMNING:10 GRADER
 REFLEKTORNS LUTNING:-20 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD:0.30
 REFLEKTORNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD:1.00
 REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD:0.50
 REFLEKTORNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD:0.70
 DIREKT-DIFFUS:0.10 DIFFUS-DIFFUS:0.80

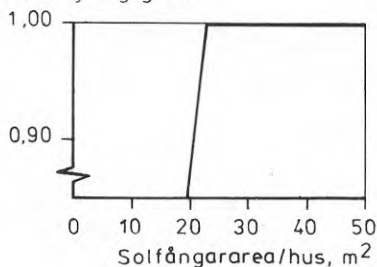
FÖRSÖRJNINGSGRADER

VÄRME- LAGER KWH	SOLFÄNGAREAREA M2					
	20	25	30	35	40	50
4000	0.74	0.77	0.80	0.81	0.82	0.84
6000	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96
8000	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10000	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
12000	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14000	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

B: BERÄKNING AV INFÄNGAD SOLENERGI

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATORS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:90GRADER C

Försörjningsgrad



Värmelagrings-
kapacitet
8000 kWh

FIG. 7.27. Försörjningsgrader för det värmesnåla små-
huset vid anslutning till en solvärmecentral.
Husets värmebehov är ca 10,5 MWh/år. Lag-
rings- och kulvertförlusterna har antagits
till ca 5 MWh/år. Solvärmesystemet måste
således prestera ca 15,5 MWh/år.

Kostnaden för solenergin beräknas således:

	Solfångare utan reflektor kr	Solfångare med reflektor kr
Solfångare	12 400	9 200
Reflektor	-	3 400
Värmelager	9 600	9 600
Distribution, reglering	<u>10 000</u>	<u>10 000</u>
Summa	32 000	32 200

Båda alternativen kostar per år med annuiteten 10 % ca 3 200 kr eller ca 0,30 kr/kWh. Service och underhållskostnader tillkommer.

Kostnaden för solenergin är i detta fall lika stor som den lägsta kostnaden vid lokala solvärmesystem som beräknats i avsnitt 7.5.9. I sistnämnda fall är dock försörjningsgraden begränsad till 50 %.

Antalet till solvärmecentralen anslutna hus inverkar på energikostnaden främst genom lagringsförlusternas storlek per hus. Vid mer än ca 500 anslutna hus blir lagringsförlusterna per hus så små att antalet hus därutöver har tämligen liten inverkan (TAB. 7.19).

Med hjälp av en värmepump i anslutning till värmelagret kan lagret utnyttjas ända ner mot temperaturen 0°C och kanske kan dessutom smältvärmets hos is utnyttjas. Värmelagrets storlek kan då reduceras med ungefär hälften av den ursprungliga volymen. Även solfångararean kan reduceras till ca 22 m² (utan reflektor) eftersom den genomsnittliga effektiviteten höjs tack vare den lägre drifttemperaturen under våren (ca 700 kWh/år). I stället tillkommer kostnaden för värmepumpen, ca 1000 kr per hus. Man kan uppskatta att detta alternativ kostar ca 0,06 kr/kWh mindre dvs. ca 0,24 kr/kWh. Rent principiellt har detta alternativ

svagheten att det krävs en betydande andel elenergi samtidigt som en målsättning med de energisnåla husen är att inom rimliga ekonomiska gränser minimera användningen av konventionella energikällor.

I ovanstående kalkyler har antagits att husets värmebehov är mycket litet tack vare långtgående energisparande åtgärder. En intressant fråga är då om det kan vara ekonomiskt att bygga hus energisnåla och samtidigt ansluta dem till en solvärmecentral. Därför genomförs här överslagsmässiga marginalkostnadsberäkningar för energibesparing och energiproduktion. Årskostnaderna baseras på annuiteten 10 %.

1. Marginell energikostnad för energi från solvärmecentral: utan värmepump ger 1 m² solfångare ca 500 kWh/år och kostar ca 400 kr.

All denna energi behöver sannolikt lagras och till detta krävs ca 10 m³ volym à ca 60 kr vilket gör ca 600 kr. Den marginella energikostnaden blir $0,1 \cdot (400 + 600) / 500 = 0,20$ kr/kWh.

Med värmepump ger 1 m² solfångare ca 700 kWh/år och kostar ca 400 kr. För att lagra denna energimängd krävs ca 7 m³ volym och kostar ca 400 kr. Den marginella energikostnaden blir $0,1 \cdot (400 + 400) / 700 = 0,11$ kr/kWh. Vid anslutning av mera energikrävande hus tillkommer en mindre kostnad för en större värmepump.

Kostnaden för drift och underhåll tillkommer.

2. Marginell energikostnad för värmeåtervinning från ventilationsluft: en komplett värmeväxlare för värmeåtervinning ur ventilationsluft kostar komplett ca 8000 kr.

Mängden återvunnen energi har för det energisnåla huset beräknats till 0,91 kWh/dygn·°C vilket motsvarar ca 4700 kWh/år (se appendix V).

Den marginella energikostnaden blir $0,1 \cdot 8000 / 4700 = 0,17$ kr/kWh.

I överslagsberäkningar är det vanligt att man antar energibesparingen till ca 3500 kWh/år. (Se t.ex. Statens Planverk, rapport 41, 1977.) Den marginella energikostnaden blir då $0,1 \cdot 8000 / 3500 = 0,23$ kr/kWh.

Kostnaden för drift och underhåll tillkommer.

3. Marginell energikostnad för övergång från 2-glasfönster till 3-glasfönster. Båda fallen antas ha värmereflekterande ytbehandling på glasytorna så att även 2-glasalternativet kan godkännas utifrån kraven i SBN 1975. Ytbehandlingen förefaller kunna göras till en låg kostnad i framtiden (Mar et al., 1975).

Det tredje glaset kostar ca 250 kr/m^2 vilket med 10 m^2 blir 2500 kr.

Marginella k-värdesändringen är ca $1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ vilket med 10 m^2 fönster blir $0,24 \text{ kWh/dygn} \cdot ^\circ\text{C}$ och 1250 kWh/år . Den marginella energikostnaden blir $0,1 \cdot 2500 / 1250 = 0,20$ kr/kWh.

4. Marginell energikostnad för värmeisolering.

I det energisnåla huset har antagits k-värde 0,14 för ytterväggar och vindsbjälklag motsvarande ca 35 cm mineralull inklusive regler. Med k-värde 0,25 blir tjockleken ca 20 cm. Arean av ytterväggar och vindsbjälklag är ca 240 m^2 . Den marginella skillnaden i isoleringstjocklek, 15 cm, motsvarar ca 36 m^3 mineralull med regler à ca 200 kr/m^3 vilket blir 7200 kr.

Energibesparing med den tjockare isoleringen blir $240 \cdot 0,11 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 0,63 \text{ kWh/dygn} \cdot ^\circ\text{C}$ och 3300 kWh/år . Den marginella energikostnaden blir $0,1 \cdot 7200 / 3300 = 0,22$ kr/kWh.

Av denna enkla jämförelse framgår att den marginella kostnaden för energiproduktion med en solvärmecentral utan värmepump är av samma storleksordning som kostnaderna för energibesparing, ca 0,20 kr/kWh. Med värmepump halveras kostnaden för energiproduktion men man måste då tillsätta en del elenergi för värmepumpdriften under senvintern och tidiga våren.

De byggnadstekniska energibesparande åtgärderna karakteriseras av att livslängden är sannolikt längre än amorteringstiden 20 år, dvs. efter 20 år utgör energibesparingen en ren vinst.

7.8.2.2 Äldre bebyggelse ansluten till en solvärmecentral

Fallet med äldre bebyggelse får här representeras av några vanliga 3-vånings lamellhus av smalhustyp i Ulvsunda, Stockholm, uppförda omkring 1940 där institutionen för byggnadsteknik bedriver forskningsverksamhet i energibesparande syfte (Höglund & Johnsson, 1976). Årsvärmebehovet för en typisk lägenhet på 48 m² i dessa hus under ett normalår är ca 19,3 MWh. Fördelningen på årets månader framgår av FIG. 7.28. Värmeförlusterna från ledningen mellan huset och värmecentralen utgör en lägre andel i detta fall än i fallet med värmesnåla småhus tack vare att ulvsundahuset tillhör en tätare och mera energikrävande bebyggelse. I detta fall torde man kunna räkna med ca 30 % värme-

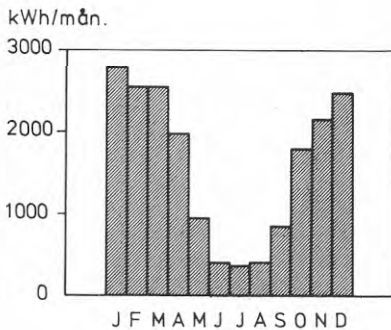


FIG. 7.28.

Värmebehovet under ett normalår för en typisk lägenhet på 48 m² i 1940-tals-husen i Ulvsunda.

förluster av värmebehovet. Förlusterna från värmelagret antas då inkluderade.

Följande priser på systemkomponenter antas:

- solfångare: 400 kr/m²
- reflektor: 100 kr/m²
- värmelager, vattenmagasin > 10⁴ m³: 60 kr/m³ 1)
(värdet avser marginalkostnad men för stora anläggningar skiljer sig genomsnittliga och marginella kostnader ganska lite)
- distribution och reglering: 6000 kr/lägenhet¹⁾
- värmepump: 2000 kr/lägenhet.

Resultatet av försörjningsgradsberäkningen framgår av FIG. 7.29. 100 % försörjningsgrad erhålls då värmelagringskapaciteten per lägenhet är ca 14 000 kWh eller däröver. Vid värmelagringskapaciteten 14 000 kWh krävs solfångararean 50 m² med 75 m² reflektor eller alternativt 55 m² utan reflektor. Om solfångararean minskas till sitt minimivärde 37 m² med 55 m² reflektor eller alternativt 50 m² utan reflektor måste värmelagringskapaciteten ökas till ca 16 000 kWh. Inom dessa gränser för solfångararean och värmelagringskapaciteten ska optimum sökas. Kostnaderna för de fall som måste undersökas är sammanställda i TAB. 7.20. Man finner följande:

- system med värmepump har klart bättre ekonomi än fall utan beroende på stora skillnader i erforderlig volym vatten för värmelagringen
- system med och utan reflektor är ekonomiskt ungefär likvärdiga. Det torde vara bäst att undvara reflektorn dels därför att reflexions-egenskaperna kan försämrats med tiden, dels kan den yta reflektorn inkräktas på i vissa fall användas på ett alternativt bättre sätt

1) Uppgifter enligt stencil från Statens Vattenfallsverk (Olof Nilsson, 1977-04-13 DDK3-ON/kc).

A: INSTÄLLNINGSBERÄKNING

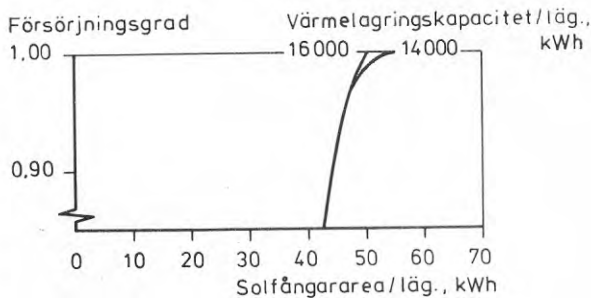
LATITUD:60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:60 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTALAVSKÄRMNING:10 GRADER

FÖRSÖRJNINGSGRADER

VÄRME- LAGER KWh	SOLFÄNGARAREA M ²					
	30	35	40	45	50	55
10000	0.61	0.72	0.79	0.81	0.83	0.85
12000	0.61	0.72	0.82	0.89	0.91	0.93
14000	0.61	0.72	0.82	0.92	0.95	1.00
16000	0.61	0.72	0.82	0.92	1.00	1.00
18000	0.61	0.72	0.82	0.92	1.00	1.00
20000	0.61	0.72	0.82	0.92	1.00	1.00

B: BERÄKNING AV INFÄNGAD SOLENERGI

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATORS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:90 GRADER C



A: INSTÄLLNINGSBERÄKNING

LATITUD:60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR:0.20
 YTANS LUTNING:60 GRADER,VÄND MOT SÖDER
 HORIZONTALAVSKÄRMNING:10 GRADER
 REFLEKTORNS LUTNING:-20 GRADER SOLFÄNGARENS HÖJD/BREDD:0.30
 REFLEKTORNS BREDD/SOLFÄNGARENS BREDD:1.00
 REFLEKTORNS LÄNGD/SOLFÄNGARENS BREDD:0.50
 REFLEKTORNS REFLEXIONSFAKTORER: DIREKT-RIKTAD:0.70
 DIREKT-DIFFUS:0.10 DIFFUS-DIFFUS:0.80

B: BERÄKNING AV INFÄNGAD SOLENERGI

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATORS EPSILON:0.10 ANTAL GLAS:2
 ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING:0.87
 ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING:0.80
 VINDHASTIGHET: 5M/S
 DRIFTTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN:90GRADER C

FÖRSÖRJNINGSGRADER

VÄRME- LAGER KWh	SOLFÄNGARAREA M ²					
	30	35	40	45	50	55
10000	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87
12000	0.82	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95
14000	0.82	0.95	0.97	0.99	1.00	1.00
16000	0.82	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
18000	0.82	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
20000	0.82	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00

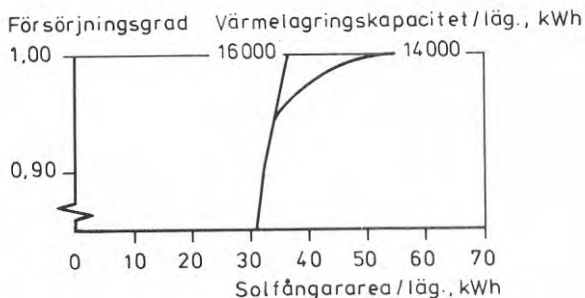


FIG. 7.29. Försörjningsgrader för en typisk lägenhet i ulvsundahusen vid anslutning till en solvärmecentral. Värmebehovet för lägenheten är ca 19,3 MWh/år. Lagrings- och kulvertförluster har antagits till ca 5,7 MWh/år. Solvärmesystemet måste således prestera ca 25 MWh/år för varje lägenhet.

olika kombinationer av solfångararea och värmelagringskapacitet inom det aktuella variationsområdet ger ungefär samma ekonomiska resultat. Bl.a. beror detta på att variationsområdet här är tämligen litet.

Det ekonomiskt mest fördelaktiga alternativet kostar per år med annuiteten 10 % ca 4000 kr eller ca 0,21 kr/kWh. I dessa värden är inte kostnader för drift och underhåll inkluderade. Inom VVS-branschen brukar man grovt ange ca 2 % per år av investeringskostnaden för detta ändamål.

Eftersom de små lägenheterna behöver mycket värme blir årskostnaden förhållandevis hög medan kostnaden per kWh blir låg i jämförelse med en gles och energisnål

TAB. 7.20. *Sammanställning av kostnader per lägenhet för solvärmesystemet.*

Antagna priser

- solfångare: 400 kr/m²
- reflektor: 100 kr/m²
- vattenmagasin: 60 kr/m³
- distribution och reglersystem: 6000 kr/lägenhet
- värmepump: 2000 kr/lägenhet (400 kr/kW, 5 kW/lägenhet)

Annuitet: 10 %

Specifik värmekapacitet i vattenmagasinet

utan värmepump, temperaturområde 70^o-90^oC: 25 kWh/m³

med värmepump, temperaturområde 20^o-90^oC: 80 kWh/m³

Energibehov per lägenhet: 19 300 kWh/år

Tabellen fortsätter på nästa sida.

TAB. 7.20. (forts.)

Tabelldel 1.

Komponent	Utan reflektor				Med reflektor			
	Utan värmepump spec.		Med värmepump spec.		Utan värmepump spec.		Med värmepump spec.	
	kr	kr	kr	kr	kr	kr	kr	kr
Solfångare	50 m ²	20 000	50 m ²	20 000	37 m ²	14 800	37 m ²	14 800
Reflektor	-	-	-	-	55 m ²	5 500	55 m ²	5 500
Vattenmagasin	16 000 kWh 640 m ³	38 400	16 000 kWh 200 m ³	12 000	16 000 kWh 640 m ³	38 400	16 000 kWh 200 m ³	12 000
Värmepump	-	-	-	2 000	-	-	-	2 000
Distribution och regler-system		6 000		6 000		6 000		6 000
Summa kr		64 400		40 000		64 700		40 300
Energikostnad kr/kWh		0,33		0,21				

Tabelldel 2.

Komponent	Utan reflektor				Med reflektor			
	Utan värmepump spec.		Med värmepump spec.		Utan värmepump spec.		Med värmepump spec.	
	kr	kr	kr	kr	kr	kr	kr	kr
Solfångare	55 m ²	22 000	55 m ²	22 000	50 m ²	20 000	50 m ²	20 000
Reflektor	-	-	-	-	75 m ²	7 500	75 m ²	7 500
Vattenmagasin	14 000 kWh 560 m ³	33 600	14 000 kWh 175 m ³	10 500	14 000 kWh 560 m ³	33 600	14 000 kWh 175 m ³	10 500
Värmepump	-	-	-	2 000	-	-	-	2 000
Distribution och regler-system		6 000		6 000		6 000		6 000
Summa kr		61 600		40 500		67 100		46 000
Energikostnad kr/kWh		0,32		0,21				

bebyggelse. Genom forskningsprojektet med husen i Ulvsunda har institutionen för byggnadsteknik visat såväl med teoretiska beräkningar som med praktiskt uppnådda resultat att det är ekonomiskt med dagens energipriser att vidta byggnadstekniska och installationstekniska besparingsåtgärder så att värmebehovet halveras i det aktuella fallet och att man på köpet erhåller ett väsentligt förbättrat inomhusklimat.

Distributionsförlusternas andel blir större då den äldre bebyggelsens värmebehov reducerats vilket medför en viss fördyring av energin från solvärmecentralen. Även om den ursprungliga marginella kostnaden för solenergin är konkurrenskraftig gentemot konventionell energi bör energibesparande åtgärder som dessutom höjer inomhuskomforten genomföras. Sådana åtgärder är tätning av fönster och ytterdörrar, tilläggsisolering av vindsbjälklag och ytterväggar samt inreglering av värmedistributionssystemet och sänkning av den genomsnittliga rumstemperaturen till 20 à 21°C.

En stor del av det äldre byggnadsbeståndet i stadskärnor har fasader som av arkitektoniska skäl inte lämpar sig för tilläggsisolering. Energi från solvärmecentraler blir i sådana fall i hög grad konkurrenskraftig.

Om distributionssystemet för solvärmerna kan helt eller delvis utgöras av ett redan befintligt system reduceras kostnaden för solvärmerna med storleksordningen 0,03 à 0,05 kr/kWh.

8 SAMMANFATTNING AV RESULTAT OCH SLUTSATSER

Detta arbete behandlar huvudsakligen samband mellan tillgodogjorda energimängder från solvärmesystem, vanligen uttryckta som försörjningsgrader för olika typer av bebyggelse, och solvärmesystemens dimensioner med en mängd parametrar varierade. Dessa samband har beräknats enligt en egen metod som utvecklats för detta beräkningsarbete och som i fortsättningen direkt kan användas av ingenjörer och arkitekter vid dimensionering av solvärmesystem.

Beräkningsmetoden bygger på fysikaliska grunder vilket tillåter val av dimensioner och utförande hos solvärmesystemet inom ett mycket brett fält. Åtskilliga förenklingar har införts i metoden för att beräknings- och förberedelsearbetet ska gå snabbt och smidigt och för att hålla beräkningskostnaderna nere för datortid. För det ändamål beräkningsmetoden är avsedd förefaller vidtagna förenklingar inte ha nämnvärt påverkat kvaliteten i beräkningsresultaten vid jämförelse både med simuleringsberäkningar och experimentella bestämningar. Beräkningsmetoden passar bäst till solvärmesystem med solfångare som har låga värmeförlustkoefficienter ($\leq 2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) vid sensibel värmelagring eller system med energilagrar som verkar vid nära konstant temperatur.

Nedan sammanfattas de intressantaste slutsatserna av beräkningsresultaten.

Lokala solvärmesystem:

solfångarens lutning kan väljas fritt mellan $40-80^\circ$ utan att den tillgodogjorda mängden solenergi påverkas nämnvärt. Med en plan reflektor framför solfångaren är lutningsintervallet $50-90^\circ$ lämpligt

- solfångare som glasats med järnfritt och anti-reflexbehandlat glas kan i 2-glasutförande ge upp till 20 % mer tillgodogjord solenergi än om glasningen har obehandlade ytor och normal järnhalt. Det förutsätts då att solfångararean och energilagringsskapaciteten avpassats så att den mesta infångade energin tillgodogörs. Skillnaden vid 1 glas är något mindre
- glasning i solfångaren med 2 glas medför oftast största mängd tillgodogjord solenergi, speciellt vid glas med antireflexbehandling och låg järnhalt
- en god selektivt svart absorberaryta i solfångaren medför alltid större mängd tillgodogjord solenergi än om absorberaren är svartmålad men skillnaderna mellan tillgodogjorda energimängder är små vid låga drifttemperaturer ($\leq 50^{\circ}\text{C}$)
- horisontavskärmning 10° påverkar årsförsörjningsgraden mycket litet (storleksordningen 5 % minskning av tillgodogjord energi). Däremot är påverkan under vintern kännbar
- geografiskt betingade skillnader i försörjningsgrad beror främst på olika specifika värmebehov för olika orter. Skillnaderna i medelinstrålning per dygn mellan de sex valda orterna är mycket små.

Solvärmecentraler:

- det förefaller rimligt att med solfångare utan reflektor fånga in energi av storleksordningen $500 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ och med reflektor $700 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
- solfångarlutningar som medför maximal mängd infångad energi kan väljas i området 50° à 60° för solfångare utan reflektor och 60° à 70° med reflektor

- solfångare med selektivt svart absorberaryta och 1 glas i stället för 2 glas ger ca 130 kWh/m²år mindre energi
- solfångare i 2-glasutförande med svartmålad absorberaryta i stället för selektivt svart ger ca 200 kWh/m²år mindre energi
- horisontavskärmning 10° har ingen märkbar inverkan.

Kostnader för solenergin från optimalt utformade lokala och centrala solvärmesystem för olika typer av byggnader har beräknats med uppskattade priser på systemkomponenter vid en tänkt framtida *industriell masstillverkning*. Kostnadsuppgifterna måste tolkas med stor försiktighet. Osäkerheter finns dels i beräknade termiska prestanda på grund av osäkra klimatvillkor och förenklingar i beräkningarna dels i antagna priser och den ekonomiska värderingen av termiska prestanda. I kostnadsberäkningarna har t.ex. inte tagits hänsyn till inverkan på antagna priser av enstaka detaljförändringar hos komponenter så som övergång från ett till två glas för solfångarens glasning. I den ekonomiska värderingen av solenergin har å ena sidan inte tagits hänsyn till värdeminskning av upptagna lån, olika former av subventioner från samhället eller ökning av energipriser i framtiden, å andra sidan inte heller till kostnader för drift och underhåll. Osäkerheter om den framtida utvecklingen inom solvärmeområdet gör en alltför detaljerad ekonomisk studie här obefogad. Det finns t.ex. knappast några erfarenheter hittills av storleksordningar på drift- och underhållskostnader. Alla givna kostnadsuppgifter gäller ungefär vid det penningvärde som rådde under 1976-77.

I detta arbete har kostnaden för solenergin från stora solvärmecentraler beräknats bli 0,20-0,30 kr/kWh vid annuiteten 10 % där det lägre värdet gäller med central värmepump. Kostnaden för energin från lokala solvärme-

system har beräknats bli 0,30-0,40 kr/kWh med försörjningsgraden 50-60 %.

Möjligheter finns för den som så önskar att räkna om värdena enligt någon annan kalkylmetod.

Än finns inga praktiskt användbara värmelager till lokala solvärmesystem för säsongslagring men utvecklingen går raskt framåt. Destillationslagring (kemiska värmepumpar) förefaller kunna vara en lösning på problemet. Den erforderliga lagringsvolymen för ett småhus blir då enligt beräkningar med den presenterade beräkningsmetoden av storleksordningen 10 m^3 . Lokala solvärmesystem kommer i likhet med stora solvärmecentraler att kunna erbjuda 100 % försörjningsgrad. Vad kostnaden blir för energin från ett sådant lokalt solvärmesystem har ännu inte beräknats men troligen blir den lika med eller lägre än ovannämnda kostnad med ett lokalt solvärmesystem.

APPENDIX I

TILLÄMPNING AV SOLFÅNGARENS VÄRMEBALANSEKVATION PÅ
PLANA SOLFÅNGARE MED SLUTNA VÄTSKEKYLDA ABSORBATORER

Härledning av värmebalansekvationer för solfångare finns redovisade bl.a. av Duffie & Beckman (1974). Nedan sammanställda ekvationer avser nyttig avgiven värmeeffekt för solfångare med slutna vätskekylda absorbatörer som har parallellflödessystem och glasning med 1, 2 och 3 glas. FIG. AI.1, AI.2 och AI.3 visar konstruktionerna.

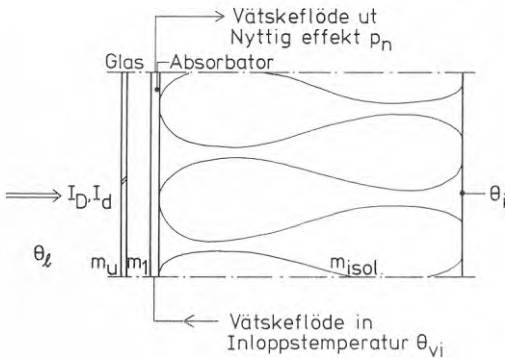


FIG. AI.1.
Solfångare,
vätskekyld
med 1 glas.

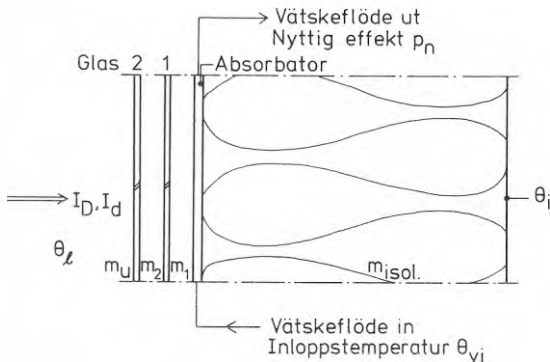


FIG. AI.2.
Solfångare,
vätskekyld
med 2 glas.

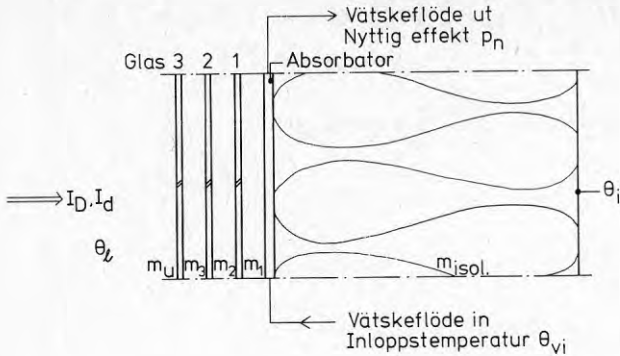


FIG. AI.3.
Solfångare,
vätskekyld
med 3 glas.

BETECKNINGAR

varav en del är illustrerade i FIG. AI.1, AI.2 och AI.3

F_R	flödesfaktorn för absorbatoren, i allmänhet strax under 1
I_D	irradians, direkt instrålning, W/m^2
I_d	irradians, diffus instrålning, W/m^2
R	långvägig nettoutstrålning mot atmosfären från en absolut svart kropp vid temp. θ_l , W/m^2
a	absorptionskoefficienten för solstrålning hos absorbatoren
a_1, a_2, a_3	absorptionskoefficienten för solstrålning hos glaset 1, 2, 3
m_1, m_2, m_3	värmemotstånden hos spalterna enl. figurerna, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
m_{isol}	värmemotståndet hos isoleringen på baksidan, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
m_u	yttre värmeövergångsmotståndet, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
p_n	nyttig effekt avgiven från solfångaren, W/m^2
ϵ	emissionskoefficient för värmeinstrålning hos absorbatoren
$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$	emissionskoefficient för värmeinstrålning hos glaset 1, 2, 3
θ_i	temperaturen på isolerings ytteryta, $^\circ C$
θ_l	temperaturen hos uteluften, $^\circ C$
θ_{vi}	temperaturen hos vätskan vid absorbatorns inlopp, $^\circ C$
τ_1, τ_2, τ_3	transmissionskoefficienter för glaset 1, 2, 3
$(\tau_1 \tau_2 \dots \tau_n a)$	transmissions-absorptionskoefficienten

Effektbalansekvationer:

solfångare med 1 glas

$$\begin{aligned}
 P_n = & F_R \cdot \left\{ \underbrace{(\overline{\tau a})_D \cdot I_D}_{A_D \cdot I_D} + \underbrace{(\overline{\tau a})_d \cdot I_d}_{A_d \cdot I_d} + \underbrace{\frac{a_1 \cdot m_u}{m_1 + m_u} \cdot (I_D + I_d)}_{B \cdot (I_D + I_d)} - \right. \\
 & - \underbrace{\frac{\epsilon_1 \cdot R \cdot m_u}{m_1 + m_u}}_C - \underbrace{\left(\frac{1}{m_1 + m_u} + \frac{1}{m_{isol}} \right) \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)}_{D \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)} + \underbrace{\frac{\theta_i - \theta_\ell}{m_{isol}}}_E \left. \right\}
 \end{aligned}$$

(AI.1)

solfångare med 2 glas

$$\begin{aligned}
 P_n = & F_R \left\{ \underbrace{(\overline{\tau_1 \tau_2 a})_D \cdot I_D}_{A_D \cdot I_D} + \underbrace{(\overline{\tau_1 \tau_2 a})_d \cdot I_d}_{A_d \cdot I_d} + \right. \\
 & + \underbrace{\frac{a_1 \tau_2 \cdot (m_2 + m_u) + a_2 \cdot m_u}{m_1 + m_2 + m_u} \cdot (I_D + I_d)}_{B \cdot (I_D + I_d)} - \underbrace{\frac{\epsilon_2 \cdot R \cdot m_u}{m_1 + m_2 + m_u}}_C - \\
 & - \underbrace{\left(\frac{1}{m_1 + m_2 + m_u} + \frac{1}{m_{isol}} \right) \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)}_{D \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)} + \underbrace{\frac{\theta_i - \theta_\ell}{m_{isol}}}_E \left. \right\}
 \end{aligned}$$

(AI.2)

solfångare med 3 glas

$$\begin{aligned}
 p_n = & F_R \left\{ \underbrace{(\tau_1 \tau_2 \tau_3 a)_D \cdot I_D}_{A_D \cdot I_D} + \underbrace{(\tau_1 \tau_2 \tau_3 a)_d \cdot I_d}_{A_d \cdot I_d} + \right. \\
 & + \underbrace{\frac{a_1 \cdot (\tau_1 \tau_2)_D \cdot (m_2 + m_3 + m_u) + a_2 \cdot \tau_3 \cdot (m_3 + m_u) + a_3 \cdot m_u}{m_1 + m_2 + m_3 + m_u} \cdot (I_D + I_d)}_{B \cdot (I_D + I_d)} - \\
 & - \underbrace{\frac{\epsilon_3 \cdot R \cdot m_u}{m_1 + m_2 + m_3 + m_u}}_C - \underbrace{\left(\frac{1}{m_1 + m_2 + m_3 + m_u} + \frac{1}{m_{isol}} \right) \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)}_{D \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)} + \underbrace{\frac{\theta_i - \theta_\ell}{m_{isol}}}_E
 \end{aligned}$$

(AI.3)

Beräkningsexempel med insatta data

Koefficienternas värden i effektbalansekvationen beräknas i detta exempel för en solfångare som lutar 70° mot horisontalplanet och har:

- glasning med 2 glas av normal kvalitet
- absorptoryta svartmålad eller alternativt selektivt svart.

Beräkningsgången ansluter i stort till framställningen av Duffie & Beckman (1974).

I. 2-glas, svartmålad absorptor $a = 0,95$ $\epsilon = 0,95$

Uttrycket A_D

Reflexion vid varje glasyta för vinkelrätt infall $r = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$. Antaget brytningsindex hos glas för solstrålningsspektrum $n = 1,526$

$$r = \left(\frac{0,526}{2,526} \right)^2 = 0,0434$$

För en glasning med liten absorption kan totala transmissionen beräknas

$$\tau = \tau_r \cdot \tau_a$$

där τ_r = transmissionen med enbart hänsyn till reflexion

τ_a = transmissionen med enbart hänsyn till absorption i glaset.

$$\tau_r = \frac{1-r}{1+(2 \cdot N-1) \cdot r} \quad \text{där} \quad N = \text{antal glas.}$$

Vid två glas fås

$$\tau_r = \frac{1-0,0434}{1+(2 \cdot 2-1) \cdot 0,0434} = 0,846$$

$$\tau_a = e^{-K \cdot s}$$

där K = glasets extinktion

s = glasets tjocklek.

Vid två glas, vardera med antaget $K \cdot s = 0,05$ fås

$$\tau_a = e^{-2 \cdot 0,05} = 0,905$$

$$\tau = 0,846 \cdot 0,905 = 0,765$$

Absorbatorplåten antas ha absorptionskoefficienten $a = 0,95$ från vinkelrätt till ej alltför snett infall. Samma värde antas alltså även vid diffus strålning.

Transmissions-absorptionskoefficienten för systemet glasning-absorbator beräknas

$$\overline{\tau a} = \frac{\tau \cdot a}{1-(1-a) \cdot (1-\tau_{rd})}$$

där τ_{rd} = totala transmissionen med enbart hänsyn till reflexion avseende diffus strålning (ca 60° infallsvinkel)

$\tau_{rd} \approx 0,76$ för två glas, enligt FIG. AI.4

$$\overline{\tau_a} = \frac{0,765 \cdot 0,95}{1 - (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,76)} = 0,736$$

Antag 2 % reduktion till följd av nedsmutsning av glas, ger

$$(\overline{\tau_1 \tau_2 a})_D = 0,98 \cdot 0,736 = \underline{0,721}$$

Värdet gäller för vinkelrätt infallande strålning. För andra infallsvinklar kan värdet approximativt korrigeras med faktorn τ_D/τ_N där τ_D är glasningens transmissionsfaktor för direkt strålning vid aktuell infallsvinkel och τ_N är motsvarande vid vinkelrätt infallande strålning, se FIG. AI.5.

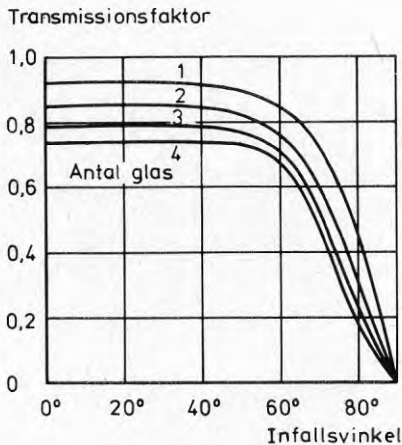


FIG. AI.4. Reflexionsdelen τ_r av totala transmissionen genom 1-4 glas med brytningsindex 1,526. Källa: Duffie & Beckman (1974).

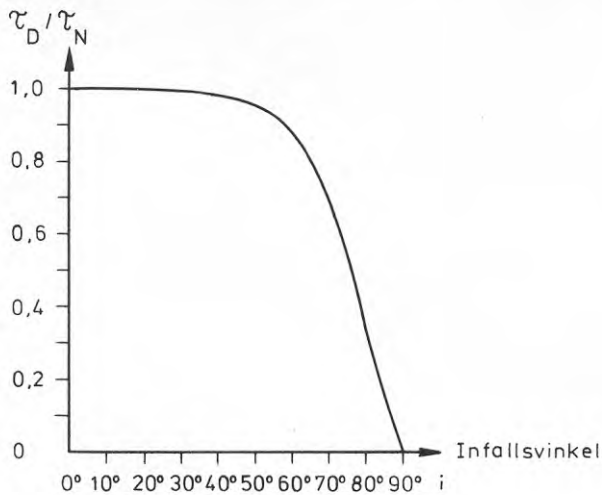


FIG. AI.5. *Transmissionsfaktorn för tvåglasfönster normaliserad till värdet 1 vid vinkelrätt infall.*

Uttrycket A_d

Något förenklat antas här jämnt fördelad diffus strålning. I allmänhet är transmissionsfaktorn för jämnt fördelad diffus strålning ungefär densamma som för direkt strålning vid infallsvinkeln 59° . (Brown & Isfält, 1974.)

För direkt strålning vid 60° infallsvinkel fås med hänsyn till polarisation $\tau_r = 0,760$ enligt FIG. AI.4.

Vid infallsvinkeln 60° är brytningsvinkeln $\arcsin \frac{\sin 60}{1,526} = 34,58$.

$$\tau_a \approx e^{-\frac{2 \cdot 0,05}{\cos 34,58}} = 0,886$$

$$\tau = \tau_r \cdot \tau_a = 0,76 \cdot 0,886 = 0,673$$

$$\overline{\tau}_a = \frac{0,673 \cdot 0,95}{1 - 0,05 \cdot 0,24} = 0,647$$

2 % reduktion till följd av glasets nedsmutsning ger

$$(\overline{\tau_1 \tau_2 a})_d = 0,634$$

Uttrycket B

$$\tau_2 = \frac{1-0,0434}{1+0,0434} \cdot e^{-0,05} = 0,872$$

$$a_1 = a_2 = 1 - e^{-0,05} = 0,0488$$

Det finns ingen anledning till noggrannare beräkningar av värmemotstånden för termen B. Tillämpbara värden ges

$$\frac{m_u}{m_1+m_2+m_u} \approx 0,15$$

$$\frac{m_2+m_u}{m_1+m_2+m_u} \approx 0,62$$

$$B = 0,0488 \cdot 0,872 \cdot 0,62 + 0,0488 \cdot 0,15 = \underline{0,034}$$

Uttrycket C

$$\varepsilon_2 = 0,90 \text{ för glas}$$

$$R \approx 70 \text{ W/m}^2 \text{ för horisontell yta, helklart}$$

$$30 \text{ W/m}^2 \text{ för vertikal yta, helklart}$$

$$0 \text{ för övriga tillfällen}$$

$$\frac{m_u}{m_1+m_2+m_u} \approx 0,15 \text{ men kan variera kraftigt med vindpåverkan ner till 0,05.}$$

C blir ca 0-10 W/m² och kan försummas.

Uttrycket D

Baksidisoleringen antas vara 20 cm mineralull, $\lambda = 0,04 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$$\frac{1}{m_{\text{isol}}} = \frac{0,04}{0,20} = 0,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Häri antas även kantförluster inräknade.

Glasningens k-värde $k_g = \frac{1}{m_1 + m_2 + m_u}$ ges av FIG. AI.6.

Förutsättningar:

- 2 glas
- absorbatorns emissionskoefficient $\epsilon = 0,95$
- vindhastighet 3 à 5 m/s, acceptabelt riktvärde, se Klimatdata för Sverige, Taesler (1972).
Av kurvorna i FIG. AI.6 framgår att uteluftens temperatur har mycket liten betydelse och inverkan härav kan försummas
- absorbatortemperaturer: 25°C, 45°C och 60°C.

För en 45° lutande yta avläses

θ_{vi}	25°C	45°C	60°C
kg	2,8	3,1	3,3

Värdena korrigeras för att gälla 70° lutande yta

θ_{vi}	25°C	45°C	60°C
70° lut	2,7	3,0	3,2 W/m ² ·°C

Beräknade värden av uttrycket D

θ_{vi}	25°C	45°C	60°C
70° lut	2,9	3,2	3,4 W/m ² ·°C

Uttrycket E

$\theta_i \approx 20^\circ\text{C}$ (isoleringens yta antas gränsa mot ett uppvärmt utrymme)

θ_λ varierar mellan ca -20 - +20°C i de flesta fall

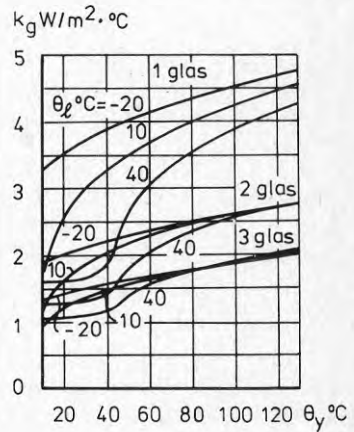
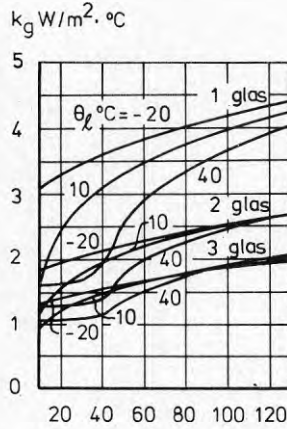
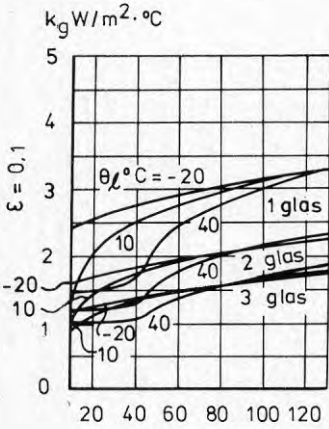
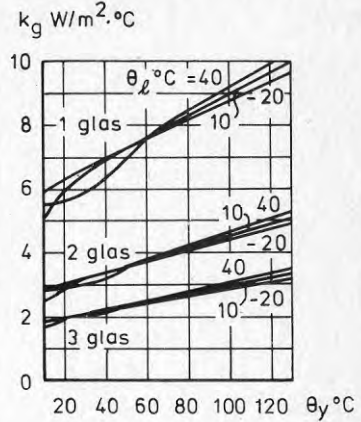
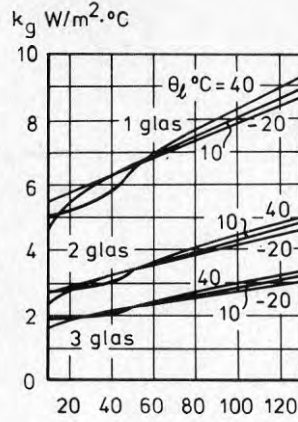
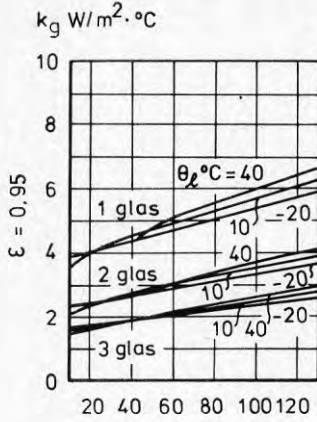
$1/m_{isol} = 0,2$

$\beta = 45^\circ$

Vindhastighet 0,0 m/s

Vindhastighet 5,0 m/s

Vindhastighet 10,0 m/s



Omräkningsfunktion för önskad solfångarlutning

$$kg(\beta) / kg(\beta = 45^\circ) \quad kg(\beta) / kg(\beta = 45^\circ) \approx 1 - (\beta - 45) \cdot (0,00259 - 0,00144 \cdot \epsilon)$$

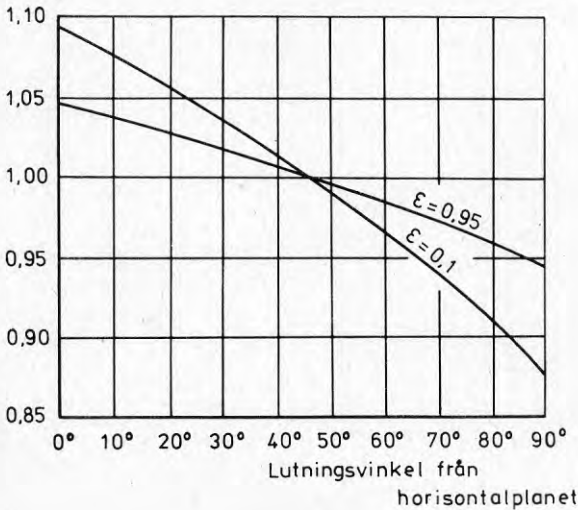


FIG. AI.6.

Figurtext på nästa sida.

För bl.a. datortillämpningar har nedanstående uttryck anpassats till kurvorna. För absorbatortemperaturer mellan 40 och 130°C uppges noggrannheten vara $\pm 0,2$ W/m²·°C

$$k_g = \left[\frac{N}{(344/T_a) \cdot \{(T_a - T_\ell)/(N+f)\}^{0,31} + \frac{1}{\alpha_{yk}}} \right]^{-1} + \frac{5,70 \cdot 10^{-8} \cdot (T_a^2 + T_\ell^2) \cdot (T_a + T_\ell)}{\{\epsilon + 0,0425 \cdot N \cdot (1-\epsilon)\}^{-1} + \{(2 \cdot N + f - 1)/\epsilon_g\}^{-N}}$$

$$f = (1,0 - 0,04 \cdot \alpha_{yk} + 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha_{yk}^2) \cdot (1 + 0,058 \cdot N)$$

N = antal glas

ϵ = absorbatorns emissionskoefficient för värme-strålning

ϵ_g = glasets emissionskoefficient för värme-strålning

T_a = absorbatorytans temperatur, K

T_ℓ = uteluftens temperatur, K

α_{yk} = konvektiva värmeövergångskoefficienten p.g.a. vind.

FIG. AI.6. Värmeegenomgångskoefficienten k_g för systemet absorbatoryta-glasning.

θ_y = absorbatorytans temperatur, antagen konstant temperaturnivå över hela absorbatorn

θ_ℓ = uteluftens temperatur

ϵ = absorbatorns emissionskoefficient för värme-strålning.

Källa: Duffie & Beckman (1974).

$$E_{\min} \approx 0$$

$$E_{\max} \approx 40 \cdot 0,2 = 8 \text{ W/m}^2, \text{ kan försummas.}$$

Insättning av erhållna värden i ekvation (AI.2). Vinkelrätt infallande strålning.

$$P_n = F_R \cdot \{0,721 \cdot I_D + 0,634 \cdot I_d + 0,034 \cdot (I_D + I_d) - k \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)\}$$

där $k = D$

$$P_n = F_R \cdot \{0,75 \cdot I_D + 0,67 \cdot I_d - k \cdot (\theta_{vi} - \theta_\ell)\} \quad (\text{AI.4})$$

Koefficienterna $A_1 = A_D + B$ och $A_2 = A_d + B$ har i detta fall alltså värdena $A_1 = 0,75$ och $A_2 = 0,67$. A_1 och A_2 benämns andel absorberad direkt resp. diffus strålning. Dessa benämningar är inte strikt korrekta eftersom koefficienten B står för minskade termiska förluster från absorbatoren som följd av absorption av solstrålning i glasningen.

Vid snett infallande strålning kan vinkelberoendet hos A_1 approximativt beaktas enligt

$$A_1(i) = A_1(0) \cdot (\tau_D / \tau_N)(i)$$

där i = infallsvinkeln

τ_D / τ_N = transmissionsfaktorn för tvåglasfönster normerad till värdet 1 vid vinkelrätt infall, FIG. AI.5.

F_R presenteras närmare i appendix III.

II. 2 glas, selektivt svart absorbator

$$a = 0,95, \epsilon = 0,10$$

Uttrycken A_D och A_d är lika som i fall I.

$$A_D = 0,721$$

$$A_d = 0,634$$

Uttrycket B

Enligt fall I är $\tau_2 = 0,872$, $a_1 = a_2 = 0,0488$.

Uppskattningsvis gäller

$$\frac{m_u}{m_1 + m_2 + m_u} \approx 0,09$$

$$\frac{m_2 + m_u}{m_1 + m_2 + m_u} \approx 0,40$$

$$B = 0,0488 \cdot 0,872 \cdot 0,40 + 0,0488 \cdot 0,09 = 0,021$$

Skillnaden mellan B-värdena i fallen I och II är 0,013. Antag att instrålningen är 800 W/m^2 . $800 \cdot 0,013 = 10,4 \text{ W/m}^2$. Skillnaden kan försummas. Därmed vinnas i förenklat räknearbete då fallen I och II tillämpas.

Uttrycket C kan liksom i fall I försummas.

Uttrycket D

Liksom i fall I antas $\frac{1}{m_{\text{isol}}} = 0,2$.

Glasningens k-värde ges av FIG. AI.6. Förutsättningar gäller som i fall I men med skillnaden att $\epsilon = 0,1$.

För en 45° lutande yta avläses

θ_{vi}	25°C	45°C	60°C
kg	1,8	2,0	2,2

Värdena korrigeras för att gälla 70° lutande yta

θ_{vi}	25°C	45°C	60°C
70° lut	1,7	1,9	2,1

W/m²·°C

$$k = k_g + 0,2$$

Uttrycket E kan liksom i fall I försummas

Insättning av erhållna värden i ekvation (AI.2). Vin-
kelrätt infallande strålning.

$$P_n = F_R \{0,75 \cdot I_D + 0,67 \cdot I_d - k \cdot (\theta_{vi} - \theta_\lambda)\} \quad (\text{AI.5})$$

dvs. samma form som i fall I men med aktuella värden
på k.

APPENDIX II

HÄRLEDNING AV EKVATIONER FÖR BERÄKNING AV RIKTAD
REFLEKTERAD STRÅLNING FRÅN REFLEKTORN TILL SOLFÅNGAREN

Den direkta strålningens infallsvinkel mot reflektorn beräknas

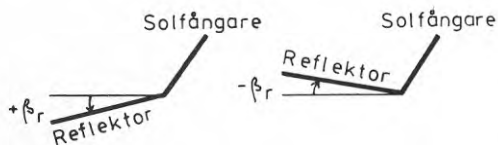
$$\cos i_r = \sin h \cos \beta_r + \cos h \cos a \sin \beta_r \quad (\text{AII.1})$$

där i_r = infallsvinkeln

h = solhöjden

a = solasimuten

β_r = reflektorns lutningsvinkel mot horisontalplanet.



Om $\cos i_r > 0$ träffar strålningen reflektorns ovansida. I annat fall hamnar den reflekterande ytan i reflektorns egen skugga.

Till att börja med antas det förstnämnda fallet gälla. Exempel på ett sådant fall visas i FIG. AII.1. Solstrålningen faller in mot reflektorn med solhöjden h och solasimuten a . För att den reflekterade strålningen ska träffa solfångaren måste den mot reflektorn infallande strålningen hamna inom den rombiska ytan markerad i FIG. AII.1a. En del av rombens yta kan hamna utanför reflektorns yta så att den effektiva reflekterande ytan minskas. Mängden reflekterad strålning minskas då i proportion härtill. Medelvärdet bildat över hela sol-

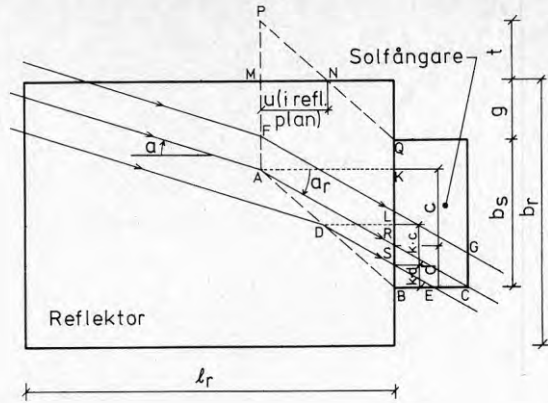


FIG. AII.1a. Horizontalprojektion av solfångare och reflektor.

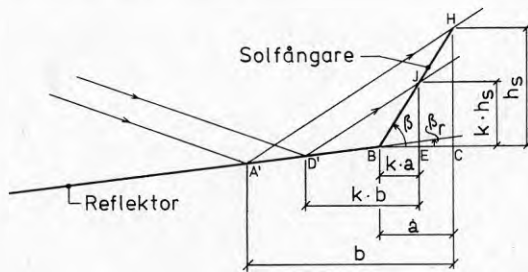


FIG. AII.1b. Sidovy av solfångare och reflektor.

fångarytan av irradiansen mot solfångaren av riktad reflekterad strålning från reflektorn (I_{RR_m}) beräknas

$$I_{RR_m} = r_{DR} \cdot I_{DN} \cdot \cos i_r \cdot A_{re} / A_s \quad (\text{AII.2})$$

där r_{DR} = reflektorns reflexionsfaktor för riktad reflexion av direkt infallande strålning

I_{DN} = irradiansen av direkta strålningen mot strålningens normalplan

i_r = strålningens infallsvinkel mot reflektorn

A_{re} = effektiva reflektorarean

A_s = solfångararean.

För att kunna utnyttja ekv. (AII.2) gäller det att härleda ekvationen för effektiva reflektorarean. Nedan visas att effektiva reflektorarean utgörs helt eller till en del av en romb A P Q B, FIG. AII.1a.

Bevis för att den största möjliga effektiva reflektorytan har formen av en romb A P Q B:

En stråle i FIG. AII.1a-b som träffar reflektorn i punkten A reflekteras och träffar solfångaren i ett övre hörn H. Alla strålar som träffar solfångarens övre horisontella begränsningslinje träffar dessförinnan reflektorn på linjen P A som är parallell med linjen Q B. Linjerna P A och Q B är dessutom lika långa. Det gäller att visa att linjen A B utgör en sida i en romb som beskriver den största möjliga effektiva reflektorytan.

En stråle som träffar reflektorn i punkten D reflekteras och träffar solfångarens sidokant i punkten J (FIG. AII.1b). Antag att sträckan $D L = k \cdot A K$, $k < 1$ (FIG. AII.1a). Om det kan visas att $L B = k \cdot K B$ är beviset klart.

Trianglarna A K R och D L S (FIG. AII.1a) är likformiga varav $L S = k \cdot K R$. $D'B = k \cdot A'B$ (FIG. AII.1b) eftersom $D L = k \cdot A K$ (FIG. AII.1a). Trianglarna D'J B och A'H B är likformiga (FIG. AII.1b) varav $J B = k \cdot H B$. Trianglarna B J E och B H C är likformiga varav $B E = k \cdot B C$. Trianglarna B S E och B R C är likformiga (FIG. AII.1a) varav $S B = k \cdot R B$. Således fås om $R B = d$ och $K R = c$, dvs. $K B = c+d$, att $L B = S B + L S = k \cdot d + k \cdot c = k(c+d)$, vilket skulle visas.

Vid beräkning av effektiva reflektorarean måste man ta hänsyn till de olika fall som kan inträffa. Om reflektorns längd (l_r) är mindre än höjden hos romben A P Q B är den effektiva längden lika med reflektorns längd. För de två fall som således kan inträffa beräknas reflektorns effektiva längd $k \cdot (b-a)$ där faktorn k , definierad i beviset ovan, har värdet

$$k = \text{minimum} \{1, l_r / (b-a)\} \quad (\text{AII.3})$$

Längderna a och b framgår av FIG. AII.1b.

Två fall kan inträffa då den sida som löper i reflektorns längdriktning begränsar den effektiva reflektorarean. De båda fallen framgår av FIG. AII.1a och FIG. AII.2. Antag att sträckan A K i FIG. AII.1a är projektionen av reflektorns effektiva längd. De två fallen kan då karakteriseras med att sträckan A P faller delvis eller helt utanför reflektorn. Den delarea ΔA_{re} av romben som faller utanför reflektorn beräknas

$$\Delta A_{re} = c_1 \cdot 0,5 \cdot t \cdot u - c_2 \cdot 0,5 \cdot v \cdot w \quad (\text{AII.4})$$

$$c_1 = \begin{cases} 1 & \text{om } t > 0 \\ 0 & \text{om } t \leq 0 \end{cases} \quad c_2 = \begin{cases} 1 & \text{om } t > b_s \\ 0 & \text{om } t \leq b_s \end{cases} \quad (\text{AII.5})$$

där beteckningarna b_s , t , u , v och w framgår av FIG. AII.2. De olika fallen som kan inträffa täcks in med värdena på c_1 och c_2 .

Av FIG. AII.2 framgår $v = t - b_s$. Genom likformighet erhålls

$$w = (t - b_s) \cdot \frac{u}{t}$$

Med dessa samband insatta i ekv. (AII.4) erhålls

$$\Delta A_{re} = 0,5 \cdot \frac{u}{t} \cdot \{c_1 \cdot t^2 - c_2 (t - b_s)^2\} \quad (\text{AII.6})$$

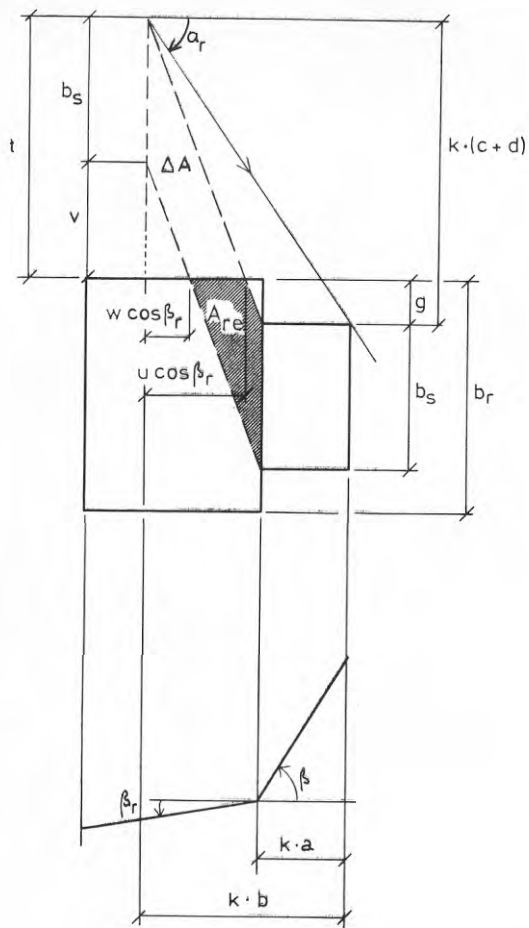


FIG. AII.2.

Horizontalprojektion av sidovy av solfångare och reflektor. Effektivarefektorarean i ett av flera fall.

Från FIG. AII.2 erhålls

$$t = k \cdot (c+d) - g \quad (\text{AII.7})$$

Från FIG. AII.1a erhålls

$$g = (b_r - b_s) / 2$$

$$d = a \tan |\alpha_r|$$

$$c = (b-a) \tan |\alpha_r|$$

$$a = h_s \cot \beta = h_s \cdot A_0 \quad (\text{AII.8})$$

För att bestämma b studeras i FIG. AII.3 från FIG. AII.1b återgivna sidovy av solfångaren och reflektorn. Projektionen av strålgången avser en stråle som träffar reflektorn i punkten A, FIG. AII.1a. Av FIG. AII.3 framgår

$$b = \{h_s + (b-a)\tan \beta_r\} \cot \phi \quad \text{dvs.}$$

$$b = h_s \cdot \frac{(1 - \cot \beta \tan \beta_r)}{\tan \phi - \tan \beta_r} = h_s \cdot B_0 \quad (\text{AII.9})$$

Ekv. (AII.7) kan nu skrivas

$$t = k \cdot h_s \cdot B_0 \cdot \tan |\alpha_r| - (b_r - b_s) / 2 \quad (\text{AII.10})$$

Med likformighet erhålls (FIG. AII.1a-b)

$$\frac{u \cos \beta_r}{t} = \frac{b-a}{c+d} \quad \text{dvs.}$$

$$u = t \cdot \frac{(b-a)}{(c+d) \cos \beta_r} = t \cdot \frac{(1 - A_0/B_0)}{\tan |\alpha_r| \cos \beta_r} = t \cdot U_0 \quad (\text{AII.11})$$

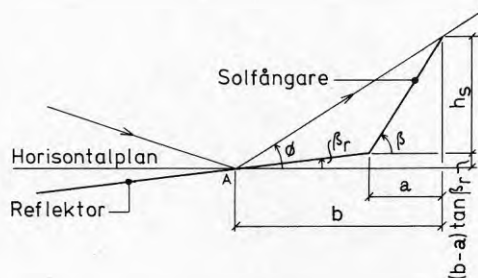


FIG. AII.3. Vertikalplan parallellt med reflektorns längdriktning. Projektionen av strålgången avser en stråle som träffar reflektorn i punkten A, FIG. AII.1a-b.

Bestämning av vinklarna α_r och ϕ :

Den mot reflektorn infallande strålningens riktning beskrivs av en vektor \bar{d} och den reflekterade strålningens riktning av en vektor \bar{r} , FIG. AII.4. Normalen mot reflektorplanet beskrivs av en vektor \bar{e}_n . Det som söks är vektorn \bar{r} .

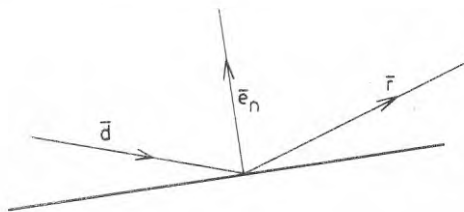


FIG. AII.4.

Definition av vektorerna \bar{d} , \bar{r} och \bar{e}_n .

Projektionen av \bar{d} på normalen: $(\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n$
 Projektionen av \bar{d} på reflektorplanet: $\bar{d} - (\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n$
 Projektionen av \bar{r} på reflektorplanet: $\bar{d} - (\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n$
 Projektionen av \bar{r} på normalen: $-(\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n$

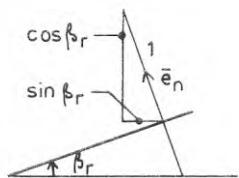
Således fås

$$\bar{r} = \bar{d} - (\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n - (\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n = \bar{d} - 2(\bar{d} \cdot \bar{e}_n) \bar{e}_n$$

(AII.12)

Vektorerna \bar{e}_n och \bar{d} på komponentform i ett högerkoordinatsystem

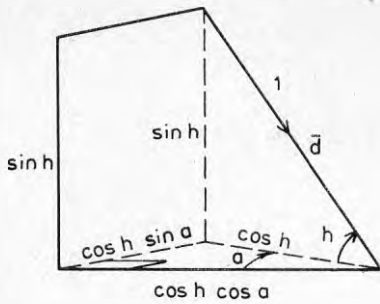
($\begin{matrix} z \\ \uparrow \\ x \rightarrow y \end{matrix}$):



$$\bar{e}_n = (0, -\sin \beta_r, \cos \beta_r)$$

(FIG. AII.5)

FIG. AII.5. Vektorn \bar{e}_n .



$$\bar{d} = (\cosh \sin \alpha, \cosh \cos \alpha, -\sinh)$$

(FIG. AII.6)

FIG. AII.6. Vektorn \bar{d} .

Vektorn \bar{r} på komponentform:

$$\begin{aligned} \bar{r} &= (\cosh \sin \alpha, \cosh \cos \alpha, -\sinh) - \\ &- 2\{(\cosh \sin \alpha, \cosh \cos \alpha, -\sinh) \cdot (0, -\sin \beta_r, \cos \beta_r)\}(0, -\sin \beta_r, \cos \beta_r) = \\ &= (\cosh \sin \alpha, \cosh \cos \alpha \cos 2\beta_r - \sinh \sin 2\beta_r, \sinh \cos 2\beta_r + \\ &+ \cosh \cos \alpha \sin 2\beta_r) \end{aligned}$$

Således är

$$\begin{aligned} \tan \alpha_r &= \frac{\cosh \sin \alpha}{\cosh \cos \alpha \cos 2\beta_r - \sinh \sin 2\beta_r} = \\ &= \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha \cos 2\beta_r - \tan h \sin 2\beta_r} \quad (\text{AII.13}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{\cosh \cos \alpha \sin 2\beta_r + \sinh \cos 2\beta_r}{\cosh \cos \alpha \cos 2\beta_r - \sinh \sin 2\beta_r} = \\ &= \frac{\cos \alpha \tan 2\beta_r + \tan h}{\cos \alpha - \tan h \tan 2\beta_r} \quad (\text{AII.14}) \end{aligned}$$

Den effektiva reflektorarean kan nu beräknas (FIG. AII.2)

$$A_{re} = k \cdot \frac{(b-a)}{\cos \beta_r} \cdot b_s - 0,5 \cdot \frac{u}{t} \cdot \{c_1 \cdot t^2 - c_2 \cdot (t-b_s)^2\} \quad (\text{AII.15})$$

För att en effektiv reflekterande area ska existera krävs $b > a$, se FIG. AII.1b.

Solfångarens area är

$$A_s = h_s \cdot b_s / \sin \beta \quad (\text{AII.16})$$

Den relativa effektiva reflektorarean är

$$\begin{aligned} A_{re}/A_s &= \frac{k \cdot (b-a) \cdot b_s \cdot \sin \beta}{\cos \beta_r \cdot h_s \cdot b_s} - \\ &- 0,5 \cdot \frac{u}{t} \cdot \frac{\sin \beta}{h_s \cdot b_s} \cdot \{c_1 \cdot t^2 - c_2 (t-b_s)^2\} = \\ &= k \cdot (B_0 - A_0) \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta_r} - \\ &- 0,5 \cdot U_0 \cdot \frac{\sin \beta}{B} \cdot \{c_1 T_0^2 - c_2 (T_0 - 1)^2\} \end{aligned} \quad (\text{AII.17})$$

där $A_0 = \cot \beta$

$$B_0 = (1 - \cot \beta \tan \beta_r) / (\tan \phi - \tan \beta_r)$$

$$T_0 = t/b_s = k \cdot B \cdot B_0 \cdot \tan |\alpha_r| - (C-1)/2$$

$$U_0 = (1 - A_0/B_0) / (\tan |\alpha_r| \cos \beta_r)$$

$$k = \text{minimum}(1, \frac{D}{B} \cdot \frac{1}{B_0 - A_0})$$

$$B = h_s / b_s$$

$$C = b_r / b_s$$

$$D = l_r / b_s$$

$\tan \alpha_r$ och $\tan \phi$ framgår av ekv. (AII.13) och (AII.14)

h_s = solfångarens vertikala höjd

b_s = solfångarens bredd

b_r = reflektorns bredd

l_r = reflektorns längd

β = solfångarens lutningsvinkel mot horisontalplanet

β_r = reflektorns lutningsvinkel mot horisontalplanet.

Solfångarens irradianstillskott från reflektorn är

$$I_{RR_m} = I_{RR_{0m}} - \Delta I_{RR_m} \quad (\text{AII.18})$$

där I_{RR_m} = irradiansens medelvärde bildat över hela solfångarytan av reflekterad riktad strålning från reflektorn

$I_{RR_{0m}}$ = d:o under antagande att reflektorn har oändlig utbredning i ost-västlig riktning

ΔI_{RR_m} = minskning av irradiansen till följd av begränsad reflektorutbredning.

$$I_{RR_{0m}} = r_{DR} \cdot I_{DN} \cdot \cos i_r \cdot k \cdot (B_0 - A_0) \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta_r} \quad (\text{AII.19})$$

För att en effektiv reflekterande area ska existera krävs $B_0 > A_0$ dvs. $b > a$, se ekv. AII.15 och FIG. AII.1b.

$$\Delta I_{RR_m} = r_{DR} \cdot I_{DN} \cdot \cos i_r \cdot 0,5 \cdot U_0 \cdot \frac{\sin \beta}{B} \cdot \{c_1 \cdot T_0^2 - c_2 (T_0 - 1)^2\} \quad (\text{AII.20})$$

$$c_1 = \begin{cases} 1 & \text{om } T_0 > 0 \\ 0 & \text{om } T_0 \leq 0 \end{cases}$$

$$c_2 = \begin{cases} 1 & \text{om } T_0 > 1 \\ 0 & \text{om } T_0 \leq 1 \end{cases}$$

där i_r = strålningens infallsvinkel mot reflektorn
 r_{DR} = reflektorns reflexionsfaktor för riktad reflexion av direkt infallande strålning
 I_{DN} = irradiansen av direkta strålningen mot strålningens normalplan.

Infallsvinkeln mot solfångaren för den riktade strålningen från reflektorn beräknas på följande vis.

Antag att reflektorn har så stor utbredning att hela solfångaren träffas av reflekterad strålning. Irradiansen mot solfångarens yta är då

$r_{DR} \cdot I_{DN} \cdot \cos i_r \cdot (B_0 - A_0) \cdot \sin \beta / \cos \beta_r$, se ekv. (AII.19). Irradiansen mot strålningens normalplan efter reflexion är $r_{DR} \cdot I_{DN}$. Infallsvinkeln mot solfångaren beräknas då

$$\begin{aligned} \cos i_{rs} &= r_{DR} \cdot I_{DN} \cos i_r \cdot (B_0 - A_0) \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta_r} / \{r_{DR} \cdot I_{DN}\} = \\ &= \frac{\cos i_r \cdot \sin \beta}{\cos \beta_r} \cdot (B_0 - A_0) \end{aligned} \quad (\text{AII.21a})$$

Om endast $\cos i_{rs}$ ska beräknas vid något enstaka tillfälle och inga mellanresultat enligt tidigare ekvationer föreligger genomförs beräkningen enklast

$$\cos i_{rs} = -\bar{r} \cdot \bar{e}_{sn}$$

där \bar{r} är den reflekterade strålningens enhetsvektor, se FIG. AII.4 och \bar{e}_{sn} är enhetsvektorn av normalen till solfångaren, $\bar{e}_{sn} = (0, -\sin \beta, \cos \beta)$.

$$\begin{aligned} \cos i_{rs} &= (\cos h \cos a \cos 2\beta_r - \sin h \sin 2\beta_r) \sin \beta \\ &\quad - (\sin h \cos 2\beta_r + \cos h \cos a \sin 2\beta_r) \cos \beta \end{aligned} \quad (\text{AII.21b})$$

Behandling av fall då reflektorns ovansida hamnar i reflektorns egen skugga:

Dessa fall karakteriseras av att $\cos i_r$ är negativ. I stället för att träffas av reflekterad strålning skuggas solfångaren helt eller delvis av reflektorn. Den del av medelirradiansen tagen över hela solfångarens yta som måste subtraheras till följd av skuggningen kan beräknas på samma sätt som irradiansen från reflekterad strålning. Man kan anta en fiktiv instrålningsriktning mot reflektorn så att efter reflexion strålningsriktningen överensstämmer med den verkliga infallande. Asimuten för den fiktiva strålningen mot solfångaren är identisk med solasimuten, dvs. $\alpha_r = \alpha$.

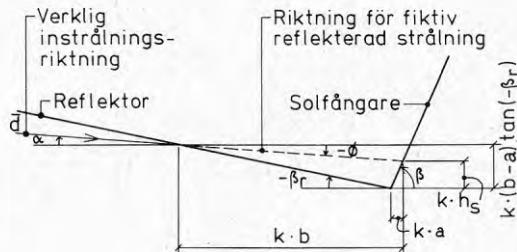


FIG. AII.7. Sidovy av solfångare och reflektor. Fallet då reflektorns ovansida hamnar i reflektorns egen skugga.

Eftersom instrålningsriktningen ges genom vektorn

$$\bar{d} = (\cos h \sin \alpha, \cos h \cos \alpha, -\sin h)$$

beräknas vinkeln α i FIG. AII.7

$$\tan \alpha = \frac{\sin h}{\cos h \cos \alpha} = \frac{\tan h}{\cos \alpha} \quad (\text{AII.22})$$

vilket även framgår av FIG. AII.6.

Enligt FIG. AII.7 och definitionen av positiv riktning för vinkeln ϕ gäller

$$\phi = -\alpha$$

Med detta värde på ϕ och med $\alpha_r = \alpha$ kan minskningen av irradiansen mot solfångaren orsakad av skuggning från reflektorn beräknas på samma sätt som ökningen av irradiansen genom reflexion från reflektorn. Således finner man

$$\begin{aligned} k \cdot b &= \{k(b-a)\tan(-\beta_r) - k \cdot h_s\} \cot(-\phi) = \\ &= \{-k(b-a)\tan \beta_r - k \cdot h_s\} \cdot (-1) \cot \phi = \\ &= k\{h_s + (b-a)\tan \beta_r\} \cot \phi \quad \text{osv.} \end{aligned}$$

dvs. samma uttryck som härletts tidigare.

Om således $\cos i_r < 0$ behöver endast följande ändringar av tidigare givna ekvationer företas:

$$\text{ekv. (AII.13) byts mot } \tan \alpha_r = \tan \alpha \quad (\text{AII.23})$$

$$\begin{aligned} \text{ekv. (AII.14) byts mot } \tan \phi &= -\tan h/\cos \alpha \\ &(\text{AII.24}) \end{aligned}$$

dessutom sätts $r_{DR} = 1$.

Minskningen av irradiansen får sitt negativa tecken genom att $\cos i_r$ är negativ.

Infallsvinkeln mot solfångaren för den fiktiva reflekterade strålningen är identisk med infallsvinkeln för den direkta solstrålningen mot solfångaren.

APPENDIX III

BERÄKNING AV FLÖDESAKTORN F_R FÖR SOLFÅNGARE
AV FABRIKAT LENNOX LSC 18-1

Ett tvärsnitt genom solfångaren visas i FIG. AIII.1.

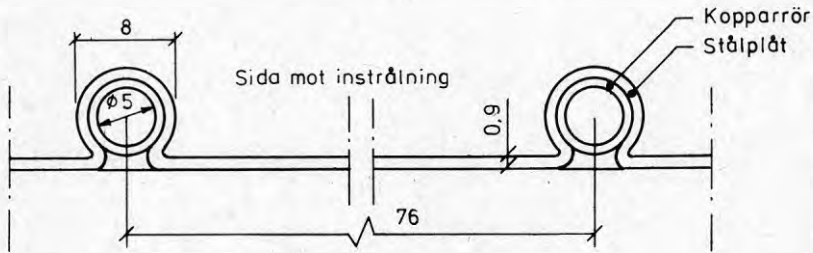


FIG. AIII.1. Tvärsnitt genom solfångare Lennox LSC 18-1. Mått i mm.

Nedan givna ekvationer för bestämning av F_R återfinns i ett flertal litteraturkällor som behandlar solvärmeteknikens grunder, t.ex. Duffie & Beckman (1974).

$$F_R = \frac{G \cdot c_v}{k} \cdot \left[1 - e^{-\frac{F_1 \cdot k}{G \cdot c_v}} \right] \quad (\text{AIII.1})$$

$$G = \frac{\dot{m}}{B \cdot L \cdot n} \quad (\text{AIII.2})$$

$$F_1 = \frac{\frac{1}{k}}{B \left[\frac{1}{k \cdot \{(B-D) \cdot F + D\}} + M_\alpha \right]} \quad (\text{AIII.3})$$

$$M_\alpha = \frac{1}{\Omega \cdot \alpha_v} \quad (\text{AIII.4})$$

$$F = \frac{\tanh\left(\mu \cdot \frac{B-D}{2}\right)}{\mu \cdot \frac{B-D}{2}} \quad (\text{AIII.5})$$

$$\mu^2 = \frac{k}{\lambda_a \cdot \delta} \quad (\text{AIII.6})$$

- där \dot{m} = vattenflödet, kg/s
- B = c/c-avståndet mellan rören i absorbatoren
- D = projicerad bredd av den del av absorbatörplåten som omsluter ett rör, m
- L = absorbatörens längd, m
- n = antalet rör i absorbatoren som tillsammans har vattenflödet \dot{m}
- c_v = vattnets värmekapacitivet, J/kg
- k = solfångarens värmeförlustkoefficient, $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- δ = absorbatörplåtens tjocklek, m
- λ_a = absorbatörplåtens värmeledningsförmåga, $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
- α_v = värmeövergångstalet mellan rörvägg och vatten i absorbatoren, $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- Ω = inre omkretsen hos ett rör i absorbatoren, m

Data för den aktuella solfångaren:

- $B \approx 0,076 \text{ m}$
- $D \approx 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ enligt ritning, bör antas $7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ eftersom flänsen annars antas för kort (B-D)
- $L \approx 1,70 \text{ m}$
- $n = 10$
- $c_v = 4190 \text{ J/kg}$
- $k \approx 3,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- $\delta = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- $\lambda_a \approx 55 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$$\alpha_v \approx 1500 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Omega \approx 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

Med dessa värden erhålls följande resultat

$$\mu^2 = \frac{3,6}{55 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}} \quad \mu = 8,53$$

$$\mu \cdot (B-D)/2 = 8,53 \cdot (0,076 - 0,007)/2 = 0,294$$

$$F = \frac{\tanh(0,294)}{0,294} = 0,972$$

$$M_\alpha = 1/(0,016 \cdot 1500) = 0,0417$$

$$F_1 = \frac{1/3,6}{0,076 \left[\frac{1}{3,6 \{ (0,076 - 0,007) \cdot 0,972 + 0,007 \}} + 0,0417 \right]} =$$

$$= 0,964$$

$\dot{m} \cdot 60$ kg/minut	$\frac{G \cdot c_v}{k}$	F_R
0,8	12,01	0,926
1,0	15,01	0,934
1,2	18,02	0,939
1,4	21,02	0,942
1,6	24,02	0,945
1,8	27,02	0,947
2,0	30,03	0,949
2,2	33,03	0,950
2,4	36,03	0,951

APPENDIX IV

BERÄKNING AV KOEFFICIENTERNA A_1 OCH A_2 I SOLFÅNGARENS
EFFEKTEKVATION FÖR SOLFÅNGARE AV FABRIKAT LENNOX LSC 18-1

Solfångaren har en glasning med 2 glas. Den fullständiga effektekvationen för solfångare med 2 glas återfinns i appendix I.

I det aktuella fallet är $\theta_i = \theta_\ell$ dvs. $E = 0$.

Uttrycket C:

$$\varepsilon_2 \approx 0,9$$

$$R \approx 50 \text{ W/m}^2 \text{ (kan i det enskilda fallet bli uppåt } 70 \text{ W/m}^2\text{)}$$

$$m_u / (m_1 + m_2 + m_u) \approx 0,1$$

$$C \approx 0,9 \cdot 50 \cdot 0,1 = 5 \text{ W/m}^2$$

Detta lilla och osäkra värde kan vid praktiska tillämpningar försummas.

Ekv. AI.2 efter dessa förenklingar

$$P_n = F_R (A_1 \cdot I_D + A_2 \cdot I_d - k \cdot \Delta\theta) \quad (\text{AIV.1})$$

där $A_1 = A_D + B$

$$A_2 = A_d + B$$

$$k = \left(\frac{1}{m_1 + m_2 + m_u} + \frac{1}{m_{isol}} \right)$$

$$\Delta\theta = \theta_{vi} - \theta_\ell$$

F_R , se appendix III.

$$(\tau_1 \tau_2 a) = \frac{\tau \cdot a}{1 - (1-a)(1-\tau_{rd})}$$

där τ_{rd} = totala transmissionskoefficienten med enbart hänsyn till reflexion, avseende diffus strålning (ca 60° infallsvinkel).

a = absorptionskoefficienten för solstrålning hos absorbatoren.

$$\tau = \tau_r \cdot \tau_a$$

där τ_r = transmissionskoefficient med enbart hänsyn till reflexion

τ_a = transmissionskoefficient med enbart hänsyn till absorption i glaset.

$$\tau_r = \frac{1-r}{1+(2N-1) \cdot r}$$

$$\tau_a = (1-a_g)^N$$

där N = antal glas

a_g = glasets absorptionskoefficient för solstrålning

r = glasytans reflexionsfaktor.

Då transmissionskoefficienten är bestämd för ett glas utan absorption kan glasytans reflexionsfaktor beräknas

$$r = \frac{1-\tau_r}{1+\tau_r}$$

Beräknade värden utgående från materialdata givna av fabrikanten

Transmissionskoefficienten för ett glas: 0,96

Absorptionskoefficienten för absorbatorytan: 0,94

Ingen nämnvärd absorption i glaset. $B = 0$.

$$r = \frac{1-0,96}{1+0,96} = 0,0204$$

$$\tau_r = \frac{1-0,0204}{1+3 \cdot 0,0204} = 0,923 \quad \tau_{r_d} \approx 0,8 \text{ (storleksordning räcker)}$$

$$(\overline{\tau_1 \tau_2 a})_D = \frac{0,923 \cdot 0,94}{1-(1-0,94)(1-0,8)} = 0,88 \text{ (nära vinkelrätt infall)}$$

$A_1 - A_2 \approx 0,07$ antas. (Vid antireflexbehandling avtar transmissionen långsammare med infallsvinkeln än för obehandlat glas, Mar et al., 1975).

$$\underline{A_1 = 0,88}$$

$$\underline{A_2 = 0,81}$$

Beräknade värden utgående från egna bestämningar av materialdata

Transmissionskoefficienten för ett glas: 0,90 (0,897)

Total reflexionskoefficient för ett glas: 0,068

Absorptionskoefficienten för absorbatortytan: 0,94.

Glasytans reflexionsfaktor och glasets absorptionskoefficient beräknas med hänsyn till sekundära reflexioner vid glasytorna, se FIG. AIV.1.

Ekv. för total reflexionskoefficient

$$r + r(1-r)^2(1-a_g)^2 \approx 0,068$$

Ekv för transmissionskoefficient

$$(1-r)^2(1-a_g)^2 \approx 0,897$$

Ekvationerna har lösningen $r = 0,036$, $a_g = 0,035$.

Transmissionskoefficienten för 2 glas

$$\tau = \tau_r \cdot \tau_a = \frac{1-0,036}{1+3 \cdot 0,036} \cdot (1-0,035)^2 = 0,810$$

$$(\overline{\tau_1 \tau_2 a})_D = \frac{0,810 \cdot 0,94}{1-(1-0,94)(1-0,8)} = 0,77$$

$$A_1 = (\tau_1 \tau_2 a) D^{+a} \tau_2 \cdot \frac{m_2 + m_u}{m_1 + m_2 + m_u} + a_g \frac{m_u}{m_1 + m_2 + m_u} \approx$$

$$\approx 0,77 + 0,035 \cdot 0,90 \cdot 0,4 + 0,035 \cdot 0,1 = \underline{0,79}$$

$$A_1 - A_2 \approx 0,08 \quad (\text{mindre god antireflexbehandling})$$

$$A_2 \approx \underline{0,71}$$

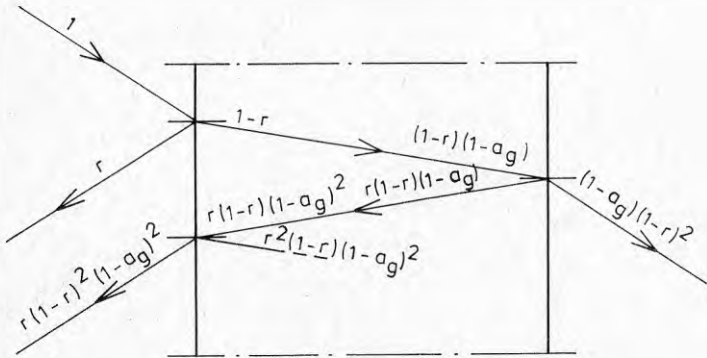


FIG. AIV.1. Instrålning mot en glasskiva med åtföljande transmissions- och reflexionsandelar. I figuren har medtagits de transmissions- och reflexionstermer som har någon praktisk betydelse för totala andelarna transmitterad och reflekterad strålning med hänsyn till sekundära reflexioner. Om totala andelarna transmitterad och reflekterad strålning är experimentellt bestämda med t.ex. spektrometer kan utgående från dessa bestämmningar och denna figur glasytans reflexionsfaktor r och glasets absorptionskoefficient a_g beräknas.

APPENDIX V

VÄRMEBEHOV HOS DET VÄRMESNÅLA SMÅHUSET,
KLIMATDATA M.M. FÖR BERÄKNING AV FÖRSÖRJ-
NINGSGRADER PÅ OLIKA ORTER I SVERIGE

Det värmesnåla husets värmebehov

Data:

plan area: 120 m²

våningshöjd: 2,50 m

fönsterarea: 10 m²

k-värden:

ytterväggar och vindsbjälklag: 0,14
motsvarar ca 35 à 40 cm mineralull och
reglar

golvbjälklag, platta: 0,14
motsvarar ca 30 cm mineralull i yttre
randfält och 15 cm i inre randfält

fönster: 1,0
avser 3 glas och 2 värmespeglar i varsin
spalt

ventilation balanserad, 0,5 luftomsättningar
per timme, 70 % värmeåtervinning från venti-
lationsluften vid värmebehov

varmvatten: 20 kWh/dygn, 50 % värmeåtervinning
vid värmebehov.

Transmissionsförluster per °C:

omslutande area bjälklag och väggar:

$$\sqrt{120} \cdot 3,0 \cdot 4 + 120 \cdot 2 - 10 = 361 \text{ m}^2.$$

transmitterad energi per dygn och °C:

$$(361 \cdot 0,14 + 10 \cdot 1,0) \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 1,45 \text{ kWh/dygn} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Ventilationsförluster per °C:

$$\text{luft: } \gamma = 1,293 \text{ kg/m}^3, c_p = 1,00 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C},$$

$$\gamma c_p = 0,359 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}.$$

luftvolym: $2,5 \cdot 120 = 300 \text{ m}^3$. 0,5 oms/h och
70 % återvinning.

energi till ventilationsluft per dygn och °C:

$$300 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,359 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 0,39 \text{ kWh/dygn} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Antag för det värmesnåla huset samma lokala klimat som för nälstahuset 1964-65. Av SMHI registrerade månadsmedelvärden över lufttemperaturen (TAB. AV.2) och antalet soltimmar (TAB. AV.3) för Stockholm under denna tid ansluter sig mycket nära till normalårets värden (1931-60).

Energibehov till transmissions- och ventilationsförluster under de olika månaderna för det värmesnåla huset beräknas genom proportionering i förhållande till nälstahusets transmissions- och värmeförluster.

Transmissions- och ventilationsförluster under vintern hos nälstahuset, temperaturdifferens ca 25°C: ca 80 kWh/dygn.

Transmissions- och ventilationsförluster under vintern hos det värmesnåla huset, temperaturdifferens ca 25°C

$$25 \cdot (1,45 + 0,39) = 46 \text{ kWh/dygn}$$

Proportioneringsfaktor: $46/80 = 0,58$.

Mån.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
kWh/d	46	46	37	28	17 ^a	g ^b	g ^b	g ^b	17 ^a	28	37	46

^a Antaget med ledning av uppmätt utetemp. och med inverkan av solinläckning.

^b Försörjs med gratisvärme.

Varmvatten: 20 kWh/dygn. Värmeåtervinning ur varmvattenet 50 % under september-maj.

Gratisvärme från hushållsel, belysning och människor
(Munther, 1974, Energiförbrukning i småhus, avsnitt 6.2.1).

hushållsenergi:	3000 kWh/år	→	12 kWh/dygn
personer:	<u>1000 kWh/år</u>	→	<u>4 kWh/dygn</u>
summa:	4000 kWh/år		16 kWh/dygn

Energi från solinläckning genom fönster finns inräknad i värdena från nälstahuset. Genom proportioneringen ovan minskar solinläckningens inverkan på det värmsnåla huset. Nälstahuset var obebott och persiennerna var alltid uppdragna. I ett bebott hus kan man förmoda att persiennerna tidvis är fördragna. Hänsynen till solinläckningen bör således vara ungefär riktig.

Gratisvärmerna kan lätt ge övertemperaturer inomhus under våren och hösten eftersom värmebehovet är mindre än under vintern och stora värmetillskott kan komma från solinläckning under soliga dagar. Därför antas följande reducerade värden för gratisvärmerna.

Mån.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
kWh/d	16	16	12	10	7	g	g	g	7	10	12	16

Energibalansen för huset är sammanfattad i TAB. AV.1.

TAB. AV.1. *Energibalansen, kWh/dygn, för det värmsnåla småhuset. Antagna klimatdata gäller Nälsta 1964/65.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåtervinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	46	20	10	16	40
F	46	20	10	16	40
M	37	20	10	12	35
A	28	20	10	10	28
M	17	20	10	7	20
J	8	20	0	8	20
J	8	20	0	8	20
A	8	20	0	8	20
S	17	20	10	7	20
O	28	20	10	10	28
N	37	20	10	12	35
D	46	20	10	16	40

TAB. AV. 2. Lufttemperaturer °C.

Mån.	Nälsta, medel 1964-65	Stockholm, medel SMHI, 1964-65	Stockholm SMHI, 1931-60
Sept.		+12,0	+12,2
Okt.	+5,8 ^{a)}	+ 7,6	+ 7,1
Nov.	+1,9	+ 2,7	+ 2,8
Dec.	-1,0	- 0,3	+ 0,1
Jan.	-2,2	- 1,3	- 2,9
Febr.	-4,3	- 3,8	- 3,1
Mars	-1,3	- 0,5	- 0,7
Apr.	+4,1	+ 4,0	+ 4,4
Maj			+10,1

a) Avser 15-31 okt.

TAB. AV. 3. Jämförelse mellan antalet soltimmar för varje månad i Stockholm under försöksperioden och under normalåret 1931-60 enligt SMHI:s registreringar.

Mån.	Soltimmar enligt SMHI, 1964-65	Soltimmar normalåret 1931-60
Sept.	172	174
Okt.	112	103
Nov.	55	41
Dec.	30	26
Jan.	42	41
Febr.	77	76
Mars	168	151
Apr.	141	208
Maj	353	292

Det värmesnåla husets värmebehov på några andra orter i Sverige beräknas med utetemperaturen för normalåret (TAB. AV.4). En närmare utredning i syfte att finna lämpligare värden för utetemperaturen är inte motiverad för beräkningen av försörjningsgraderna. Det är tillräckligt med en rimligt antagen variation av värmebehovet under året för att dra de rätta slutsatserna av beräkningsresultatet.

Utvalda orter: Malmö, Göteborg, Västervik, Örebro, Umeå. För att jämförelsen med Stockholm ska avse ett normalår tas även Stockholm Bromma med.

TAB. AV.4. Normaltemperaturer °C.

Mån.	Malmö	Göteborg	Västervik	Örebro	Umeå	Stockholm Bromma
J	-0,5	-0,9	-2,0	-4,0	-7,8	-3,5
F	-0,7	-1,2	-2,2	-3,9	-7,7	-3,8
M	1,4	1,3	0,0	-1,0	-4,4	-1,2
A	6,0	6,0	4,8	4,5	1,3	4,2
M	11,0	11,5	9,7	10,4	7,5	10,0
J	15,0	15,2	14,6	14,6	12,7	14,7
J	17,2	17,5	17,4	17,1	16,3	17,6
A	16,7	16,8	16,4	15,6	14,6	16,4
S	13,5	13,1	12,3	11,1	9,5	12,0
O	8,9	8,6	7,6	6,0	3,5	6,8
N	4,9	4,5	3,5	1,7	-0,9	2,5
D	2,0	1,8	0,8	-1,0	-4,3	-0,4

Husets energibehov för att täcka transmissions- och ventilationsförluster beräknas utgående från de framräknade specifika förlusterna, 1,84 kWh/dygn·°C, temperaturen inomhus +22°C och temperaturen utomhus lika med normaltemperaturen enligt ovan. Energibehoven framgår av TAB. AV.5-10.

Hur mycket gratisvärme som tillförs på de olika orterna är något osäkert att närmare precisera. Eftersom det räcker att känna storleksordningen för beräkningen av försörjningsgraderna antas för enkelhetens skull samma värden för alla orterna.

TAB. AV.5. *Energibalans Malmö. kWh/dygn.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåter- vinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	41	20	10	16	35
F	42	20	10	16	36
M	38	20	10	12	36
A	29	20	10	10	29
M	20	20	10	7	23
J	8	20	0	8	20
J	8	20	0	8	20
A	8	20	0	8	20
S	16	20	10	6	20
O	24	20	10	10	24
N	32	20	10	12	30
D	37	20	10	16	31

TAB. AV.6. *Energibalans Göteborg. kWh/dygn.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåter- vinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	42	20	10	16	36
F	43	20	10	16	37
M	40	20	10	12	38
A	29	20	10	10	29
M	19	20	10	7	22
J	8	20	0	8	20
J	8	20	0	8	20
A	8	20	0	8	20
S	16	20	10	6	20
O	25	20	10	10	25
N	32	20	10	12	30
D	37	20	10	16	31

TAB. AV.7. *Energibalans Västervik. kWh/dygn.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåter- vinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	44	20	10	16	38
F	44	20	10	16	38
M	40	20	10	12	38
A	32	20	10	10	32
M	23	20	10	7	26
J	g	20	0	g	20
J	g	20	0	g	20
A	g	20	0	g	20
S	18	20	10	7	21
O	26	20	10	10	26
N	34	20	10	12	32
D	39	20	10	16	33

TAB. AV.8. *Energibalans Örebro. kWh/dygn.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåter- vinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	48	20	10	16	42
F	48	20	10	16	42
M	42	20	10	12	40
A	32	20	10	10	32
M	21	20	10	7	24
J	g	20	0	g	20
J	g	20	0	g	20
A	g	20	0	g	20
S	20	20	10	7	23
O	29	20	10	10	29
N	37	20	10	12	35
D	42	20	10	16	36

TAB. AV.9. *Energibalans Umeå. kWh/dygn.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåter- vinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	55	20	10	16	49
F	55	20	10	16	49
M	49	20	10	12	47
A	38	20	10	10	38
M	27	20	10	7	30
J	g	20	0	g	20
J	g	20	0	g	20
A	g	20	0	g	20
S	23	20	10	7	26
O	34	20	10	10	34
N	42	20	10	12	40
D	48	20	10	16	42

TAB. AV.10. *Energibalans Stockholm Bromma. kWh/dygn.*

Mån.	Transm.o. vent.förl.	Varm- vatten	Värmeåter- vinning varmvatten	Gratis- värme	Värmebehov summa
	-	-	+	+	-
J	47	20	10	16	41
F	48	20	10	16	42
M	43	20	10	12	41
A	33	20	10	10	33
M	22	20	10	7	25
J	g	20	0	g	20
J	g	20	0	g	20
A	g	20	0	g	20
S	18	20	10	7	21
O	28	20	10	10	28
N	36	20	10	12	34
D	41	20	10	16	35

Latituder och klimatdata för beräkning av
infångad solenergi: TAB. AV.11-13

TAB. AV.11. *Latituder*

Ort	Latitud °N
Malmö	56
Göteborg	58
Västervik	58
Örebro	59
Umeå	64
Stockholm Bromma	59

TAB. AV.12. *Utluftens medeltemperatur under dagen*
(kl. 08-18), °C.

Mån.	Malmö	Göteborg	Västervik	Örebro	Umeå	Stockholm Bromma
J	0,2	-0,9	-1,8	-3,5	-7,5	-2,8
F	0,3	-0,6	-1,4	-2,8	-6,5	-2,5
M	2,8	2,4	1,5	0,9	-3,3	0,7
A	8,2	7,5	6,8	7,1	3,3	6,3
M	13,3	13,1	11,5	13,1	9,3	11,9
J	17,1	16,7	16,5	17,1	14,3	16,6
J	19,0	19,0	19,2	19,6	17,9	19,5
A	19,0	18,3	18,5	18,2	16,8	18,3
S	23,0	14,5	20,4	13,4	11,2	13,6
O	15,0	9,0	12,5	7,5	4,7	7,9
N	5,6	4,7	3,9	2,4	-0,6	3,1
D	2,6	2,0	1,0	-0,5	-4,0	0,2

TAB. AV. 13. Antalet helklara, halvklara och mulna dagar.

Mån.	Malmö			Mån.	Göteborg		
	Helklara	Halvklara	Mulna		Helklara	Halvklara	Mulna
J	3,1	8,7	19,2	J	4,1	8,8	18,1
F	3,0	8,6	16,4	F	4,1	9,2	14,7
M	6,2	11,4	13,4	M	7,1	10,2	13,7
A	5,5	12,9	11,6	A	6,2	11,3	12,5
M	7,6	15,3	8,1	M	7,6	13,2	10,2
J	6,5	15,1	8,4	J	5,5	13,5	11,0
J	5,2	17,0	8,8	J	5,0	14,8	11,2
A	5,2	16,2	9,6	A	4,8	14,1	12,1
S	5,6	15,3	9,1	S	4,6	12,4	13,0
O	3,8	12,8	14,4	O	3,8	10,9	16,3
N	1,8	9,4	18,8	N	1,8	8,1	20,1
D	2,0	7,9	21,1	D	2,4	8,1	20,5

Mån.	Västervik			Mån.	Örebro		
	Helklara	Halvklara	Mulna		Helklara	Halvklara	Mulna
J	4,3	8,9	17,8	J	4,1	8,6	18,3
F	3,9	8,6	15,5	F	4,7	8,5	14,8
M	7,3	10,9	12,8	M	7,1	10,6	13,3
A	5,7	13,9	10,4	A	5,2	13,2	11,6
M	8,6	13,4	9,0	M	6,6	14,8	9,6
J	6,9	15,6	7,5	J	4,9	16,1	9,0
J	7,3	15,5	8,2	J	5,0	16,9	9,1
A	6,7	15,6	8,7	A	5,2	15,6	10,2
S	6,2	14,7	9,1	S	5,1	14,1	10,8
O	4,5	12,7	13,8	O	4,3	11,8	14,9
N	2,8	9,2	18,0	N	3,0	7,5	19,5
D	2,6	8,6	19,8	D	3,0	8,2	19,8

Mån.	Umeå			Mån.	Stockholm Bromma		
	Helklara	Halvklara	Mulna		Helklara	Halvklara	Mulna
J	6,1	9,4	15,5	J	2,9	9,1	19,0
F	5,4	10,1	12,5	F	3,2	8,6	16,2
M	7,2	11,9	11,9	M	6,6	10,9	13,5
A	6,2	12,8	11,0	A	4,9	14,2	10,9
M	7,4	15,5	8,1	M	7,3	14,7	9,0
J	5,8	14,8	9,4	J	5,8	16,1	8,1
J	6,1	16,1	8,8	J	5,9	16,8	8,3
A	6,2	14,7	10,1	A	5,3	16,4	9,3
S	4,6	13,9	11,5	S	4,3	14,9	10,8
O	5,4	11,9	13,7	O	3,6	11,8	15,6
N	4,1	8,6	17,3	N	2,0	7,6	20,4
D	4,9	9,1	17,0	D	1,9	8,0	21,1

APPENDIX VI

EXEMPEL PÅ EN RESULTATUTSKRIFT FRÅN EN
DATORBERÄKNING I FÖRKORTAD ÅTERGIVNING

INST-FÖR BYGGNADSTEKNIK, KTH
VALDIS GIRDU

FÖRENKLAD BERÄKNING AV MÖJLIGA ENERGITILLSKOTT FRÅN SOLVÄRMSYSTEM

BERÄKNINGSPRINCIPER ENLIGT ARBETSRAPPORT AV VALDIS GIRDU

A: INSTÄLLINGSBERÄKNING

B: BERÄKNING AV INFÄNGAD SOLENERGI

LATTITUD: 60 GRADER NÖRR MARKENS REFLEXIONSFAKTOR: 0.20

SOLFÄNGAREN: ABSORBERATORS EPSILON: 0.10 ANTAL GLAS: 2

YTANS LUTNING: 70 GRADER, VÄND MOT SÖDER

ANDEL ABSORBERAD DIREKT STRÅLNING: 0.87

HORISONTAVSKÄRMNING: 10 GRADER

ANDEL ABSORBERAD DIFFUS STRÅLNING: 0.80

VINDHASTIGHET: 5M/S

DRIFTEMPERATUR I SOLFÄNGAREN: 45GRADER C

MÄNAD: JANUARI

ANTAL HELKLARA DAGAR: 2.9 HALVKLARA: 9.1 OCH MÖLNÄ: 19.0

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: -2.8
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.2W/M2*K VÄRMEFÖRLUSTER: 10.4W/M2

KL	INF- W/M2	WINK GR	DIR. W/M2	DIF. W/M2	TOT. W/M2	HELKLART W/M2	HALVKLART W/M2	MULET W/M2	DIR. W/M2	DIF. W/M2	TOT. W/M2
9	64.	44.	0.	9.	9.	0.	8.	2.	0.	0.	0.
10	432.	31.	0.	69.	69.	78.	78.	19.	0.	0.	0.
11	566.	18.	0.	97.	97.	124.	124.	30.	0.	0.	0.
12	600.	13.	0.	106.	106.	140.	140.	34.	0.	0.	0.
DYGNS-SUMMA	0.	456.	456.	0.	561.	561.	134.				

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNIGHET: 9.0KWH/M2
VARAV DIREKT: 0.0KWH/M2 OCH DIFFUST: 9.0KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN: 0.29KWH/M2

MÄNAD: FEBRUARI

ANTAL HELKLARA DAGAR: 3.2 HALVKLARA: 8.6 OCH MÖLNÄ: 16.2

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: -2.5
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.2W/M2*K VÄRMEFÖRLUSTER: 10.3W/M2

KL	INF- W/M2	WINK GR	DIR. W/M2	DIF. W/M2	TOT. W/M2	HELKLART W/M2	HALVKLART W/M2	MULET W/M2	DIR. W/M2	DIF. W/M2	TOT. W/M2
8	313.	59.	0.	38.	38.	41.	41.	12.	0.	0.	0.
9	615.	44.	0.	89.	89.	120.	120.	36.	0.	0.	0.
10	725.	30.	0.	119.	119.	145.	145.	54.	0.	0.	0.
11	770.	15.	0.	137.	137.	182.	182.	65.	0.	0.	0.
12	783.	11.	0.	143.	143.	192.	192.	69.	0.	0.	0.
DYGNS-SUMMA	4416.	908.	5324.	2208.	1399.	3606.	402.				

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNIGHET: 54.6KWH/M2
VARAV DIREKT: 33.1KWH/M2 OCH DIFFUST: 21.4KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN: 1.95KWH/M2

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL
MÖLNIGHET: 0.1KWH/M2

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL
MÖLNIGHET: 31.5KWH/M2

MÅNAD: MARS

ANTAL HELKLARA DAGAR: 6.6 HALVKLARA: 10.9 OCH MULNA: 13.5

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 9.7
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.24/M2*K VÄRMEFÖRLUSTER: 954/M2

KL	INF- VINK		HELKART		HALVKLART		MULET	
	W/M2	GR	DIR.	DIF.	DIR.	DIF.	TOT.	DIF.
7	457.	75.	0.	46.	0.	56.	21.	0.
8	689.	61.	339.	86.	425.	170.	300.	49.
9	784.	46.	546.	116.	662.	273.	204.	477.
10	830.	31.	708.	139.	847.	354.	270.	624.
11	852.	18.	811.	153.	964.	405.	317.	722.
12	859.	10.	846.	158.	1004.	423.	334.	757.
DYGNS-SUMMA	5653.	1239.	6892.	2827.	2288.	5114.	777.	

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL MOLNIGHET: 111.7KWH/M2
VARAV DIREKT: 68.1KWH/M2 OCH DIFFUST: 43.6KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN: 3.60KWH/M2

DYGNS-SUMMA

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
MOLNIGHET: 67.9KWH/M2

4865. 3286. 0.

MÅNAD: APRIL

ANTAL HELKLARA DAGAR: 4.9 HALVKLARA: 14.2 OCH MULNA: 10.9

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 6.3
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.14/M2*K VÄRMEFÖRLUSTER: 824/M2

KL	INF- VINK		HELKART		HALVKLART		MULET	
	W/M2	GR	DIR.	DIF.	DIR.	DIF.	TOT.	DIF.
5	89.	107.	0.	6.	0.	6.	3.	0.
6	539.	92.	0.	46.	46.	62.	62.	30.
7	719.	78.	154.	76.	230.	77.	200.	59.
8	804.	63.	360.	103.	462.	180.	371.	108.
9	850.	50.	550.	126.	676.	275.	539.	186.
10	876.	37.	701.	146.	847.	350.	680.	125.
11	889.	26.	797.	158.	956.	399.	774.	136.
12	893.	22.	830.	163.	993.	415.	807.	140.
DYGNS-SUMMA	5953.	1487.	7440.	2977.	3095.	6072.	1234.	

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL MOLNIGHET: 136.1KWH/M2
VARAV DIREKT: 71.4KWH/M2 OCH DIFFUST: 64.7KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN: 4.34KWH/M2

DYGNS-SUMMA

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
MOLNIGHET: 81.4KWH/M2

5055. 3890. 128.

MÅNAD: MAJ

ANTAL HELKLARA DAGAR: 7.3 HALVKLARA: 14.7 OCH MULNA: 9.0
 UTLUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 11.9
 SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.1w/m2*k VÄRMEFÖRLUSTER: 69w/m2

KL	HEMKLART			HALVKLART			MULET			ABSORBERAD ENERGI WH/M2			INFÄNGAD ENERGI		
	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.
4	133.	121.	0.	9.	9.	10.	4.	4.	4.	0.	0.	8.	4.	0.	0.
5	510.	107.	0.	40.	40.	54.	29.	43.	23.	0.	0.	23.	0.	0.	0.
6	691.	93.	0.	63.	63.	100.	56.	80.	45.	0.	11.	0.	11.	0.	0.
7	784.	80.	1.41.	86.	227.	71.	157.	227.	83.	46.	23.	69.	125.	67.	45.
8	838.	66.	3.38.	108.	446.	169.	338.	391.	108.	213.	106.	86.	178.	87.	230.
9	870.	54.	5.17.	129.	646.	259.	549.	130.	232.	417.	209.	103.	232.	104.	451.
10	890.	42.	6.60.	146.	806.	330.	682.	146.	282.	417.	288.	117.	282.	117.	620.
11	900.	34.	7.50.	157.	938.	375.	771.	157.	326.	417.	326.	126.	326.	126.	709.
12	903.	30.	7.82.	161.	943.	391.	802.	160.	340.	417.	329.	129.	329.	129.	740.
DYGNSSUMMA	5594.	1638.	7232.	2797.	3572.	6369.	1588.						4850.	4096.	371.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
 VARAV DIREKT: 81.9KWH/M2 OCH DIFFUST: 78.8KWH/M2
 MEDELVÄRDE PER DYGN: 5.18KWH/M2

DYGNSSUMMA

4850. 4096. 371.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL

MOLNIGHET: 98.9KWH/M2

MÅNAD: JUNI

ANTAL HELKLARA DAGAR: 5.8 HALVKLARA: 16.1 OCH MULNA: 8.1
 UTLUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 16.6
 SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.1w/m2*k VÄRMEFÖRLUSTER: 59w/m2

KL	HEMKLART			HALVKLART			MULET			ABSORBERAD ENERGI WH/M2			INFÄNGAD ENERGI		
	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.	DIR.	DIF.	TOT.
3	1.	135.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
4	324.	121.	0.	24.	24.	29.	14.	23.	11.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
5	582.	158.	0.	48.	48.	69.	39.	55.	31.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6	718.	94.	0.	67.	67.	112.	65.	90.	52.	0.	31.	0.	31.	0.	0.
7	796.	81.	1.31.	88.	219.	66.	167.	233.	92.	39.	20.	73.	51.	95.	15.
8	842.	68.	3.22.	109.	431.	161.	230.	391.	116.	198.	93.	87.	184.	93.	223.
9	871.	55.	4.97.	128.	625.	248.	544.	137.	237.	391.	196.	103.	237.	110.	436.
10	889.	44.	6.34.	145.	719.	317.	356.	153.	273.	417.	274.	116.	284.	123.	605.
11	899.	37.	7.22.	155.	878.	361.	397.	759.	163.	417.	314.	124.	314.	131.	694.
12	902.	33.	7.53.	159.	912.	376.	789.	167.	655.	417.	330.	133.	330.	133.	723.
DYGNSSUMMA	5366.	1688.	7054.	2683.	3726.	6409.	1727.						4742.	4191.	547.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
 VARAV DIREKT: 74.3KWH/M2 OCH DIFFUST: 83.8KWH/M2
 MEDELVÄRDE PER DYGN: 5.27KWH/M2

DYGNSSUMMA

4742. 4191. 547.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL

MOLNIGHET: 99.4KWH/M2

MÅNAD: JULI

ANTAL HELKLARA DAGAR: 5.9 HALVKLARA:16.8 OCH MÖLNA: 8.3 UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 19.5
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE:2.0W/M2*K VÄRMEFÖRLUSTER: 52M/M2

KL	IDN		HELVKLART		HALVKLART		MULET		ABSORBERAD ENERGI WH/M2	DIFFUS	INFÄNGAD ENERGI
	W/M2	GR	DIR.	DIF.	DIR.	DIF.	TOT.	DIF.			
4	146.	121.	0.	11.	0.	11.	11.	5.	0.	8.	4.
5	458.	107.	0.	40.	40.	53.	29.	0.	0.	32.	23.
6	676.	94.	0.	62.	62.	99.	99.	0.	0.	49.	45.
7	776.	80.	137.	84.	221.	155.	223.	83.	4.	22.	66.
8	825.	66.	330.	106.	436.	165.	385.	109.	8	207.	176.
9	858.	54.	507.	127.	634.	254.	287.	128.	9	408.	204.
10	879.	42.	648.	144.	792.	324.	348.	146.	10	562.	281.
11	889.	34.	738.	155.	893.	369.	391.	156.	11	642.	321.
12	893.	31.	768.	159.	928.	384.	407.	159.	12	669.	334.

DYGNS-SUMMA 5487. 1616. 7103. 2744. 3539. 6281. 1582.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNINGHET:160.6KWH/M2
VARAV DIREKT: 78.5KWH/M2 OCH DIFFUST: 82.1KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN:5.18KWH/M2

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
MÖLNINGHET:105.0KWH/M2

MÅNAD: AUGUSTI

ANTAL HELKLARA DAGAR: 5.3 HALVKLARA:16.4 OCH MÖLNA: 9.3 UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 18.2
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE:2.1W/M2*K VÄRMEFÖRLUSTER: 55M/M2

KL	IDN		HELVKLART		HALVKLART		MULET		ABSORBERAD ENERGI WH/M2	DIFFUS	INFÄNGAD ENERGI
	W/M2	GR	DIR.	DIF.	DIR.	DIF.	TOT.	DIF.			
5	100.	107.	0.	7.	0.	7.	7.	3.	0.	6.	3.
6	503.	92.	0.	44.	44.	59.	59.	30.	0.	35.	24.
7	688.	78.	146.	73.	219.	73.	119.	192.	7	55.	27.
8	777.	64.	345.	59.	444.	172.	187.	359.	8	233.	117.
9	826.	50.	531.	123.	654.	266.	258.	106.	9	444.	222.
10	854.	37.	680.	142.	822.	340.	323.	124.	10	591.	296.
11	865.	27.	775.	155.	929.	387.	363.	134.	11	674.	337.
12	873.	22.	807.	159.	965.	404.	385.	138.	12	702.	351.

DYGNS-SUMMA 5760. 1444. 7204. 2880. 3029. 5909. 1216.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNINGHET:146.4KWH/M2
VARAV DIREKT: 77.8KWH/M2 OCH DIFFUST: 68.6KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN:4.72KWH/M2

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
MÖLNINGHET: 97.1KWH/M2

MÄNAD: SEPTEMBER

ANTAL HELKLARA DAGAR: 4.3 HALVKLARA:14.9 OCH MULNA:10.8

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 13.6
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE:2.1W/M2*
VÄRMEFÖRLUSTER: 65W/M2

	IDN	INF- WINK	DIR.	HELKART	HALVKLART	MULET														
	W/M2	GR	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2
6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7	431.	75.	0.	44.	44.	54.	54.	21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
8	654.	61.	320.	82.	402.	160.	126.	286.	49.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
9	751.	46.	521.	111.	632.	260.	199.	459.	72.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
10	800.	32.	680.	134.	816.	340.	264.	604.	89.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
11	824.	18.	781.	148.	829.	391.	310.	701.	101.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
12	831.	11.	816.	153.	969.	408.	327.	735.	104.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

DYGNS-SUMMA 5419. 1190. 6610. 2710. 2236. 4946. 768.

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNINGHET:110.4KWH/M2
VARAV DIREKT: 63.7KWH/M2 OCH DIFFUST: 46.7KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN:3.68KWH/M2

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNINGHET: 72.6KWH/M2

MÄNAD: OKTOBER

ANTAL HELKLARA DAGAR: 3.6 HALVKLARA:11.8 OCH MULNA:15.6

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 7.9
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE:2.1W/M2*
VÄRMEFÖRLUSTER: 79W/M2

	IDN	INF- WINK	DIR.	HELKART	HALVKLART	MULET														
	W/M2	GR	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2
8	271.	59.	0.	33.	33.	36.	36.	10.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
9	568.	44.	407.	82.	489.	203.	112.	315.	34.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
10	683.	30.	595.	112.	707.	297.	176.	473.	51.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
11	732.	15.	708.	130.	838.	354.	220.	574.	62.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
12	747.	1.	747.	136.	883.	373.	236.	609.	66.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

DYGNS-SUMMA 4166. 851. 5017. 2093. 1323. 3406. 382.

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNINGHET: 64.2KWH/M2
VARAV DIREKT: 59.6KWH/M2 OCH DIFFUST: 24.6KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN:2.07KWH/M2

MÄNADSSUMMA MED AKTUELL MÖLNINGHET: 40.0KWH/M2

MÅNAD: NOVEMBER

ANTAL HELKLARA DAGAR: 2.0 HALVKLARA: 7.6 OCH MOLNA: 20.4

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 3.1
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.1 W/M2*°K VÄRMEFÖRLUSTER: 90 W/M2

	IDN	INF-	HELKLART	HALVKLART	MULET
	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2
9	66.	44.	9.	8.	2.
10	407.	31.	65.	75.	18.
11	540.	17.	93.	119.	29.
12	574.	10.	566.	102.	667.

DYGNS-SUMMA 566. 435. 1001. 283. 539. 822. 129.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL MOLNIGHET: 10.9 KWH/M2
VARAV DIREKT: 3.3 KWH/M2 OCH DIFFUST: 7.6 KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN: 10.36 KWH/M2

	ABSORBERAD ENERGI	WH/M2	INFÄNGAD ENERGI
	DIREKT	DIFFUS	
9	0.	7.	7.
10	0.	52.	60.
11	0.	74.	95.
12	492.	246.	81.

DYGNS-SUMMA 484. 276. 0.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
MOLNIGHET: 3.1 KWH/M2

MÅNAD: DECEMBER

ANTAL HELKLARA DAGAR: 1.9 HALVKLARA: 8.0 OCH MOLNA: 21.1

UTELUFTENS TEMPERATUR UNDER DAGEN: 0.2
SOLFÄNGARENS K-VÄRDE: 2.2 W/M2*°K VÄRMEFÖRLUSTER: 96 W/M2

	IDN	INF-	HELKLART	HALVKLART	MULET
	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2	W/M2
10	154.	32.	24.	23.	5.
11	378.	20.	64.	71.	15.
12	436.	13.	76.	87.	87.

DYGNS-SUMMA 0. 252. 252. 0. 275. 275. 60.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL MOLNIGHET: 3.9 KWH/M2
VARAV DIREKT: 0.0 KWH/M2 OCH DIFFUST: 3.9 KWH/M2
MEDELVÄRDE PER DYGN: 0.13 KWH/M2

	ABSORBERAD ENERGI	WH/M2	INFÄNGAD ENERGI
	DIREKT	DIFFUS	
10	0.	19.	19.
11	0.	51.	57.
12	0.	61.	70.

DYGNS-SUMMA 0. 0. 0.

MÅNADSSUMMA MED AKTUELL
MOLNIGHET: 0.0 KWH/M2

ARSSUMMOR

DIREKT INSTÄLNING: 591.7 KWH/M2

DIFFUS INSTÄLNING: 534.9 KWH/M2

SUMMA TOTAL INSTÄLNING: 1126.6 KWH/M2

INFÄNGAD ENERGI: 697.0 KWH/M2

C: BERÄKNING AV ENERGITILLSKOTT FRÅN SOLVÄRMESYSTEM OCH FÖRSÖRJNINGSGRADER

SOLFÄNGAREAREA: 15M2 VÄRMELAGRINGSKAPACITET UTÖVER BEHOVET FÖR DYGSUTJÄMNING: 0KkWh

MÅNAD	INSTRÅLADINFÄNGAD ENERGI		VÄRMEBEHOV		ENERGITILLSKOTT kWh			FÖRSÖRJNINGSGRADER					
	ENERGI kWh/m2	kWh/m2	kWh/D	kWh	ENDAST UTJÄMN UTJÄMN	DYGNS- INOM UTOM	SUMMA	UTJÄMN INOM UTOM	MAN	SUMMA			
JANUARI	9.0	0.1	1.	40.	1240.	1.	0.	0.	0.	0.00	0.0	0.00	
FEBRUARI	54.6	31.5	472.	40.	1120.	419.	0.	0.	0.	419.	0.37	0.0	0.37
MARS	111.7	67.9	1019.	35.	1085.	613.	0.	0.	0.	613.	0.56	0.0	0.56
APRIL	136.1	81.4	1221.	28.	840.	556.	0.	0.	0.	556.	0.66	0.0	0.66
MAJ	160.7	98.9	1484.	20.	620.	490.	0.	0.	0.	490.	0.79	0.0	0.79
JUNI	158.1	99.4	1491.	20.	600.	504.	0.	0.	0.	504.	0.84	0.0	0.84
JULI	160.6	105.0	1575.	20.	620.	522.	0.	0.	0.	522.	0.84	0.0	0.84
AUGUSTI	146.4	97.1	1457.	20.	620.	481.	0.	0.	0.	481.	0.78	0.0	0.78
SEPTEMBER	110.4	72.6	1089.	20.	600.	394.	0.	0.	0.	394.	0.66	0.0	0.66
OKTOBER	64.2	40.0	600.	28.	868.	431.	0.	0.	0.	431.	0.50	0.0	0.50
NOVEMBER	10.9	3.1	46.	35.	1050.	46.	0.	0.	0.	46.	0.04	0.0	0.04
DECEMBER	3.9	0.0	0.	0.	1240.	0.	0.	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0
					SUMMA:10502KWh					SUMMA: 4456KWh			VÄGT MEDELVÄRDE:0.42
					ERFORDERLIG MÅNGD KOMPLETTERANDE ENERGI: 6046KWh								

SOLFÄNGAREAREA: 15M2 VÄRMELAGRINGSKAPACITET UTÖVER BEHOVET FÖR DYGSUTJÄMNING: 225KWh

MÅNAD	INSTRÅLADINFÄNGAD ENERGI		VÄRMEBEHOV		ENERGITILLSKOTT kWh			FÖRSÖRJNINGSGRADER					
	ENERGI kWh/m2	kWh/m2	kWh/D	kWh	ENDAST UTJÄMN UTJÄMN	DYGNS- INOM UTOM	SUMMA	UTJÄMN INOM UTOM	MAN	SUMMA			
JANUARI	9.0	0.1	1.	40.	1240.	1.	0.	0.	0.	0.00	0.0	0.00	
FEBRUARI	54.6	31.5	472.	40.	1120.	419.	0.	0.	0.	472.	0.37	0.05	0.42
MARS	111.7	67.9	1019.	35.	1085.	613.	225.	0.	0.	838.	0.56	0.21	0.77
APRIL	136.1	81.4	1221.	28.	840.	556.	225.	0.	0.	781.	0.66	0.27	0.93
MAJ	160.7	98.9	1484.	20.	620.	490.	130.	0.	0.	620.	0.79	0.21	1.00
JUNI	158.1	99.4	1491.	20.	600.	504.	96.	0.	0.	600.	0.84	0.16	1.00
JULI	160.6	105.0	1575.	20.	620.	522.	98.	0.	0.	620.	0.84	0.16	1.00
AUGUSTI	146.4	97.1	1457.	20.	620.	481.	139.	0.	0.	620.	0.78	0.22	1.00
SEPTEMBER	110.4	72.6	1089.	20.	600.	394.	206.	0.	0.	600.	0.66	0.34	1.00
OKTOBER	64.2	40.0	600.	28.	868.	431.	169.	19.	0.	619.	0.50	0.19	0.69
NOVEMBER	10.9	3.1	46.	35.	1050.	46.	0.	0.	0.	46.	0.04	0.0	0.04
DECEMBER	3.9	0.0	0.	0.	1240.	0.	0.	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0
					SUMMA:10502KWh					SUMMA: 5816KWh			VÄGT MEDELVÄRDE:0.55
					ERFORDERLIG MÅNGD KOMPLETTERANDE ENERGI: 4686KWh								

SOLFÄNGARAREA: 15M2 VÄRMELAGRINGSKAPACITET UTÖVER BEHOVET FÖR DYGNsutJÄMNING: 440KWH

MÅNAD	INSTRÅLADENERGI		VÄRMEBEHOV		ENERGITILLSKOTT		ENDASTIUTJÄMNING		FÖRSÖRJNINGSGRADER				
	KWH/M2	KWH	KWH/M2	KWH/DI	DYGNs-IINOM UTJÄMNING	UTJÄMNING	DYGNs-IINOM UTJÄMNING	UTJÄMNING	UTJÄMNING	UTJÄMNING			
JANUARI	9.0	C.1	1.	40.	1240.	1.	0.	1.	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
FEBRUARI	54.6	31.5	472.	40.	1120.	419.	54.	472.	0.37	0.05	0.0	0.42	0.42
MARS	111.7	67.9	1019.	35.	1085.	613.	406.	1019.	0.56	0.37	0.0	0.94	0.94
APRIL	136.1	81.4	1221.	28.	840.	556.	284.	840.	0.66	0.34	0.0	1.00	1.00
MÅJ	160.7	98.9	1484.	20.	620.	490.	130.	620.	0.79	0.21	0.0	1.00	1.00
JUNI	158.1	99.4	1451.	20.	600.	504.	96.	600.	0.84	0.16	0.0	1.00	1.00
JULI	160.6	105.0	1575.	20.	620.	522.	98.	620.	0.84	0.16	0.0	1.00	1.00
AUGUSTI	146.4	97.1	1457.	20.	620.	481.	139.	620.	0.78	0.22	0.0	1.00	1.00
SEPTEMBER	110.4	72.6	1089.	20.	600.	394.	206.	600.	0.66	0.34	0.0	1.00	1.00
OKTOBER	64.2	40.0	600.	28.	868.	431.	169.	234.	0.50	0.19	0.0	0.96	0.96
NOVEMBER	10.9	3.1	46.	35.	1050.	46.	0.	46.	0.04	0.0	0.0	0.04	0.04
DECEMBER	3.9	0.0	0.	40.	1240.	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
					SUMMA: 10502KWH		SUMMA: 6271KWH		VÄGT MEDELVÄRDE: 0.60				
					ERFORDERLIG MÄNGD KOMPLETTERANDE ENERGI: 4231KWH								

SOLFÄNGARAREA: 15M2 VÄRMELAGRINGSKAPACITET UTÖVER BEHOVET FÖR DYGNsutJÄMNING: 655KWH

MÅNAD	INSTRÅLADENERGI		VÄRMEBEHOV		ENERGITILLSKOTT		ENDASTIUTJÄMNING		FÖRSÖRJNINGSGRADER				
	KWH/M2	KWH	KWH/M2	KWH/DI	DYGNs-IINOM UTJÄMNING	UTJÄMNING	DYGNs-IINOM UTJÄMNING	UTJÄMNING	UTJÄMNING	UTJÄMNING			
JANUARI	9.0	C.1	1.	40.	1240.	1.	0.	1.	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
FEBRUARI	54.6	31.5	472.	40.	1120.	419.	54.	472.	0.37	0.05	0.0	0.42	0.42
MARS	111.7	67.9	1019.	35.	1085.	613.	406.	1019.	0.56	0.37	0.0	0.94	0.94
APRIL	136.1	81.4	1221.	28.	840.	556.	284.	840.	0.66	0.34	0.0	1.00	1.00
MÅJ	160.7	98.9	1484.	20.	620.	490.	130.	620.	0.79	0.21	0.0	1.00	1.00
JUNI	158.1	99.4	1451.	20.	600.	504.	96.	600.	0.84	0.16	0.0	1.00	1.00
JULI	160.6	105.0	1575.	20.	620.	522.	98.	620.	0.84	0.16	0.0	1.00	1.00
AUGUSTI	146.4	97.1	1457.	20.	620.	481.	139.	620.	0.78	0.22	0.0	1.00	1.00
SEPTEMBER	110.4	72.6	1089.	20.	600.	394.	206.	600.	0.66	0.34	0.0	1.00	1.00
OKTOBER	64.2	40.0	600.	28.	868.	431.	169.	268.	0.50	0.19	0.0	0.31	0.31
NOVEMBER	10.9	3.1	46.	35.	1050.	46.	0.	237.	0.04	0.0	0.0	0.18	0.18
DECEMBER	3.9	0.0	0.	40.	1240.	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
					SUMMA: 10502KWH		SUMMA: 6496KWH		VÄGT MEDELVÄRDE: 0.62				
					ERFORDERLIG MÄNGD KOMPLETTERANDE ENERGI: 4006KWH								

SOLFÄNGARAREA: 15M2 VÄRMELAGRINGSKAPACITET UTÖVER BEHOVET FÖR DYGNsutJÄMNING: 1300KWH

MÅNAD	INSTRÅLAD INFÅNGAD ENERGI		VÄRMEBEHOV		ENERGITILLSKOTT KWH		FÖRSÖRJNINGSGRADER						
	ENERGI KWH/M2	KWH/M2	KWH/D	KWH	ENDAST IUTJÄMNI DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN	UTJÄMNI UTOM	SUMMA DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN	ENDAST IUTJÄMNI DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN	SUMMA DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN				
JANUARI	9.0	0.1	1.	4.0	1240.	1.	0.	1.	0.00	0.0	0.0	0.00	
FEBRUARI	54.6	31.5	472.	40.	1120.	419.	54.	0.	472.	0.37	0.05	0.0	0.42
MARS	111.7	67.9	1019.	35.	1085.	613.	406.	0.	1019.	0.56	0.37	0.0	0.94
APRIL	136.1	81.4	1221.	28.	840.	556.	284.	0.	840.	0.66	0.34	0.0	1.00
MAJ	160.7	98.9	1484.	20.	620.	490.	130.	0.	620.	0.79	0.21	0.0	1.00
JUNI	158.1	99.4	1491.	20.	600.	504.	96.	0.	600.	0.84	0.16	0.0	1.00
JULI	160.6	105.0	1575.	20.	620.	522.	98.	0.	620.	0.84	0.16	0.0	1.00
AUGUSTI	146.4	97.1	1457.	20.	620.	481.	139.	0.	620.	0.78	0.22	0.0	1.00
SEPTEMBER	110.4	72.6	1089.	20.	600.	394.	206.	0.	600.	0.66	0.34	0.0	1.00
OKTOBER	64.2	40.0	600.	25.	868.	431.	169.	268.	868.	0.50	0.19	0.31	1.00
NOVEMBER	10.9	3.1	46.	35.	1050.	46.	0.	826.	872.	0.04	0.0	0.79	0.83
DECEMBER	3.9	0.0	0.	40.	1240.	0.	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0	0.0
					SUMMA: 10502KWH		SUMMA: 7131KWH		VÄGT MEDELVÄRDE: 0.68				
					ERFORDERLIG MÄNGD KOMPLETTERANDE ENERGI: 3371KWH								

SOLFÄNGARAREA: 15M2 VÄRMELAGRINGSKAPACITET UTÖVER BEHOVET FÖR DYGNsutJÄMNING: 3000KWH

MÅNAD	INSTRÅLAD INFÅNGAD ENERGI		VÄRMEBEHOV		ENERGITILLSKOTT KWH		FÖRSÖRJNINGSGRADER						
	ENERGI KWH/M2	KWH/M2	KWH/D	KWH	ENDAST IUTJÄMNI DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN	UTJÄMNI UTOM	SUMMA DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN	ENDAST IUTJÄMNI DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN	SUMMA DYGNS- IINOM UTJÄMNI MÅN				
JANUARI	9.0	0.1	1.	4.0	1240.	1.	0.	1.	0.00	0.0	0.23	0.23	
FEBRUARI	54.6	31.5	472.	40.	1120.	419.	54.	0.	472.	0.37	0.05	0.0	0.42
MARS	111.7	67.9	1019.	35.	1085.	613.	406.	0.	1019.	0.56	0.37	0.0	0.94
APRIL	136.1	81.4	1221.	28.	840.	556.	284.	0.	840.	0.66	0.34	0.0	1.00
MAJ	160.7	98.9	1484.	20.	620.	490.	130.	0.	620.	0.79	0.21	0.0	1.00
JUNI	158.1	99.4	1491.	20.	600.	504.	96.	0.	600.	0.84	0.16	0.0	1.00
JULI	160.6	105.0	1575.	20.	620.	522.	98.	0.	620.	0.84	0.16	0.0	1.00
AUGUSTI	146.4	97.1	1457.	20.	620.	481.	139.	0.	620.	0.78	0.22	0.0	1.00
SEPTEMBER	110.4	72.6	1089.	20.	600.	394.	206.	0.	600.	0.66	0.34	0.0	1.00
OKTOBER	64.2	40.0	600.	28.	868.	431.	169.	268.	868.	0.50	0.19	0.31	1.00
NOVEMBER	10.9	3.1	46.	35.	1050.	46.	0.	1004.	1050.	0.04	0.0	0.96	1.00
DECEMBER	3.9	0.0	0.	40.	1240.	0.	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0	1.00
					SUMMA: 10502KWH		SUMMA: 8831KWH		VÄGT MEDELVÄRDE: 0.84				
					ERFORDERLIG MÄNGD KOMPLETTERANDE ENERGI: 1671KWH								

D: SAMMANSTÄLLNING AV ÅRSVÄRDENA FÖR ENERGITILLSKOTT FRÅN SOLVÄRMESYSTEMET, ERFORDERLIG HÄNGD KOMPLETTERANDE ENERGI OCH FÖRSÖRJNINGSGRADER FÖR DE OLIKA VÄRDENA PÅ SOLFANGARAREAN OCH VÄRMELAGRINGSKAPACITETEN.

ENERGITILLSKOTT FRÅN SOLVÄRMESYSTEMET KWH		FÖR SÖRJNINGSGRADER													
VÄRME- LAGER KWH	SOLFANGARAREA M2	5	7	10	15	20	35	VÄRME- LAGER KWH	SOLFANGARAREA M2	5	7	10	15	20	35
0	3306	3794	4162	4456	4612	4922		0	0.31	0.36	0.40	0.42	0.44	0.47	
225	3465	4596	5274	5816	6033	6168		225	0.33	0.44	0.50	0.55	0.57	0.59	
440	3485	4811	5529	6271	6515	6845		440	0.33	0.46	0.53	0.60	0.62	0.65	
665	3485	4879	5754	6496	6773	7292		665	0.33	0.46	0.55	0.62	0.64	0.69	
1300	3485	4879	6389	7131	7408	7927		1300	0.33	0.46	0.61	0.68	0.71	0.75	
3000	3485	4879	6970	8831	9108	9627		3000	0.33	0.46	0.66	0.84	0.87	0.92	

ERFORDERLIG HÄNGD KOMPLETTERANDE ENERGI KWH

VÄRME- LAGER KWH	SOLFANGARAREA M2	5	7	10	15	20	35
0	7196	6708	6340	6046	5890	5580	
225	7017	5906	5228	4686	4469	4333	
440	7017	5691	4973	4231	3987	3657	
665	7017	5623	4748	4006	3729	3210	
1300	7017	5623	4113	3371	3094	2575	
3000	7017	5623	3532	1671	1394	875	

LITTERATUR

- Brown, G & Isfält, E, 1974, Solinstrålning och solavskärmning. (Byggforskningen.) Rapport R19:1974. Stockholm.
- Carlsson, B et al., 1978, Lagring av värme. En översikt över metoder och möjligheter. (Byggforskningen.) Rapport R70:1978. Stockholm.
- Danielsson, P-O, 1978, Termo-Decksystemet - konsekvent utnyttjande av byggnadens ackumuleringsförmåga. (VVS-tekniska föreningen.) Int.konf. VVS -78, avd. Luftbehandling-värmeåtervinning. Stockholm.
- Duffie, J A & Beckman, W A, 1974, Solar Energy Thermal Processes. (John Wiley & Sons.) New York, London, Sydney, Toronto.
- Elmroth, A & Höglund, I, 1973, Värmebalans i småhus. (Byggforskningen.) Rapport R7:1973. Stockholm.
- Energihushållning i befintlig bebyggelse. 1977. (Statens Planverk.) Rapport 41, 1977. Stockholm.
- Flowers, E, 1977, Test and Evaluation of the Performance of Solar Radiation Sensors at Inclination from the Horizontal under Laboratory and Field Conditions. ERDA-NOAA IAA E (49-26)-1041, T003. (National Oceanic and Atmospheric Administration Environmental Research Laboratory.) Boulder, Colorado.
- Forskning och Framsteg, 1978, Salt värmer huset. FoF 6/78.
- Grassie, S L & Sheridan, N P, 1977, The Use of Planar Reflectors for Increasing the Energy Yield of Flat-Plate Collectors. (Solar Energy.) Vol. 19, No 6.
- Heindl, W & Koch, H A, 1976, Die Berechnung von Sonneneinstrahlungsintensitäten für wärmetechnische Untersuchungen im Bauwesen. (Gesundheits-Ingenieur.) 97.
- Höglund, I, 1963, Värmeförluster i småhus - resultat från två försökshus. (Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Meddelande nr 31. Stockholm.
- Höglund, I & Stephenson, D G, 1968, Tabeller för beräkning av solinstrålning mot byggnader. (Byggforskningen.) Rapport R49:1968. Stockholm.
- Höglund, I, 1974, Solenergi för byggnader. (Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Meddelande nr 103. Stockholm.
- Höglund, I & Isakson, P, 1975, Solvärme för hus - en utmaning. (Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Meddelande nr 107. Stockholm.

- Höglund, I & Johnsson, B, 1976, Byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder för energibesparing i äldre byggnader. (Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Meddelande nr 108. Stockholm.
- Johnson, T E, 1977, Lightweight Thermal Storage for Solar Heated Buildings. (Solar Energy.) Vol. 19, no 6.
- Kimura, K & Stephenson, D G, 1969, Solar Radiation on Cloudy Days. (ASHRAE Transactions.) Nr 2106, 1969/II.
- Klein, S A et al., 1975, TRNSYS, A Transient Simulation Program. (Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison. Engineering Experiment Station.) Report 38.
- Klein, S A et al., 1976, A Design Procedure for Solar Heating Systems. (Solar Energy.) Vol. 18, no 2.
- Lawaetz, H, 1975, Beregning af et solvarmesystem. (Laboratoriet for varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole.) Meddelelse nr 40.
- Lunelund, H, 1936, Värmestrålning och ljusstrålning i Finland. (Svenska tekniska vetenskapsakademien i Finland.)
- Mar, H Y B et al., 1975, Optical Coatings for Flat Plate Solar Collectors. (Energy Research and Development Administration.) Final Report. Washington.
- McDaniels, D K et al., 1975, Enhanced Solar Energy Collection Using Reflector-Solar Thermal Collector Combinations. (Solar Energy.) Vol. 17, No 5.
- Munther, K E, 1974, Energiförbrukning i småhus. (Byggnadsforskningen.) Rapport R58:1974. Stockholm.
- Nilsson, O, 1977, Användning av solenergi - en fråga om rätt skala. (Stencil från Statens Vattenfallsverk DDK3-ON/kc, 1977-04-13.)
- Norris, D J, 1974, Calibration of Pyranometers in Inclined and Inverted Positions. (Solar Energy.) Vol. 16, No 1.
- Redaelli, T & Bergendahl, L, 1977, Plana termiska solfångare. Experimentell utvärdering och teoretisk analys av en plan, öppen solfångare. (Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Arbetsrapport. Stockholm.
- Ringblom, L & Peterson, F, 1977, Solenergi för varmvattenberedning. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik. KTH.) Stockholm.
- Sandberg, P I, 1973, Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. (Institutionen för byggnadsteknik, LTH.) Rapport nr 43. Lund.

SMHI:s Årsbok, Supplement till.. 1957, 1958-1971.
Measurements of Solar Radiation in Sweden.

SOU 64, 1974, Energi 1985 2000. Betänkande avgivet av energiprognosutredningen.

SOU 72, 1974, Energiforskning. Program för forskning och utveckling.

SOU 76, 1974, Energiforskning. Expertmaterial utarbetat på uppdrag av Energiprogramkommittén. Avdelning D. Energianvändning för lokalkomfort och hushåll.

Taesler, R, 1972, Klimatdata för Sverige. Stockholm.

Threlkeld, J L, 1963, Solar Irradiation of Surfaces on Clear Days. (Transactions of ASHRAE.) Vol. 69, p. 24. New York.

Wijeysundera, N E, 1978, Geometric Factors for Plane Specular Reflectors. (Solar Energy.) Vol. 20, No 1.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750016-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för
byggnadsteknik, KTH, Göteborg**

R108:1978

ISBN 91-540-2949-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600808

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirka pris: 40 kr exkl moms