



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**

**R75:1977**

149 (654)

Byggnadsstatik

# **Solvärmesystem för tappvarmvatten**

**Lennart Berndtsson  
Sören Lindgren**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VRG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

**Byggforskningen**

Rapport R75:1977

SOLVÄRMESYSTEM FÖR TAPPVARMVATTEN

Lennart Berndtsson

Sören Lindgren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750007-2  
från Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings  
Företagsgrupp AB (Allan Weström).

Nyckelord:

VA-installationer  
solenergi  
solfångare  
varmvatten  
vattenvärmare

UDK 696.4:551.1

R75 : 1977

ISBN 91-540-2764-0  
Statens råd för byggnadsforskning

LiberTryck Stockholm 1977



## INNEHÅLL

	Sid
FÖRORD	4
FIGURFÖRTECKNING	6
ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLVÄRMESYSTEM	8
VARMVATTENBEHOV I BYGGNADER	12
OLIKA PRINCIPLÖSNINGAR FÖR SOLVÄRMNING AV TAPPVATTEN	14
UTVÄRDERING AV LÄMPLIGASTE SOLVÄRMESYSTEM	25
LÖNSAMHETSBEDÖMNING	37
RESULTAT	42
FÖRSLAG TILL FORTSATT UTVECKLINGSARBETE	45
LITTERATUR	47
FIGUR 1-30	49-78
SAMMANFATTNING	79

## FÖRORD

Syftet med denna utredning har varit att undersöka tekniska och ekonomiska förutsättningar för nyttjande av solenergi vid värmning av tappvatten i bostadshus.

Vid den tekniska utformningen av ett solvärmsystem stöter man på en mängd problemställningar som är av principiell natur förutom sådana frågor som kan betecknas som detaljlösningar knutna till ett visst objekt. Problemen koncentrerar sig huvudsakligen kring den del av systemet som skall ta emot solfångarnas värme. Detta beror på att solfångardelens konstruktion är rätt så entydigt bestämd idag genom erfarenheter dels från utländska försöksobjekt, dels från pågående forskning inom landet. Utformningen av övriga systemdelar är dock oklar. Denna utredning har därför inriktats på att utarbeta olika tänkbara systemlösningar utgående från kända och allmänt tillgängliga komponenter såsom solfångare, ackumuleringsstankar, varmvattenberedare, värmepumpar m m. Dessa principlösningar analyseras varvid bl a följande frågeställningar behandlas:

- lämplig systemutformning med hänsyn till funktion och kostnad
- lämpliga vattentemperaturer i solfångarkretsen
- dimensioneringsprinciper för i solvärmsystemen ingående komponenter

En lönsamhetsbedömning presenteras för en villa respektive ett flerfamiljshus avseende det från teknisk-ekonomisk synpunkt mest lämpade solvärmsystemet.

Arbetet har bedrivits vid Wahlings Installationsutveckling AB med civilingenjörerna Sören Lindgren och Lennart Berndtsson som utredningsmän och civilingenjör Allan Weström som projektledare.

I rapporten redovisade data beträffande infångad solenergi vid olika systemlösningar har erhållits från Institutionen för uppvärmning och ventilationsteknik, Tekniska Högskolan (KTH), Stockholm. Detta har möjliggjorts genom välvillig medverkan från tekn. dr Engelbrekt Isfält, som utfört här- för erforderliga datorberäkningar.

Under utredningens gång har ett antal solvärmda hus tagits i bruk inom landet. Från dessa provanläggningar har sådana tillgängliga driftserfarenheter inhämtats som varit av intresse för denna utredning.

FIGURFÖRTECKNING

- FIG 1 Total solinstrålning mot horisontell yta
- FIG 2 Solfångare
- FIG 3 Infångad solenergi per dygn och m<sup>2</sup> södervänd solfångaryta, januari - juni
- FIG 4 Infångad solenergi per dygn och m<sup>2</sup> södervänd solfångaryta, juli - december
- FIG 5 Infångad solenergi per år och m<sup>2</sup> södervänd solfångaryta.
- FIG 6 Infångad solenergi per timme och m<sup>2</sup> södervänd solfångaryta, januari - juni
- FIG 7 Infångad solenergi per timme och m<sup>2</sup> södervänd solfångaryta, juli - december
- FIG 8 Värmebehov för tappvarmvattenberedning under dygn med stor förbrukning
- FIG 9 Största dygnsbehovet av värme för tappvarmvattenberedning. Variationer under året
- FIG 10 Antaget värmebehov för tappvarmvatten. Variation under dygnet
- FIG 11 Antaget värmebehov för tappvarmvatten. Variation under året
- FIG 12 Princip för direktvärmning av tappvarmvatten i solfångare
- FIG 13 Alt. 1 Högtemperatursystem
- FIG 14 Alt. 2 Lågtemperatursystem
- FIG 15 Alt. 3 Komb. hög- och lågtemperatursystem
- FIG 16 Alt. 4 Högtemperatursystem med värmeåtervinning
- FIG 17 Alt. 5 Lågtemperatursystem med värmeåtervinning
- FIG 18 Alt. 6 Komb. hög- lågtemperatursystem med värmeåtervinning

- FIG 19 Avsvlningskurvor för isolerad, cylindrisk vattentank
- FIG 20 Högtemperatursystem. Temp. förlopp i ackumulator
- FIG 21 Högtemperatursystem. Energibesparing
- FIG 22 Lågtemperatursystem. Temp. förlopp i ackumulator
- FIG 23 Lågtemperatursystem. Energibesparing
- FIG 24 Lågtemperatursystem med ca 9 m<sup>2</sup> solfångaryta. Energibesparing
- FIG 25 Komb. hög-låg-temp.system. Energibesparing
- FIG 26 Komb. hög-låg-temp.system med solfångare ca 9 m<sup>2</sup>. Energibesparing
- FIG 27 Högtemp.system med värmeåtervinning. Energibesparing
- FIG 28 Merkostnad per år vid högtemp.system för villa resp. flerfamiljshus som funktion av energipriset (nybyggnad)
- FIG 29 Kalkylexempel enligt system ACGP avseende högtemperatursystem för flerfamiljshus (vid året-runt-drift)
- FIG 30 Exempel på installationer i villa för högtemperatursystem (sommardrift)

## ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLVÄRMESYSTEM

### Solenergi i Sverige

Instrålningen av solenergi i Sverige är mycket ojämnt fördelad under året. FIG 1 illustrerar detta förhållande. /6/. Av den totala instrålningen mot en horisontell yta under året utgör ca 60 % direkt solinstrålning och resterande del himmelsstrålning. Solinstrålningen varierar som framgår av FIG 1 endast obetydligt mellan olika orter inom landet. Jämfört med t ex Arizona och Sahara innebär kurvorna i FIG 1 ca hälften av årsinstrålningen i jordens mest solrika ökenområden.

Av intresse i detta sammanhang är bl a att veta hur antalet soltimmar per månad varierar under året. Nedanstående tabell visar månadsmedelvärden för perioden 1931-1960 enligt SMHI:s statistik för Stockholm.

Månad	Antal soltimmar
Januari	41
Februari	76
Mars	151
April	208
Maj	292
Juni	318
Juli	295
Augusti	248
September	174
Oktober	103
November	41
December	26
Summa	1.973

Av tabellen kan bl a utläsas att antalet soltimmar under månaderna november - februari uppgår till mindre än 10 % av det totala antalet soltimmar under året. De flesta soltimmarna erhålls under tiden april - augusti med juni som högsta månadsmedelvärde.

### Solfångare

Solvärmesystemens konstruktion bygger på att den instrålande solenergin insamlas medelst s k solfångare och i dessa omvandlas till värme. Olika typer av solfångarkonstruktioner har utförligt beskrivits i bl a reserapporter från Israel /10/ och USA /9/ samt i rapporterna /4/ och /5/. Solfångarna kan till formen vara plana eller fokuserande. De i denna utredning tillämpade värdena för infångad solenergi baserar sig på en plan solfångare utförd enligt FIG 2 /6/. Plan solfångare har valts för att man på bästa sätt skall kunna tillgodogöra sig både direkt solstrålning och diffus himmelsstrålning, vilket är lämpligt på våra breddgrader. Solfångaren har enkel uppbyggnad och är relativt billig jämfört med andra utföranden såsom fokuserande solfångare eller konstruktioner med selektiva värmeabsorberande ytor dvs ytor med låg värmeutstrålning.

Den valda solfångaren täcks av två rutor vanligt klart fönsterglas. Den värmeabsorberande delen utgörs av en svartmålad planradiator av stålplåt, som kyls med cirkulerande vatten. Dess absorptionsfaktor förutsätts vara  $a = 0,9$ . Värmeförlusterna genom isoleringen antas försumbara. Värmegenomgångstalet från den absorberande ytan till uteluften antas uppgå till  $k = 3,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ . Med dessa förutsättningar erhålls följande värmebalans för solfångaren:

$$I \cdot a = k (t_1 - t_2) + q \cdot c_p \cdot \Delta t$$

där

$I$  = den solstrålning som transmitteras genom glaset  
( $\text{W/m}^2$ )

$t_1$  = den absorberande ytans medeltemperatur ( $\text{°C}$ )

$t_2$  = uteluftens temperatur ( $\text{°C}$ )

- $q$  = vattenflöde kg/s  
 $c_p$  = vattnets specifika värme J/kg, °C  
 $\Delta t$  = vattnets temperaturhöjning i solfångaren °C

Uppgifter om infångad solenergi för ovannämnda solfångare har inhämtats från Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik vid KTH. Dessa data är framtagna medelst datorberäkningar för den 15:e varje månad under normalåret i Stockholm. FIG 3-4 visar sålunda infångad solenergi per m<sup>2</sup> solfångare vid olika lutning mot horisontalplanet. Solfångaren förutsätts vara orienterad mot söder vilket ger största effektivitet /4/.

Soltimmarnas ojämna fördelning under året enligt tabellen på sid 8 pekar på att det kan vara fördelaktigast från energisynpunkt att välja en solfångarlutning som ger de bästa mottagningsförhållandena under sommarmånaderna. Detta bekräftas också av kurvorna i FIG 3-4, vilka visar att de klart högsta solenergivärdena erhålls under perioden maj - augusti. Ur diagrammen kan även utläsas att den bästa medellutningen för solfångaren under denna period är 30-40° mot horisontalplanet beroende på vattentemperaturen i solfångarkretsen. Detta gäller även vid året-runt-drift. För perioden september - april, dvs drift enbart under eldningssäsongen, blir motsvarande vinkel 50-60°.

Utgående från kurvorna i FIG 3-4 har för normalåret beräknats den infångade solenergin per m<sup>2</sup> solfångare, vilken uppritats som funktion av vattentemperaturen i FIG 5. Solfångarens lutning har valts 30° enligt ovan, vilken är lämplig även med hänsyn till normala takkonstruktioner. Av figuren framgår att den infångade solenergin minskar med ökande vattentemperatur i solfångarkretsen. Detta beror på de ökade värmeförlusterna mot omgivningen och är sålunda mest markant vid året-runt-drift. Förutsätts solvärmesystemet vara i drift endast under de varmaste månaderna på året blir vattentemperaturens inverkan mindre, vilket framgår av att kurvan över infångad solenergi har ett mindre brant förlopp.



Från energisynpunkt är det tydligen motiverat att välja så låg vattentemperatur som möjligt i solfångarkretsen. Låg vattentemperatur kräver dock mer komplicerade tekniska lösningar, vilket leder till högre anläggnings- och driftkostnader. Vilken teknisk lösning som är den bästa från bl a lönsamhetssynpunkt kommer att undersökas i det följande.

## VARMVATTENBEHOV I BYGGNADER

Varmvattenbehovet i byggnader är mycket varierande beroende på byggnadernas olika användningsområden såsom bostäder, sjukhus, restauranger, industrier, badinrättningar m m. Även inom de olika kategorierna av byggnader förekommer stora skiljaktigheter. Det för solvärmeanläggningar i första hand mest intressanta tillämpningsområdet av ovanstående uppräknade är en- och flerfamiljshusen beroende på bl a deras dominerande andel av det totala byggnadsbeståndet. Varmvattenförbrukningen i bostäder väljs därför som utgångspunkt för i denna utredning erforderliga dimensioneringar och lönsamhetsbedömningar.

I bostäder varierar varmvattenbehovet med bostadens storlek, antal boende, levnadsvanor m m. Varmvattenförbrukningen är mycket ojämn och koncentrerad till vissa perioder. FIG 8 visar värmebehovet för tappvarmvatten i lägenheter under ett dygn med stor förbrukning enligt mätningar gjorda i Göteborg /12/. Enligt samma mätningar fördelar sig varmvattenbehovet under året enligt FIG 9. Mätresultaten kan i stort sett även anses vara representativa för småhus enligt vad som framgår vid jämförelser med utförda mätningar av energiförbrukningen i dylika /8/.

I FIG 10-11 har uppritats förenklade typkurvor över dygnsbehovet samt det årliga behovet av värme för tappvarmvatten. Årsbehovet per lägenhet har härvid bestämts enligt formeln /11/:

$$W = 4.300 + 700 (p - 3) \text{ kWh/år}$$

där p anger antalet personer per lägenhet.

Värmebehovets fördelning under dygnet resp under året är beräknat utgående från FIG 8-9. Typkurvorna motsvarar ett genomsnittligt behov per lägenhet av ca 14 kWh/dygn (juli ca 7 kWh/dygn) respektive 5000 kWh/år. Dessa värden kan i stort sett anses vara representativa för energibehovet för tappvarmvatten i många bostäder idag /2/. Hänsyn har ej

tagits till inverkan av eventuella energibesparande åtgärder. Utförda undersökningar visar sålunda att varmvattenförbrukningen i lägenheter reduceras kraftigt vid t ex installation av varmvattenmätare /3/. Detta förhållande har beaktats vid lönsamhetsbedömningarna i det följande. Som genomsnittligt värde på det inkommande kallvattnet har valts +10°C enligt /2/.

OLIKA PRINCIPLÖSNINGAR FÖR SOLVÄRMNING AV TAPPVATTENAllmänt

Värmning av tappvatten med hjälp av plana solfångare enligt FIG 2 kan ske enligt olika principer rent tekniskt sett. Den enklaste lösningen framgår av FIG 12. Här värms tappvattnet direkt i solfångaren och lagras i en ackumulatortank. För att underlätta självcirkulationen i systemet placeras oftast tanken på yttertaket ovanför solfångarna. Konstruktionen bedöms som mindre lämplig vid våra klimatförhållanden med hänsyn till risken för sönderfrysning vid låga utetemperaturer. Andra komplikationer är det höga driftrycket i solfångarna samt korrosionsrisken. Problemet med högt vattentryck i solfångarkretsen kan undvikas genom att kallvattnet i stället tillförs ackumulatortanken via en flottörventil enligt streckat utförande i FIG 12. Övriga problem kvarstår dock. Dessutom krävs i detta fall tryckstegringspump vid större anläggningar. Gemensamt för solfångaranläggningar av ovannämnda typ är att konstruktionen blir komplicerad även byggnadstekniskt på grund av att både solfångare och ackumulatortank med ev, separat påfyllningsanordning samt ett flertal rörledningar måste placeras ovan yttertak. Denna typ av lösningar bedöms därför endast vara lämpliga vid små anläggningar såsom fritidshus etc och behandlas därför inte närmare här /4/.

I det följande redovisas i stället sex andra principlösningar för värmning av tappvatten medelst solenergi. Gemensamt för dessa gäller att solvärmesystemen endast utgör ett komplement till de konventionella tappvatten- och värmeinstallationer som alltid finns i byggnader. Detta innebär att solvärmesystemen reducerar det årliga energibehovet för varmvatten. Däremot minskas ej den dimensionerande värmeeffekten för de konventionella varmvattenberedarna, eftersom man i praktiken inte kan räkna med något solenergitillskott under de kallaste dagarna av året.

Solvärmesystemen indelas här i hög- respektive lågtemperatursystem. Med högtemperatursystem menas att solfångarkretsen dimensioneras för vattentemperaturer upp till ca 90°C. Vattentemperaturen varierar härvid under året med solinstrålningen och varmvattenförbrukningen. Vid lågtemperatursystem däremot ligger vattentemperaturen ungefär konstant vid ca 10°C beroende på dimensionerande data. Detta förutsätter nyttjande av värmepump för överföring av energin till en högre temperaturnivå som passar konventionella varmvattenberedare. Det är teoretiskt sett möjligt att använda värmepumpar även för direktupptagning av solenergi. Solfångaren utgörs härvid av värmepumpens förångare och värmets överförs till tappvattnet via en kondensor placerad i varmvattenberedaren. På grund av det starkt varierande energitillskottet i förångaren blir dock värmepumpens driftförhållanden besvärliga. Denna lösning är därför mindre lämplig med hänsyn till prestanda hos de standardprodukter som finns på marknaden idag samt normala krav på driftsäkerhet m m.

Uppbyggnaden hos de olika solvärmesystem som undersöks i det följande framgår av kryssen i nedanstående tabell, samt principschemor enligt FIG 13-18.

Alternativ	Högtemperatursystem	Lågtemperatursystem	Värmepump ingår i systemlösningen	Värmeåtervinning sker ur frånluft
1	X			
2		X	X	
3	X	X	X	
4	X			X
5		X	X	X
6	X	X	X	X

## Systembeskrivningar

### 1. Högtemperatursystem

Solfångaren placeras på byggnadens tak och ansluts till ett vattencirkulationssystem med ackumulatortank, pump och expansionskärl, FIG 13. Värmen överförs via det cirkulerande vattnet från solfångarna till ackumulatortanken, där det lagras. Vattenflödet i systemet hålls konstant. Tappvattnet värms medelst ett rörbatteri installerat i ackumulatortanken. Blandningsventilen SV1 styr tappvattentemperaturen genom inblandning av lämplig mängd kallvatten så att maximalt 55°C erhålls. Eftervärmning sker vid behov i en konventionell varmvattenberedare VVB1.

För att undvika onödig nedkylning av vattenmagasinet solfattiga dagar samt nattetid stoppas pumpen automatiskt via temperaturgivare så snart vattentemperaturen i solfångarna understiger ackumulatortankens temperatur. Återstart sker automatiskt vid stigande solfångartemperatur.

Vid tillfällena med mycket kraftig solinstrålning och låg varmvattenförbrukning kan kokning inträffa i solfångarna. Detta ger driftstörningar i form av försämrad cirkulation, som kan leda till totalstopp om vattnet i solfångarna kokar bort. Härvid ökar temperaturen i solfångarna varvid värmerörelser kan förorsaka skador såsom sprickbildningar i solpaneler, täckglas m m och kan även ge ljusstörningar i systemet. För att undvika kokning i solfångarna förses systemet därför med en magnetventil SV5 på kallvattenledningen. Ventilen öppnar automatiskt på impuls från en temperaturgivare i ackumulatortanken när vattentemperaturen överstiger ca 95°C. Härvid kyls solfångarkretsen av det inkommande kallvattnet genom avtappning via expansionskärlet. Ventilen stänger åter då temperaturen sjunker till ca 90°C i systemet. Denna påspädning medelst kallvatten, som endast är avsedd att ske vid extrema värmetoppar, ger en snabb kylning av systemet. Dock erhålls därvid även en icke önskvärd syresättning av vattnet i solfångarkretsen. Denna

tekniska lösning bör därför endast tillgripas om systemet utförs i korrosionsbeständigt material. I andra fall bör i stället indirekt kylning väljas via varmvattensystemet. Detta sker medelst en magnetventil SV2 installerad i varmvattenledningen enl FIG 13. Ventilen öppnar på impuls från en temperaturgivare i ackumuleringstanken lika ovan, varvid hetvattnet spolats ut i avloppssystemet.

I de fall anläggningen skall nyttjas även vintertid måste fryspunktnedsättande medel tillsättas cirkulationsvattnet, t ex glykol, för att undvika frysning i solfångarna. En sådan teknisk lösning komplicerar dock installationerna. Större krav ställs nämligen på tätheten hos ventiler och rörkopplingar m m. Påfyllningsanordning för glykol erfordras i form av blandningstank med pump m m. Emedan glykol inte direkt får avledas till avloppssystemet måste i detta fall skydd mot kokning anordnas genom indirekt kylning via varmvattensystemet enligt ovan. Detta krävs även med hänsyn till risken för läckage av glykolblandat vatten ut i det kommunala tappvattennätet i händelse av tryckbortfall i servisledningarna.

Om solvärmeanläggningen är avsedd för drift enbart under den varmare delen av året avstängs systemet under perioden 15 september - 15 maj och vattnet i solfångarna avtappas manuellt. För att i görligaste mån motverka korrosionsangrepp bör korrosionsskyddande medel tillsättas.

## 2. Lågtemperatursystem

Solfångaren placeras på byggnadens tak och ansluts till ett vattencirkulationssystem med ackumulatortank, pump och expansionskärl, FIG 14. Pumpen är försedd med steglös flödesreglering (tyristorstyrning eller by-pass) för att hålla ca 10°C konstant vattentemperatur i ackumulatortank 1. Vid vattentemperaturer lägre än ca 5°C i ackumulatortank 1 stoppas pumpen automatiskt. Med hjälp av en värmepump överförs solvärmens via förångar batteriet i ackumulatortank 1 till ackumulatortank 2, vilken härigenom erhåller en vattentemperatur som medger värmning av tappvattnet till önskad nivå



ca 60°C. Tappvarmvattnets högsta temperatur bestäms av värmepumpens maximala kondenseringstemperatur, som vid dagens konstruktioner ligger på ca 60°C. Erforderlig eftervärmning t ex vintertid sker i VVB1.

I övrigt förses systemet med kokningsskydd samt vid året-runt-drift även med tekniska installationer för glykolinblandning m m lika högttemperatursystemet. Vid indirekt kylning av solvärmesystemet krävs dock i detta fall även att ett separat batteri installeras i ackumulator 1 enligt FIG 14.

### 3. Kombinerat hög- och lågtemperatursystem

Solvärmesystemet är uppbyggt lika alternativ 2 vad beträffar solfångare, ackumuleringstankar och värmepump. För att kunna direkt tillgodogöra sig de höga vattentemperaturer som är möjliga att uppnå varma dagar har solfångarsystemet i detta fall även försetts med en shuntledning för inkoppling av solfångaren till ackumulatortanken 2. Denna är utrustad med ett separat värmebatteri härför, FIG 15. Överkopplingen till högttemperaturdrift för de varmaste sommarmånaderna sker lämpligen manuellt medelst ventilerna AV1-2, samtidigt som värmepumpen stoppas. Anläggningen fungerar nu helt som högttemperatursystem, vilket bl a innebär en reducereing av det för värmepumpens drift erforderliga årliga elenergibehovet. Återgång till lågtemperaturdrift med värmepump sker manuellt när vattentemperaturen i solfångaren vid regelbundna temperaturavläsningar kan konstateras ha sjunkit under ca 55°C.

Solvärmesystemet utförs i övrigt lika alternativ 1 och 2.

### 4. Högttemperatursystem kombinerat med värmeåtervinning ur frånluft

Solvärmesystemet är i princip uppbyggt lika högttemperatursystemet enligt alternativ 1 frånsett glykolustrustningen som ej erfordras här. För att möjliggöra viss energitillförsel även vintertid har till solfångarkretsen kopplats värmeväxlare för återvinning av värme från byggnadens



frånluftssystem, FIG 16. Värmeåtervinningssystemet inkopplas sålunda manuellt medelst ventilerna AV3 i samband med att solfångarna bortkopplas (ventilerna AV4) och avtappas efter sommarsäsongen. Värmeåtervinning ur frånluften sker nu under övriga delen av året.

#### 5. Lågtemperatursystem kombinerat med värmeåtervinning ur frånluft

Solvärmesystemet är i princip uppbyggt lika lågtemperatursystemet enligt alternativ 2. För att möjliggöra energitillförsel även solfattiga dagar har till solfångarkretsen kopplats värmväxlare för återvinning av värme ur byggnadens frånluftssystem, FIG 17. Värmeåtervinningssystemet inkopplas automatiskt via temperaturgivare som ger impuls till ventilen SV3 att öppna när vattentemperaturen i ackumulatorn understiger ca 8°C. Samtidigt bortkopplas solfångaren automatiskt medelst ventilen SV4. Återgång till solvärmedrift sker vid stigande solfångartemperatur. Vintertid avstängs solfångarkretsen manuellt och avtappas lika alternativ 4, varvid enbart värmeåtervinning ur frånluft sker. Vid stängningen av ventilerna AV4, så förreglas omkopplingsfunktionen mellan SV3-4 för att förhindra återkoppling till solvärmesystemet vintertid. Annars kan det vid vissa driftsfall inträffa att cirkulationspumpen får arbeta mot stängda ventiler.

#### 6. Kombinerat hög- och lågtemperatursystem med värmeåtervinning ur frånluft

Solvärmesystemets uppbyggnad och funktion överensstämmer med alternativ 3, dvs det kombinerade hög- och lågtemperatursystemet. Dessutom har systemet i likhet med alternativ 4 och 5 kompletterats med värmväxlare för värmeåtervinning ur frånluft, FIG 18. Värmeåtervinningssystemet inkopplas härvid automatiskt via en temperaturgivare, som ger impuls till ventilen SV3 att öppna när vattentemperaturen i ackumulatorn understiger ca 8°C. Samtidigt bortkopplas solfångaren automatiskt medelst ventilen SV4. Återgång till solvärmedrift sker vid stigande solfångartemperatur. Vintertid avstängs solfångarkretsen manuellt och avtappas lika alternativ 5 varvid enbart återvinning ur frånluft sker.

### Dimensioneringsprinciper

Lagring av värme i vattentankar för längre perioder kräver mycket stora tankvolym. Detta sammanhänger med vattnets värmeupptagande förmåga, vilken uppgår till ca 4,18 KJ/kg°C. Jämfört med den energimängd som kan utvinnas genom förbränning av eldningsolja motsvarar sålunda 1 m<sup>3</sup> Eo1 ca 200 m<sup>3</sup> vatten med en temperatursänkning från 90°C till 40°C. Vid långtidslagring måste även hänsyn tas till värmeförlusterna från vattentanken. FIG 19 illustrerar avsvalningsförloppet hos isolerade vattentankar av olika storlekar när inget värmeuttag sker. Kurvorna har beräknats utgående från det approximativa samband som kan härledas för värmeavgivning från en cylindrisk tank.

$$T = \frac{V \cdot \rho \cdot c_p}{3600 \cdot k \cdot A} \cdot \ln \frac{t_o}{t_t}$$

där

T = avsvalningstid (timmar)

V = tankvolym (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = densitet (kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  = specifikt värme (J/kg°C)

k = värmegenomgångstal (W/m<sup>2</sup>°C)

A = tankarea (m<sup>2</sup>)

t = vattentemperaturer (°C)

Temperaturkurvorna visar att värmeförlusterna från välisolerade ackumuleringstankar påverkar värmelagringsförmågan endast obetydligt vid kortare lagringsperioder på några dygn. Stora tankar är från värmeförlustsynpunkt bättre än flera små med samma totala tankvolym speciellt vid ackumulering under längre tid. Avsvalningskurvorna visar även att långtidslagring av värme är tekniskt möjlig genom att vattentankarna förses med god isolering. Det som dock begränsar möjligheterna till långtidslagring är sålunda i första hand de stora volymer som erfordras för vattentankarna.

Solfångararean måste väljas med hänsyn till bl a ackumuleringsstankens storlek. Sålunda kräver ökad tankvolym ökad solfångaryta. Detta för att medge snabb höjning av vattentemperaturen vid uppladdning och minimera behovet av tillskottsvärme för höjning av förbrukningsvattnets temperatur till önskad nivå 55°C. Om å andra sidan solfångararean inte väljs i proportion till ackumulatorvolymen utan mindre kommer vattentemperaturen i tanken att stiga i motsvarande grad långsammare. I extremfallet kommer härvid vattentemperaturen ej att nå upp till den nivå som krävs för att undvika ständig tillsatsvärme. Vid högttemperatursystem blir i detta fall dock den totalt infångade energin under året per m<sup>2</sup> solfångare större jämfört med en anläggning med mindre ackumulatorvolym. Detta sammanhänger med de lägre vattentemperaturerna i solfångarkretsen. Vilken ackumulatorstorlek som bör väljas får i varje enskilt fall bedömas utgående från de speciella förutsättningar som råder för objektet ifråga beträffande lönsamhet, disponibelt utrymme m m.

Stora tankvolymerna medför även, förutom ökande investeringskostnader, stort utrymmesbehov, vilket kan ge praktiska problem speciellt vid installation i befintlig byggnad.

Med hänsyn till ovanstående väljs följande dimensioneringsprinciper för de olika solvärmesystemen, som utgångspunkt för de teknisk-ekonomiska jämförelserna i denna utredning.

#### Generellt

Solvärmeanläggningen dimensioneras för att klara byggnadens hela energibehov för tappvattenvärmning under dygn med medelsolinstrålning under juni månad. Detta innebär att ackumulatortanken dimensioneras för att täcka energibehovet under den solfattiga delen av dygnet. Räknat per lägenhet betyder detta en värmeackumulering av ca 10 kWh/dygn.

För att undvika onödig kylning av solfångarna med tappvatten varma sommandagar med liten eller ingen varmvattenförbrukning

alls förutsätts att dessa täcks över vid dessa tillfällen.

### 1. Högtemperatursystem (FIG 13)

Akkumulatortanken dimensioneras för en temperatursänkning av 20°C. Med sambandet

$$W = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$$

där

W = ur tanken utvunnen energi (kWh/dygn)

$c_p$  = vattnets spec. värme (J/kg°C)

$\Delta t$  = vattnets temperatursänkning °C

V = tankvolym (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = densitet (kg/m<sup>3</sup>)

bestäms tankvolymen. Härvid erhålls en effektiv volym av ca 400 l/lgh. Med hänsyn till att solstrålningen är betydligt högre en klar dag jämfört med en dag som har medelsolinstrålning /13/ väljs här att dimensionera solfångarna för en uppladdning av ackumuleringstanken från 60°C till 80°C. Härvid förutsätts normal tappning under dagen. På så sätt erhålls en reservkapacitet för mycket soliga dagar, så att kylning för undvikande av kokning i systemet inte behöver tillgripas. Med angivet dygnsvärmebehov enligt FIG 11 och en genomsnittlig kapacitet hos solfångaren av ca 1,7 kWh/m<sup>2</sup> i juni enl FIG 3 vid ovannämnda vattentemperaturer fås en solfångararea av ca 9 m<sup>2</sup>/lgh.

Rörledningarna i solvärmesystemet dimensioneras på konventionellt sätt. För att undvika avluftningsproblem i systemet får vattenhastigheterna inte understiga 0,3 m/s. Tappvarmvattenberedaren VVB1 dimensioneras för hela varmvattenbehovet lika konventionella anläggningar. Lämplig typ av beredare, förråds- eller genomströmningsberedare, avgörs från fall till fall utan hänsyn till solvärmesystemet.

## 2. Lågtemperatursystem (FIG 14)

Ett tänkbart alternativ för dimensionering av ackumulatortanken 1 är att utföra denna med stor volym för lagring av solvärme. Detta resulterar dock i att vattentemperaturen i solfångarkretsen kommer att stiga under våren och försommaren, vilket minskar den totala infångade solenergin per år jämfört med om temperaturen kan hållas på en konstant låg nivå. Vidare medför det stora volymer för både ackumulatortank 1 och 2 med ökad investeringskostnad och ökat utrymmesbehov som följd. Detta dimensioneringssätt är således ointressant både från kostnads- och energisynpunkt. Ackumulatortank 1 bör istället väljas så liten som möjligt. Tankvolymen anpassas sålunda till förångningsbatteriets kapacitet och utrymmesbehov samt eventuellt utrymmesbehov för kylbatteri. Här väljs volymen 200 l/resp. 300 l beroende på anläggningens storlek. Den egentliga lagringen av solvärme kommer sålunda i detta fall att ske i ackumulatortank 2.

Akkumulatortank 2 dimensioneras för urladdning från 60°C till 55°C. Detta förutsätter dock en ytterligare utvecklad värmepumpskonstruktion, som tillåter något högre kondenseringstemperaturer än dagens. Erforderlig effektiv tankvolym blir ca 1.700 l/lgh.

Solfångarytan dimensioneras för en medelvattentemperatur av ca 10°C. Härvid skall beaktas att, beroende av värmepumpens konstruktion, ca 40 % av den till ackumulatortanken 2 tillförda energi utgörs av den elenergi, som krävs för drift av kompressorn. Solfångarytan blir i detta fall drygt 2 m<sup>2</sup>/lgh.

Värmepumpen dimensioneras för att hålla ca 10°C vattentemperatur i solfångarkretsen under dagar med medelsolinstrålning och normal varmvattenförbrukning.

Rörledningarna i solfångarkretsen samt varmvattenberedaren VVB1 dimensioneras på samma sätt som i högtemperatursystemet.

### 3. Kombinerat hög- och lågtemperatursystem (FIG 15)

Solfångarsystemet med ackumuleringstankar dimensioneras lika lågtemperatursystemet ovan.

### 4-6. System med värmeåtervinning ur frånluft (FIG 16-18)

Solfångarsystemen dimensioneras lika alternativen 1-3. Kompletteringssystemet för värmeåtervinning ur frånluft utformas på konventionellt sätt för vinterdriftfallet, varvid samma vattenflöde väljs som i solfångarkretsen.

Sammanfattningsvis redovisas nedan, dimensionerande storlekar för solfångare och ackumuleringstankar i de olika systemalternativen (avrundade värden).

Systemalternativ	Solfångararea m <sup>2</sup> /lgh	Akkumulatortankens volym l/lgh resp l/anläggning
1. Högtemperatursystem	9	400
2. Lågtemperatursystem	2	Akkumulatortank 1: Småhus 200 (per anläggning) Flerfam.hus 300 Akkumulatortank 2: 1700
3. Kombinerat hög- och lågtemperatursystem	2	Akkumulatortank 1: Småhus 200 (per anläggning) Flerfam.hus 300 Akkumulatortank 2: 1700
4. Högtemperatursystem kombinerat med värmeåtervinning ur frånluft	9	400
5. Lågtemperatursystem kombinerat med värmeåtervinning ur frånluft	2	Akkumulatortank 1: Småhus 200 (per anläggning) Flerfam.hus 300 Akkumulatortank 2: 1700
6. Kombinerat hög- och lågtemperatursystem med värmeåtervinning ur frånluft	2	Akkumulatortank 1: Småhus 200 (per anläggning) Flerfam.hus 300 Akkumulatortank 2: 1700



## UTVÄRDERING AV LÄMPLIGASTE SOLVÄRMESYSTEM

### Allmänt

I avsikt att få en uppfattning om vilka av de i föregående kapitel redovisade principlösningarna som är mest lämpliga analyseras dessa med avseende på funktion och kostnad.

Alternativen 5 och 6 med värmeåtervinning ur frånluft i kombination med lågtemperatursystem visar sig vid närmare studium medföra en onödig dubblering av tekniska system för energibesparing. Värmeåtervinningssystemet ensamt ger nämligen i det närmaste konstant energibesparing oavsett årstid och kan i gynnsamma fall, tillsammans med elenergin för drift av värmepumpen, täcka hela energibehovet för tappvarmvatten. En kostnadsuppskattning visar även att investeringskostnaden för det renodlade värmeåtervinningssystemet är lägre än motsvarande kostnad för ett solvärmesystem. Alternativen 5 och 6 är således mindre intressanta från energibesparings- och kostnadssynpunkt, varför den fortsatta utredningen koncentrerats till de renodlade solvärmesystemen alt 1-3 samt kombinationssystemet alt 4.

### Nyttiggjord solenergi

FIG 6-7 redovisar resultaten från datorberäkningar av infångad solenergi månadsvis under medeldygn timme för timme vid olika vattentemperaturer i solfångaren. Med dessa kurvor som utgångspunkt samt aktuellt värmebehov för tappvarmvatten har temperaturförloppet i ackumuleringstanken beräknats approximativt för hög- resp. lågtemperatursystemen. Härvid har förutsatts välisolerade ackumulatortankar med försumbara värmeförluster. Beräkningsgången framgår enligt följande:

Högtemperatursystem

Infångad solenergi = Lagrad energi + förbrukad energi +  
(värmeförluster i systemet)

Infångad solenergi under perioden:  $Q_s$  Wh

Lagrad energi under perioden:  $V \cdot \rho \cdot c_p (t_2 - t_1)$  där

$V$  = ackumulatorns volym; ca 400 l/lgh enl tid. beräkning

$\rho$  = vattnets densitet (kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  = vattnets specifika värme (J/kg, °C)

$t_1$  = temperaturen i ackumulatortanken vid periodens  
början °C

$t_2$  = temperaturen i ackumulatortanken vid periodens  
slut °C

Förbrukad energi under perioden:  $q \cdot \rho \cdot c_p (t_4 - t_3)$  där

$q$  = tappvarmvattenförbrukning under perioden (l)

$t_3$  = temperaturen på tappkallvatten (10°C)

$t_4$  = temperaturen på tappvarmvattnet efter blandningsven-  
tilen SV1 (°C)

$q$  erhålls med hjälp av FIG 10.

Ur sambandet  $Q_s = V \cdot \rho \cdot c_p (t_2 - t_1) + q \cdot \rho \cdot c_p (t_4 - t_3)$

bestäms härefter temperaturen  $t_2$  enligt nedan timme för  
timme under ett antal medeldygn per månad medelst passnings-  
beräkning.

Driftfall 1:

$t_2 \leq 60^\circ\text{C}$  (Eftervärmning erfordras i VVB1).

Härvid antas att

$$t_4 = t_2 - 5 \text{ vilket ger } t_2 = \frac{0,86 \cdot Q_s + 400 \cdot t_1 + 15 q}{400 + q}$$

Driftfall 2:

$t_2 > 60^\circ\text{C}$  (Eftervärmning erfordras ej).

$$t_4 = 55^\circ\text{C ger } t_2 = \frac{0,86 \cdot Q_s + 400 t_1 - 45 q}{400}$$



### Lågtemperatursystem

Infångad solenergi + kompressorenergi = Lagrad energi +  
förbrukad energi + (värmeförluster i systemet)

Infångad solenergi under perioden:  $Q_s$  Wh

Kompressorenergi under perioden:  $E$  Wh

Med samma beteckningar som ovan fås

Lagrad energi under perioden:  $V \cdot \rho \cdot c_p (t_2 - t_1)$  där  
 $V = \text{ca } 1700 \text{ l}$  enl tidigare beräkning

$t_1 =$  temperaturen i ackumulator 2 vid periodens början °C

$t_2 =$  temperaturen i ackumulator 2 vid periodens slut °C

Förbrukad energi under perioden:  $q \cdot \rho \cdot c_p (t_4 - t_3)$

$$Q_s + E = V \cdot \rho \cdot c_p (t_2 - t_1) + q \cdot \rho \cdot c_p (t_4 - t_3)$$

$$\text{Värmepumpens värmefaktor} = 2,5 = \frac{Q_s + E}{E} \quad E = 0,67 \cdot Q_s$$

Ur sambanden beräknas temperaturen  $t_2$  enligt nedan

Driftfall 1:

$t_2 \leq 55^\circ\text{C}$  (Eftervärmning erfordras i VVB1).

Härvid gäller

$$t_4 = t_2 \text{ vilket ger } t_2 = \frac{1,44 \cdot Q_s + 1700 t_1 + q \cdot 10}{1700 + q}$$

Driftfall 2:

$t_2 > 55^\circ\text{C}$  (Eftervärmning erfordras ej).

$$t_4 = 55^\circ\text{C ger } t_2 = \frac{1,44 \cdot Q_s + 1700 \cdot t_1 - 45 q}{1700}$$

Resultaten av beräkningarna redovisas i FIG 20 och FIG 22 som ger en bild av hur vattentemperaturen varierar i ackumulatortankarna under året vid medelsolinstrålning och normalförbrukning av tappvarmvatten. Vattentemperaturen stiger sålunda från kallt tillstånd vid start, för att vid mitten av juni ha uppnått dimensionerande värden. Vid enbart

sommardrift av solvärmeanläggningen sker denna temperaturstegring snabbt, vilket innebär att man t ex i högtemperaturfallet bara efter något dygn har kommit upp i vattentemperaturer på över 60°C i tanken. Den horisontella kurvdelen under juli är föranledd av att solfångarna förutsätts delvis övertäckta under lågtappningsperioden. Solvärmeanläggningen har sålunda viss överkapacitet under dessa driftsbetingelser.

Kurvbredden i de båda diagrammen, som anger temperatursprånget mellan laddad och urladdad akkumulator, visar att det största energiuttaget sker under sommaren. Den mindre kurvbredden i lågtemperaturfallet är betingad av att akkumulatorn här har dimensionerats för endast 5°C temperatursänkning.

Av de kurvgränar som anger förloppet vid start respektive avställning vid sommardrift kan även utläsas, att den temperaturhöjning som fås sommartid efter en fullständig urladdning kommer att ske snabbt. En sådan "störning" i temperaturkurvan, vilken kan vara betingad av långvarig molnighet, onormal tappning m m, kommer sålunda att vara utjämnad redan efter några dygn.

För att få en uppfattning om storleken hos den teoretiskt möjliga nyttiggjorda solenergin per lägenhet har i FIG 21, 23-27 för resp. systemlösning uppritats den till tappvarmvattnet avgivna energin under året. Kurvorna är approximativt beräknade utgående från infångad solenergi enligt FIG 3-4, 6-7 och ovan redovisade beräkningsformler för temperaturförloppet i akkumulatorn.

Ur FIG 21 erhålls genom beräkning av de olika ytornas storlek att vid högtemperatursystem ca 25 % av årsvärmebehovet för tappvarmvatten kommer att täckas vid enbart sommardrift. Vid året-runt-drift utgör solvärmertilskottet ca 45 %. Alltså fås en förhållandevis stor andel solvärme även under perioden september - april. Diagrammet visar också hur andelen tillsatsvärme via den konventionella varmvattenberedaren minskar med ökande solenergitillskott.

Vid lågtemperatursystem enligt FIG 23 utgör solenergin ca 60 % av den nyttiggjorda energin. Övrig del upptas av den för värmepumpens drift erforderliga kompressorenergin. Ur kurvorna kan beräknas att solenergitillskottet vid året-runt-drift utgör ca 30 % av det totala årliga energibehovet. Motsvarande energitillskott vid enbart sommar drift uppgår till ca 15 %. Jämfört med högtemperatursystemet fås sålunda vid lågtemperatursystem med solfångare dimensionerad för att täcka varmvattenbehovet i juni, ett betydligt lägre solvärmestillskott. Därför undersöks även alternativutförandet lågtemperatursystem med stor solfångaryta motsvarande högtemperatursystemets. FIG 24 visar att detta system ger överkapacitet tidvis. För att kompensera detta och undvika kylning t ex i form av kallvattenpåspädning eller tvångstappning av varmvatten, vilket sålunda förorsakar onödig vattenförbrukning, måste solfångarna delvis övertäckas större delen av året. Detta innebär bl a problem från reglersynpunkt emedan omfattningen av övertäckningen måste varieras med solinstrålningen. Vid året-runt-drift utgör i detta systemalternativ solvärmeandelen ca 45 % av det årliga värmebehovet för tappvarmvatten och i sommar drift-fallet 20 %. Alltså en klar ökning i förhållande till utförandet med mindre solfångaryta.

FIG 25 anger förhållandena vid kombinerat hög-lågtemperatursystem. Kurvan överensstämmer helt med lågtemperatursystemets enl FIG 23 vad beträffar perioden augusti - maj. Vid den rena högtemperaturdriften under juni - juli blir den nyttiggjorda solenergin avsevärt lägre än vid högtemperatursystemet på grund av den mindre solfångarytan. Detta innebär bl a att tillskottsvärme från den konventionella varmvattenberedaren VVB1 kommer att erfordras hela året. Sålunda täcker den nyttiggjorda solenergin vid sommar drift endast ca 15 % av det årliga värmebehovet. Året-runt-drift ger ca 25 %, vilket är lägre än vid det renodlade lågtemperatursystemet. Det kombinerade hög-lågtemperatursystemet innebär vidare ökade investeringskostnader. Utförandet med liten solfångararea är sålunda i detta fall ej motiverat varken från energi- eller kostnadssynpunkt. I stället

undersöks systemet i kombination med stor solfångararea lika högtemperatursystemet. Av kurvan i FIG 26 framgår att solfångaren måste täckas delvis under större delen av året på grund av överkapacitet. Vidare kan utläsas att praktiskt taget hela värmebehovet klaras under juni och juli utan tillskottsvärme. Vid året-runt-drift utgör den nyttiggjorda solenergin ca 50 % av årsbehovet och vid enbart sommar drift ca 25 %. Detta innebär dock inte någon påtaglig ökning av den nyttiggjorda solenergin jämfört med det renodlade lågtemperatursystemet med motsvarande solfångararea enligt FIG 24. Energivinsten är således för liten i detta fall för att motivera den mer komplicerade systemuppbyggnaden. Det kombinerade hög-lågtemperatursystemet behandlas därför ej ytterligare här.

FIG 27 illustrerar högtemperatursystemet med värmeåtervinning. Under sommarmånaderna när solfångarna är i drift erhålls samma mängd nyttiggjord solenergi som vid det renodlade högtemperatursystemet enligt FIG 21. Totalt uppgår den nyttiggjorda energin i detta fall till ca 35 % av det årliga energibehovet. Av detta utgörs ca 80 % av solenergi och resterande del av energin från värmeåtervinningsystemet.

Den beräknade nyttiggjorda solenergin per år och lägenhet vid respektive systemalternativ framgår av följande sammanställning:

Systemalternativ	Nyttiggjord solenergi (avrundade värden)			
	Sommar drift		Året-runt-drift	
	kWh/år, lgh	% av årsbehovet	kWh/år, lgh	% av årsbehovet
Alt 1. Högtemp.syst.	1300	25	2300	45
Alt 2. Lågtemp.syst.	800	15	1400	30
Alt 2A. Lågtemp.syst. med solfångararea lika högtemp.syst.	950	20	2350	45
Alt 3A. Komb. hög-lågtemp.syst.	700	15	1300	25
Alt 3B. Komb. hög-lågtemp.syst. med solfångaryta lika högtemp.syst.	1200	25	2600	50
Alt 4. Högtemp.syst. med värmeåtervinning	-	-	1650 (inkl värmeåtervinning)	35

Energiberäkningarna visar sålunda att det i första hand är fyra solvärmesystem, som är av intresse från lönsamhets-synpunkt, nämligen alternativen 1, 2, 2A och 4. I det följande analyseras kostnaderna för dessa system.

### Investeringskostnader

För de fyra systemlösningarna enligt ovan har investeringskostnaderna uppskattats. Kostnaderna som är baserade på 1976 års entreprenörpriser avser solvärme-installationer i småhus resp. flerfamiljshus. I sistnämnda fallet har kostnaderna beräknats per lägenhet för en fastighet innehållande 50 lägenheter. Alternativ 4 med värmeåtervinning förutsätter mekaniskt frånluftsystem. Denna lösning är därför normalt inte tillämplig för det befintliga småhusbeståndet varför endast kostnader för flerfamiljshus medtagits här.

Kostnaderna för solfångarna har satts till 300 kr/m<sup>2</sup>, vilket idag anses vara ett troligt pris vid serietillverkning. Som jämförelse kan nämnas att priserna i USA för solfångare ligger mellan 250 kr/m<sup>2</sup> och 550 kr/m<sup>2</sup> /9/. I kostnadsberäkningen har hänsyn tagits till att kostnaden för yttertakskonstruktionen minskar med 50-100 kr/m<sup>2</sup> vid inbyggnad av solfångarna i taket, beroende av vilket ytmaterial som valts för taket i övrigt. Vidare har även medtagits anordningar för täckning av solfångarna. Dessa antas vara utformade som fördragbara jalousier av plåtlameller. Jalousierna manövreras manuellt medelst linor från vinden eller vid småhus från marken. Kostnaderna för enkla jalousier har uppskattats till 150-200 kr/m<sup>2</sup>. Totalt ger detta ett pris per solfångare av ca 400 kr/m<sup>2</sup>.

Beträffande övriga komponenter i solfångarkretsen har förutsetts material och utförande enligt normal standard för konventionella värmesystem. Detta innebär t ex rörledningar av stål (ansl nr  $\leq$  50 gängade, anslnr  $>$ 50 tubrör). Vid systemvarianter med glykol har med hänsyn till läckagerisken valts helsvetsade rörsystem. För ackumulatortanken tillhörande

solfångarkretsen liksom expansionskärlet har valts stålplåt. Tappvattensystemet samt vattenberörda delar i ackumulator 2 har förutsatts vara utförda av koppar.

Kostnader föranledda av ökat utrymmesbehov för solvärmesystemen i värmecentral m m ingår ej.



Installationsdetalj	Investeringskostnad kr							
	Småhus				Flerfamiljshus per lägenhet			
	Alt 1. Högtemp.	Alt 2. Lågtemp.	Alt 2A. Lågtemp. stor sol- fångare	Alt 1. Högtemp.	Alt 2. Lågtemp. fångare	Alt 2A. Lågtemp. stor sol- fångare	Alt 4. Högtemp. m. värmeåter- vinning	
Solfångare med tillbehör	3.600	900	3.600	3.600	900	3.600		
Akkumulator 1	4.000	1.500		500	40			
- " - 2	-	13.000		-	2.000			
Cirkulationspump med reglerutrustning	400	3.000		50	100			
Rörsystem i solfångar- kretsen inkl ventiler m m	800	800	Lika alt 2.	150	150	Lika alt 2.	Lika alt 1.	
Övrigt rörsystem	200	200		10	20			
Expansionskärl m. rörledn.	500	500		90	90			
Reglerutrustn inkl. styr- ventiler	1.500	2.100		100	200			
Värmepump	-	5.000		-	600			400
Värmeåtervinningsbatterier med rörledningar och ven- tiler	-	-		-	-			
Summa (avrundad)	<u>11.000</u>	<u>27.000</u>	<u>29.500</u>	<u>4.500</u>	<u>4.100</u>	<u>6.800</u>	<u>4.900</u>	
Tillk. för glykolsystem vid året-runt-drift	1.500	1.500	1.500	500	100	100		
Summa	<u>12.500</u>	<u>28.500</u>	<u>31.000</u>	<u>5.000</u>	<u>4.200</u>	<u>6.900</u>		

Som framgår av sammanställningen utgör solfångarna en stor andel av de totala investeringskostnaderna. Andra stora kostnadsposter är ackumuleringstankar, värmepumpar och reglerutrustning. Kostnaderna för dessa komponenter är starkt beroende av utförandet. För att reducera kostnaden för reglerutrustningen i villaalternativet har här sålunda förutsatts magnetventil för SV2. För att få en prismässigt rimlig kostnad för ackumuleringstank 2 vid flerfamiljshus har vidare förutsatts att denna utförs av stålplåt och förses med rörbatteri av koppar för tappvattenvärmning enligt streckat utförande i FIG 14. Med hänsyn till osäkerheten hos vissa kostnadsdata såsom solfångare och stora ackumuleringstankar har slutsummorna i kostnadstablan avrundats.

Det skall understrykas att omfattningen av de tekniska installationerna i de undersökta alternativen är starkt avhängiga byggnadens utformning (planlösning, antal våningar, takkonstruktion m m). Vidare inverkar placeringen av frånluftsfläktar, rörschakt m m. Sådana faktorer påverkar direkt anläggningskostnaderna, vilka sålunda kan variera från objekt till objekt.

Ovanstående investeringskostnader avser nybyggnad. För installation i befintlig byggnad måste korrigering ske med hänsyn bl a till att:

- Solfångarkostnaden ökar p g a att solfångarna uppställs på en befintlig takkonstruktion vars kostnad ej reduceras som vid inbyggnad i yttertaket.
- Inkoppling skall ske till befintligt tappvattensystem.
- Håltagningar måste göras i bjälklag, väggar och yttertak för rörledningar.

Sammantaget innebär detta en kostnadsökning i de olika alternativen med ca 10-20 % beroende på vilka förutsättningar som gäller för det aktuella objektet.



Som framgår av sammanställningen ovan varierar investeringskostnaderna kraftigt mellan olika system. Vilket alternativ som totalt sett ställer sig gynnsammast framgår dock först vid en jämförelse mellan årskostnaderna, där hänsyn tas till både kapital- och driftkostnader. En klar tendens är dock att investeringskostnaderna per lägenhet i flerfamiljshus kraftigt understiger motsvarande kostnader för småhus. Detta innebär bl a ökad lönsamhet för tunga investeringar såsom värmepumpar m m, vilket även framgår av nedanstående jämförelse. Denna visar investeringskostnaden för solvärme-systemen räknat per inbesparad kWh och år, dvs nyttiggjord solenergi per år.

Systemalternativ	Investeringskostnad per årlig besparad kWh			
	kr/kWh			
	Småhus		Flerfamiljshus per lägenhet	
	Sommar-drift	Året-runt-drift	Sommar-drift	Året-runt-drift
Alt 1. Högtemp.syst.	8,50	5,40	3,50	2,20
Alt 2. Lågtemp.syst.	34	20	5,10	3,00
Alt 2A. Lågtemp.syst. med solfångararea lika högtemp.-syst.	31	13	7,20	2,90
Alt 4. Högtemp.syst. m. värmeåtervinning	-	-	-	3,00

Tabellen visar sålunda att högtemperatursystemet ger de klart lägsta kostnaderna. Den absolut lägsta kostnaden fås vid flerfamiljshus och året-runt-drift. Övriga systemalternativ vid flerfamiljshus ger alla ca 35 % högre kostnadsnivå.

Investeringskostnaderna i tabellen ovan skall ställas i relation till de merkostnader som konventionella typer av energibesparande system och åtgärder medför. Erfarenhetsmässigt vet man således att kostnaderna för sådana normalt varierar mellan 0,20-2,50 kr per besparad kWh. Detta visar sålunda att det från kostnadssynpunkt är motiverat att i

första hand satsa på konventionella system och åtgärder för energibesparing såsom återluftförling, värmeåtervinning ur frånluft, tilläggsisolering m m. Även renodlade system för värmeåtervinning ur frånluft i kombination med värmepump kan i många fall ställa sig mer ekonomiskt fördelaktiga för tappvattenvärmning än solvärmesystem. Solvärmesystemen för tappvarmvatten synes därför idag främst vara motiverade som komplement till konventionella energibesparingsmetoder.

### LÖNSAMHETSBEDÖMNING

Av intresse i detta sammanhang är att veta huruvida lönsamhet kan uppnås vid solvärmesystem. Vilken systemlösning är i så fall bäst och vid vilket genomsnittligt energipris kan lönsamhet förväntas? För att få en uppfattning om detta har följande kostnadsuttryck beräknats för de olika alternativen vid varierande energipriser:

$$K = A \cdot I + D - E \cdot W \quad \text{kr/år, lgh}$$

där

I = total investeringskostnad för solvärmesystemet (kr)

A = annuitet. Här väljs A = 12 % vilket ungefär motsvarar 20 års avskrivningstid och 10 % kalkylränta eller 15 år och 8 %

D = ökad årlig drift- och underhållskostnad p g a solvärmesystemet

E = energipris (kr/kWh)

W = årligt solvärmertilskott (kWh)

Kostnaden K, som sålunda är ett uttryck för merkostnaden per år och lägenhet för solvärmesystem, har uppritats som funktion av energipriset för det lönsammaste alternativet nämligen högttemperatursystemet, FIG 28. Lönsamhet uppnås vid  $K = 0$  dvs vid den punkt i diagrammet där kostnadslinjen skär den horisontella axeln.

Vid beräkningen av drift- och underhållskostnaderna D har bl a hänsyn tagits till driftkostnader för cirkulationspumpar och ökad driftkostnad på grund av värmeåtervinningsbatterier (kräver högre fläktryck). Vidare har medtagits rengöringskostnader för solfångarna vid flerfamiljshus med 1 arbetsdag per år. I småhusalternativet förutsätts denna rengöring utföras av den boende själv. I den totala investeringskostnaden skall även inräknas projekteringskostnaderna för byggnadens solvärmesystem. Dessa varierar med hänsyn till hur komplicerad systemets uppbyggnad är, tillgängliga standardkomponenter resp. systemlösningar m m. Här har valts en projekteringskostnad motsvarande 10 % av

anläggningskostnaden. Detta förutsätter att färdigutvecklade systemlösningar finns på marknaden, som underlag för projekteringsarbetet.

Av FIG 28 framgår att vid högtemperatursystem för flerfamiljshus kan vid året-runt-drift lönsamhet förväntas vid genomsnittliga energipriser under brukstiden på omkring 0,30 kr/kWh. Alltså högre än dagens genomsnittliga energipriser. Även vid småhus blir lönsamheten störst med högtemperatursystem för året-runt-drift. Här ligger dock lönsamhetsgränsen klart högre, drygt 0,7 kr/kWh. Förutsätts en systemlösning utan effektregering av solfångarna i form av jalousier och sänks ovanstående lönsamhetsgränser till ca 0,25 kr/kWh för flerfamiljshus och ca 0,70 kr/kWh för småhus. Som tidigare visats ligger investeringskostnaderna för solvärmeanläggningar i befintliga byggnader högre än för nybyggnader. Detta ger alltså något högre gränser för lönsamhet än ovannämnda.

För att ge en antydan om lönsamheten hos system med avvikande investeringskostnader i förhållande till här kostnadsberäknade alternativ har i FIG 28 inlagts kompletterande kostnadslinjer. Dessa anger förhållandet vid avvikande investeringskostnader motsvarande  $\pm 20\%$ . Andra procentsatser erhålls lätt genom proportionering i diagrammet. Sålunda visar figuren t ex att en reducering av investeringskostnaden med 20 % vid flerfamiljshus och året-runt-drift ger en motsvarande sänkning av lönsamhetsgränsen till ca 0,25 kr/kWh.

För att få en uppfattning om solfångarareans betydelse för lönsamheten har för högtemperatursystemet även kompletterande beräkningar utförts med dubbelt så stor solfångare resp. halverad solfångararea jämfört med dimensionerande storlek (ca 9 m<sup>2</sup>). Dessa utföranden ger följande solenergitillskott och investeringskostnader.

Utförande	Nyttiggjord solenergi kWh/år		Investeringskostnad kr			
			Småhus		Flerfamiljshus per lägenhet	
	Sommar- drift	Året- runt- drift	Sommar- drift	Året- runt- drift	Sommar- drift	Året- runt- drift
Fördubb- lad sol- fångararea	1500	3100	14600	16100	8100	8600
Halverad solfångar- area	750	1240	9200	10700	2700	3200

Med hjälp av ovanstående data kan investeringskostnaden beräknas per årlig nyttiggjord kWh. Vid fördubblad solfångararea fås för småhus och flerfamiljshus sålunda de lägsta anläggningskostnaderna 5,20 kr resp. 2,80 kr/kWh vid året-runt-drift.

Halverad solfångararea ger motsvarande anläggningskostnader 8,60 kr/kWh resp. 2,60 kr/kWh.

Stor solfångare i villaalternativet ger således ungefär samma kostnad som i dimensionerande fallet. I övriga fall fås en högre kostnad än motsvarande för en solfångare med arean 9 m<sup>2</sup>. Detta pekar alltså på att vald storlek på solfångarna är lämplig från lönsamhetssynpunkt.

Vid lågtemperatursystem för enbart sommar-drift ger en solfångarkonstruktion med endast ett täckglas ett något större energiutbyte jämfört med två glas. Vidare reduceras solfångarkostnaden. Dessa förbättringar är dock endast marginala och påverkar ej de inbördes kostnadsrelationerna (kr/kWh) mellan olika systemalternativ.

En kostnadsanalys visar att varmvattenförbrukningens storlek påverkar lönsamheten för solvärmesystemen. Stort energibehov främjar sålunda investeringar för nyttjande av solenergi.

Antas t ex det årliga energibehovet minskat till hälften, dvs 2500 kWh/lgh,år genom energibesparande åtgärder och alltså solvärmeanläggningen dimensionerad för detta behov, fås vid högttemperatursystem och året-runt-drift följande investeringskostnader:

Småhus: 7,80 kr/kWh  
 Flerfamiljshus per lägenhet: 2,60 kr/kWh

Som synes ligger dessa kostnader högre än motsvarande vid energibehovet 5000 kWh/lgh,år. Detta innebär alltså en sämre lönsamhet.

Lönsamheten hos de redovisade systemalternativen kan förbättras om möjligheter finns att utnyttja lån och bidrag för energibesparande åtgärder. Eftersom sådana subventioner är av tillfällig karaktär har de ej medtagits här. Effekten av sådana subventioner kan dock utläsas i FIG 28 genom proportionering av investeringskostnaden i diagrammet.

Ett annat mått på lönsamheten, än vad FIG 28 anger, kan erhållas genom beräkning av den s k internräntefoten. Denna definieras som förväntad avkastning i % på investerat kapital för en viss brukstid, här 20 år. Beräkningsmetoden som benämns ACGP (annual changes with geometric progression) tar även hänsyn till årliga förändringar i energipriset. Metoden redovisar utförligt i /7/. FIG 29 visar ett s k ACGP-diagram med kalkylexempel för det lönsammaste alternativet dvs högttemperatursystem för flerfamiljshus (året-runt-drift). Av diagrammet kan utläsas att vid dagens oljepris och en antagen årlig höjning av 12 % blir internräntefoten ca 8 %. En årlig oljeprisförändring av 10 % ger enligt diagrammet ca 6 % internräntefot. För övriga solvärmealternativ erhålls lägre internräntefot än dessa värden.

Om gränsvärdet för lönsamhet sätts vid en internräntefot av  $r = 10\%$  kan motsvarande energipris beräknas ur diagrammet. En antagen årlig energiprisökning av 10 % ger sålunda  $\frac{I}{B} \approx 20$  varur fås energipriset 0,12 kr/kWh. Detta utgör alltså det

lägsta dagspris vid vilket investeringen är lönsam och motsvarar t ex en årlig oljeprisökning av 10 % under ca 5 år vid i övrigt oförändrad prisnivå. Energipriset kan även ställas i relation till dagens taxor för hushållsel som normalt uppgår till 0,12 - 0,15 kr/kWh och i vissa fall mer. Ovanstående innebär sålunda att vid flerfamiljshus med energipriser överstigande ca 0,12 kr/kWh fås lönsamhet redan idag för investeringar i solvärmeanläggningar av typ högtemperatursystem. Detta gäller nybyggnader. Vid befintliga anläggningar ligger lönsamhetsgränsen något högre.



## RESULTAT

Utredningen visar att det med dagens teknik är fullt möjligt att medelst solvärme täcka ca hälften av det årliga energi-behovet för tappvattenvärmning i bostäder. Högtemperatur-systemen ställer sig härvid gynnsammast från lönsamhetssynpunkt. Lämplig solfångaryta är i dessa fall ca 9 m<sup>2</sup>/lgh. Solfångarnas lutning bör väljas 30-40° mot horisontalplanet för att bästa effektivitet skall uppnås. För att undvika problem på grund av kokning i solfångarna vid extrema värmeperioder eller liten varmvattentappning bör solvärmesystemen förses med automatikrustning för kylning av solfångarkretsen. Dessutom är det lämpligt att även komplettera solfångarna med någon form av effektreglering t ex jalousier som vid behov kan täcka dessa helt eller delvis, speciellt under längre perioder med liten varmvattentappning såsom semestertid. Genom sådan övertäckning av solfångarna kan även frostbildning på täckglaset motverkas vintertid.

Utförda beräkningar visar att lagring av energi i vattentankar erfordrar stora volymer. Ett dygns ackumulering kräver sålunda en effektiv tankvolym av ca 400 l/lgh vid högtemperatursystem och ca 1.700 l/lgh vid lågtemperatursystem. Vid värmelagring längre tid ökar ackumulatorvolymerna ungefär proportionellt mot antalet dygn. Detta begränsar långtidslagringen, som annars är tekniskt möjlig med hänsyn till den långsamma avsvälningen vid välisolerade tankar.

Solvärmesystemen kan inte ersätta de konventionella tappvatten- och värmeinstallationerna i en byggnad. Därför innebär komplettering med solvärmesystem för tappvarmvatten en utökning av byggnadens totala installationer. Detta medför bl a ökade arbetsinsatser och kostnader för drift, skötsel och underhåll på installationssidan. Sålunda bör rengöring av solfångarna ske varje år enligt erfarenheter från USA för att inte värmeupptagningen skall försämrast. Beroende på systemlösning och omfattningen av automatikrustning krävs även viss tillsyn av anläggningen med hänsyn till bl a koknings- och frysriskerna. Vidare måste vid året-runt-drift

glykolhalten i systemet kontrolleras varje år och vid behov påfyllning ske. Därtill kommer skötsel av ev, handmanövrerade jalousier för reglering av solfångarytan. Solvärmesystemen kräver även ökat utrymmesbehov i fastigheten för ackumulatortankar, pumputrustningar, expansionskärl m m. I FIG 30 har inritats erforderliga solvärmeinstallationer i ett småhus utrustat med högtemperatursystem. Systemuppbyggnaden är densamma som i principschema FIG 13. Det ökade utrymmesbehovet för centralutrustningen uppskattas i detta fall till ca 4 m<sup>2</sup>. Av figurerna framgår att solvärmesystem för tappvarmvatten kan installeras helt oberoende av övriga värmeinstallationer i en byggnad. De ingrepp som erfordras i befintliga installationer inskränker sig nämligen i stort sett till anslutning av tappvattenledningen till den i solvärmesystemet ingående ackumulatortanken. Solvärmesystem kan således från teknisk synpunkt med fördel installeras även i befintliga byggnader som saknar konventionellt vattenradiatorsystem, såsom exempelvis småhus med direktverkande elradiorer.

Utredningen visar att solvärmeanläggningar för flerfamiljshus är gynnsammare från lönsamhetssynpunkt än för enstaka småhus. I det förra fallet ger sålunda högtemperatursystemen enligt kostnadsberäkningar en gräns för lönsamhet vid ett genomsnittligt energipris under brukstiden av 0,25 - 0,30 kr/kWh beroende på utförande. Antas en årlig energiprisökning av 10 % och internräntefot 10 %, dvs 10 % förväntad avkastning på investerat kapital, fås vid högtemperatursystem för flerfamiljshus lönsamhet vid ett energipris idag av ca 0,12 kr/kWh. Detta skall ställas i relation till dagens energipriser, som vid egen värmecentral resp fjärrvärme uppgår till totalt ca 0,08 kr/kWh (Stockholm). För hushållsel betalas ca 0,12 - 0,15 kr/kWh och i vissa fall mer. Vid befintliga anläggningar måste man räkna med något högre lönsamhetsgräns än ovanstående, vilken avser nybyggnad. Av intresse i sammanhanget kan noteras att lönsamheten bl a påverkas av varmvattenförbrukningens storlek. Sålunda ger energibesparande åtgärder såsom installation av varmvattenmätare sämre lönsamhet för solvärmesystem.

Utförda kostnadsberäkningar pekar på att det idag är motiverat att i första hand satsa på konventionella system och åtgärder för energibesparing såsom installation av varmvattenmätare, återluftförling, värmeåtervinning ur frånluft, tilläggsisolering m m. För att bli attraktivare från lönsamhetssynpunkt måste solvärmesystemen förbättras genom målmedveten utveckling av system och komponenter. Detta gäller speciellt solfångare, värmepumpar samt metoder för energilagring. Härigenom kan priserna pressas på de olika komponenterna samtidigt som energiutbytet ökas.

FÖRSLAG TILL FORTSATT UTVECKLINGSARBETE

Utredningen har visat att det ännu återstår en rad tekniska problem och frågor av principiell natur att lösa innan man nått fram till en utvecklad solvärmekonstruktion, som kan motsvara alla de krav, som idag normalt ställs på energibesparande system. Detta gäller t ex krav beträffande enkel skötsel, låga underhållskostnader samt god lönsamhet. Nedan ges några exempel på forskningsuppgifter som bedömts som angelägna.

- Beräkning och sammanställning av data över infångad solenergi timme för timme under normalåret. Materialutframtas för solfångare på basis av tillgängliga mätdata över solinstrålningen.
- Uppmätning av varmvattenförbrukningen i olika typer av byggnader. Mätresultaten sammanställs i form av diagram som visar energibehovets dygns- och årsvariationer. (Lämpligt t ex som examensarbete vid teknisk högskola).
- Detaljutformning av solfångare med hänsyn till bästa verkningsgrad, montagesynpunkter, kostnader m m. Härvid skall t ex undersökas lämplig storlek per enhet, lämpligt inkopplingsätt på rörsidan mellan de olika enheterna (serie, parallell, placering av anslutningspunkter), lämpligt vattenflöde per enhet, erforderlig isolering m m.
- Detaljutformning av lämpligt system för effektreglering av solfångarna vid låg tappning eller extrem solstrålning (t ex utvändiga jalousier).
- Framtagning av avsvalningskurvor för isolerade vattentankar av olika storlekar på basis av temperaturmätningar. Även ekonomisk isolertjocklek bör undersökas. (Lämpligt t ex som examensarbete vid teknisk högskola).
- Produktutveckling av värmepumpar, så att bl a högre kondenseringsstemperatur kan tillåtas.

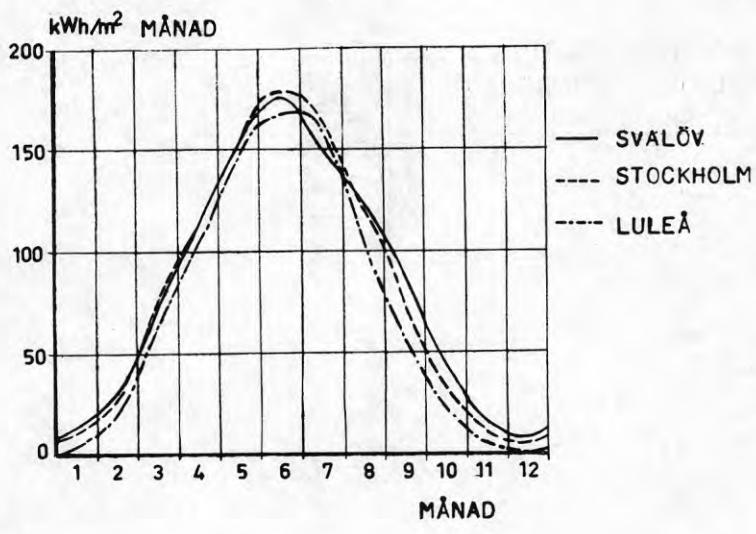
- Utarbetande av enkelt datorprogram för beräkning av bl a temperaturförlopp och nyttiggjord energi under året vid solvärmeanläggningar för tappvarmvatten.
- Praktisk testning av solvärmesystem för tappvarmvatten genom fullskaleprov i en härför upprättad provanläggning.

LITTERATUR

1. Ashrae Journal. Solar energy. November 1975, p 32-75, New York.
2. Byggnadsenergigruppen. Energianvändning i byggnader. Byggeforskningsrapport R10:1974. 110 s, Stockholm.
3. Dirke L. 1961. Varmvattenförbrukning i lägenheter med och utan varmvattenmätare. Byggeforskningen. Särtryck 3:1961, 12 s, Stockholm.
4. Isaksson P, Lönn S, Möller I B, Öfverholm E. Solvattenvärmare för sommarbruk. VVS informationsskrift 1976:1, 63 s, Stockholm.
5. Horwitz L. Solenergi - uppvärmning - lönsamhet. Rapport 1976:1, 87 s, Byggdok, Stockholm.
6. Isfält E. 1975. Förutsättningar för solvärmesystem i Sverige. Tekniskt meddelande nr 62. Inst. för uppvärmn. och vent. KTH, p 102-111, Stockholm.
7. Järnefors U. Lönsamhetskalkyler vid energibesparande åtgärder för befintliga byggnader. Byggeforskningsrapport R40:1975, 49 s, Stockholm.
8. Munther K. Energiförbrukning i småhus. Byggeforskningsrapport R58:1974. 199 s, Stockholm.
9. Nordenström H m fl. 1975. Byggaende, energi och ekologi. Rapport från en resa i USA. BFR skrift T11:1975, 305 s, Stockholm.
10. Olsson C-H. 1975. Solenergi och byggaende i Israel - en reserapport. 39 s, Lund.

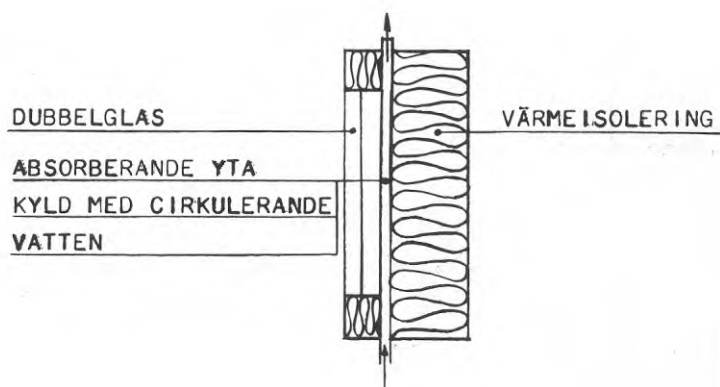
11. Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning.  
Byggnaders energiförsörjning. Byggeforskningsrapport  
R9:1970, 37 s, Stockholm.
12. Svensson G. Dygnsbehovet av tappvarmvatten. Byggeforsk-  
ningen R57:1973. 31 s, Stockholm.
13. VVS-handboken. Tabeller och diagram 1974. Förlags AB VVS,  
Stockholm.





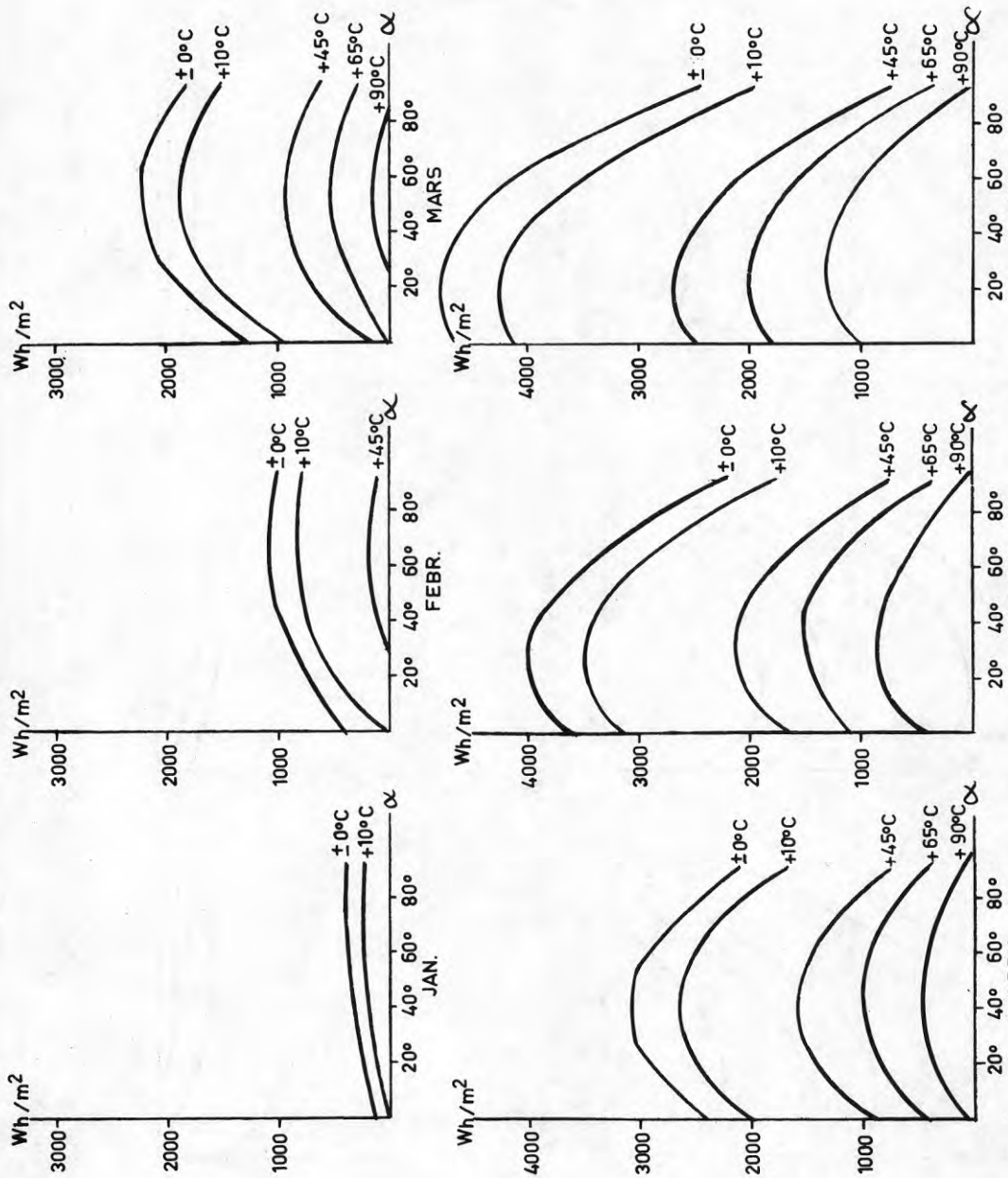
TOTAL SOLINSTRÅLNING MOT HORIZONTELL YTA

FIG. 1

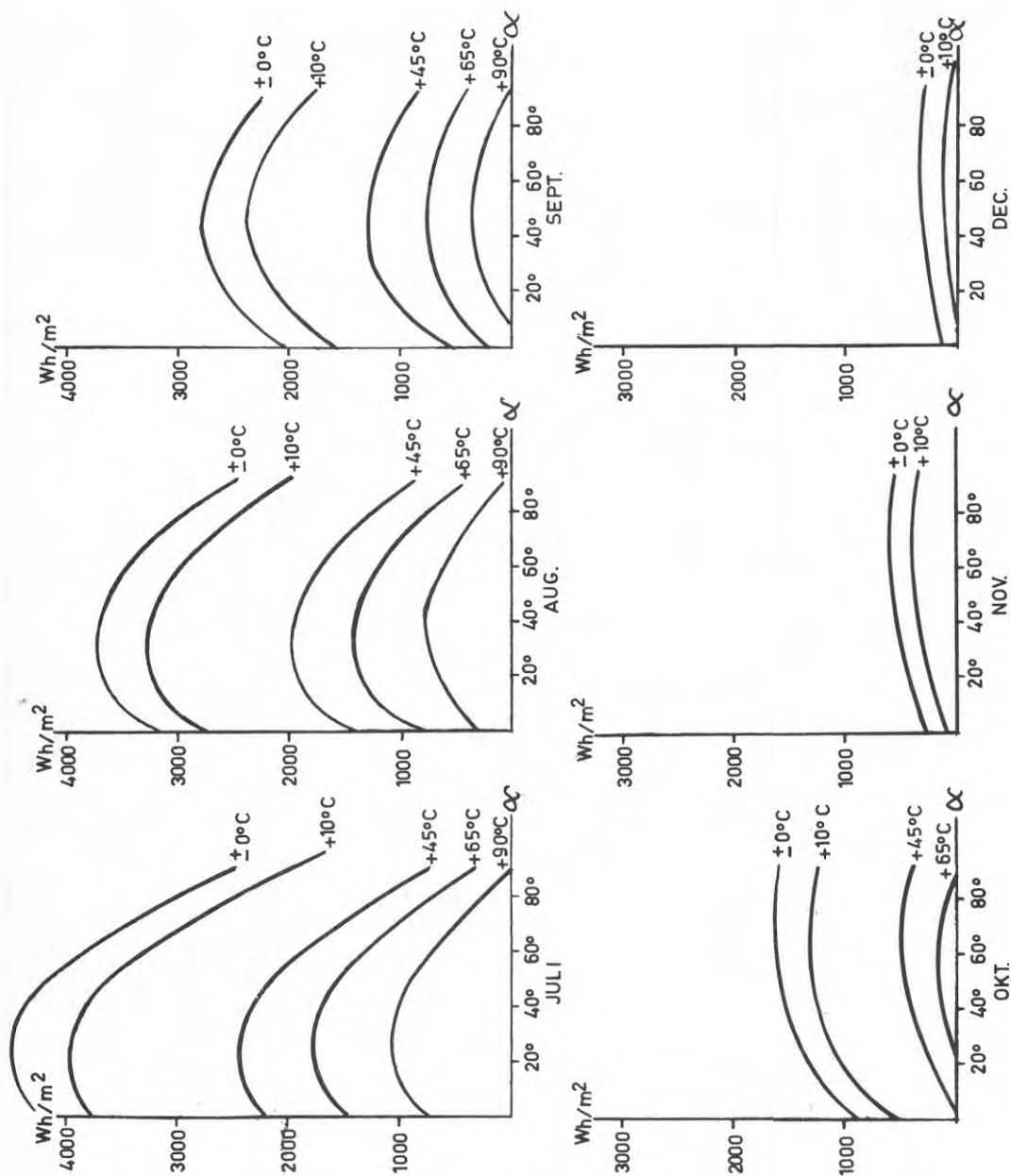


PLAN SOLFÅNGARE

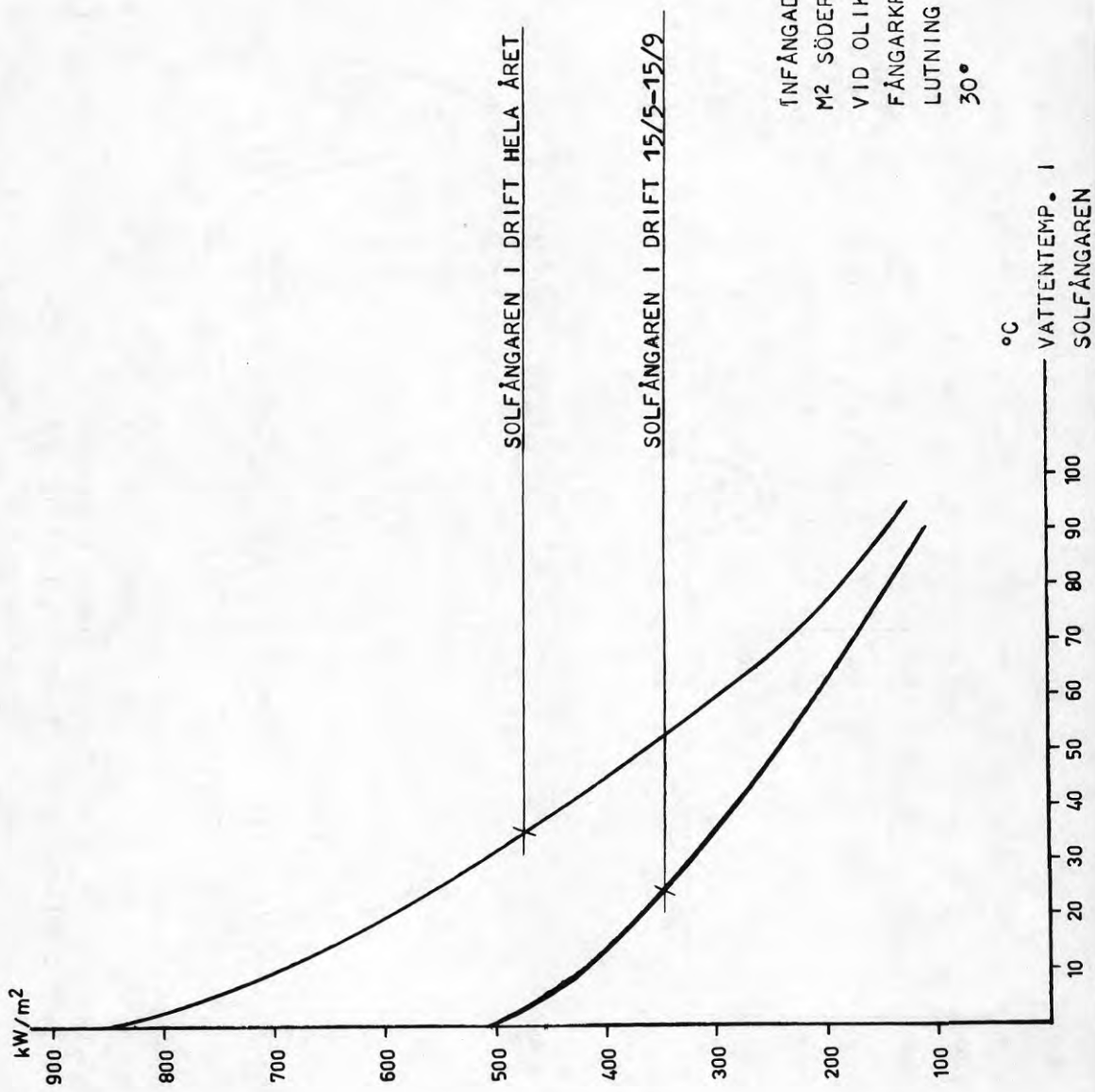
FIG. 2



INFÄNGAD SOLENERGI PER DYGN OCH  $M^2$  SÖDERVÄND SOLFÄNGARYTA. JANUARI—JUNI VATTENTEMP. I SOLFÄNGARE  $+10^\circ, +45^\circ, +80^\circ\text{C}$ . SOLFÄNGARENS LUTNING MOT HORIZONTALPLANET:  $\alpha$ .

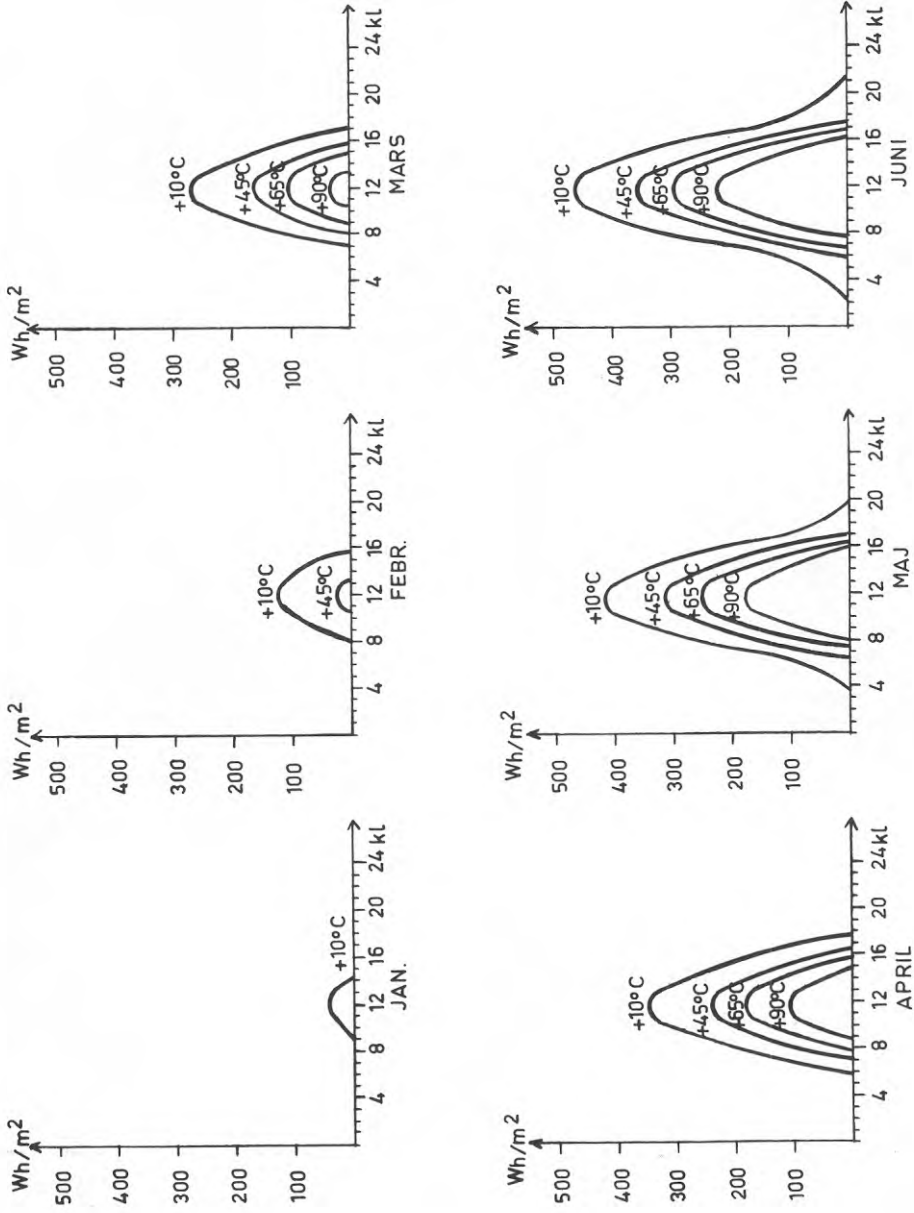


INFÅNGAD SOLENERGI PER DYGN OCH M<sup>2</sup> SÖDERVÄND SOLFÅNGÄRYTA. JULI-DECEMBER VATTENTEMP. I SOLFÅNGÄRE  $+10^\circ, +45^\circ, +80^\circ C$  SOLFÅNGÄRENS LUTNING MOT HORIZONTALPLANET:  $\alpha$

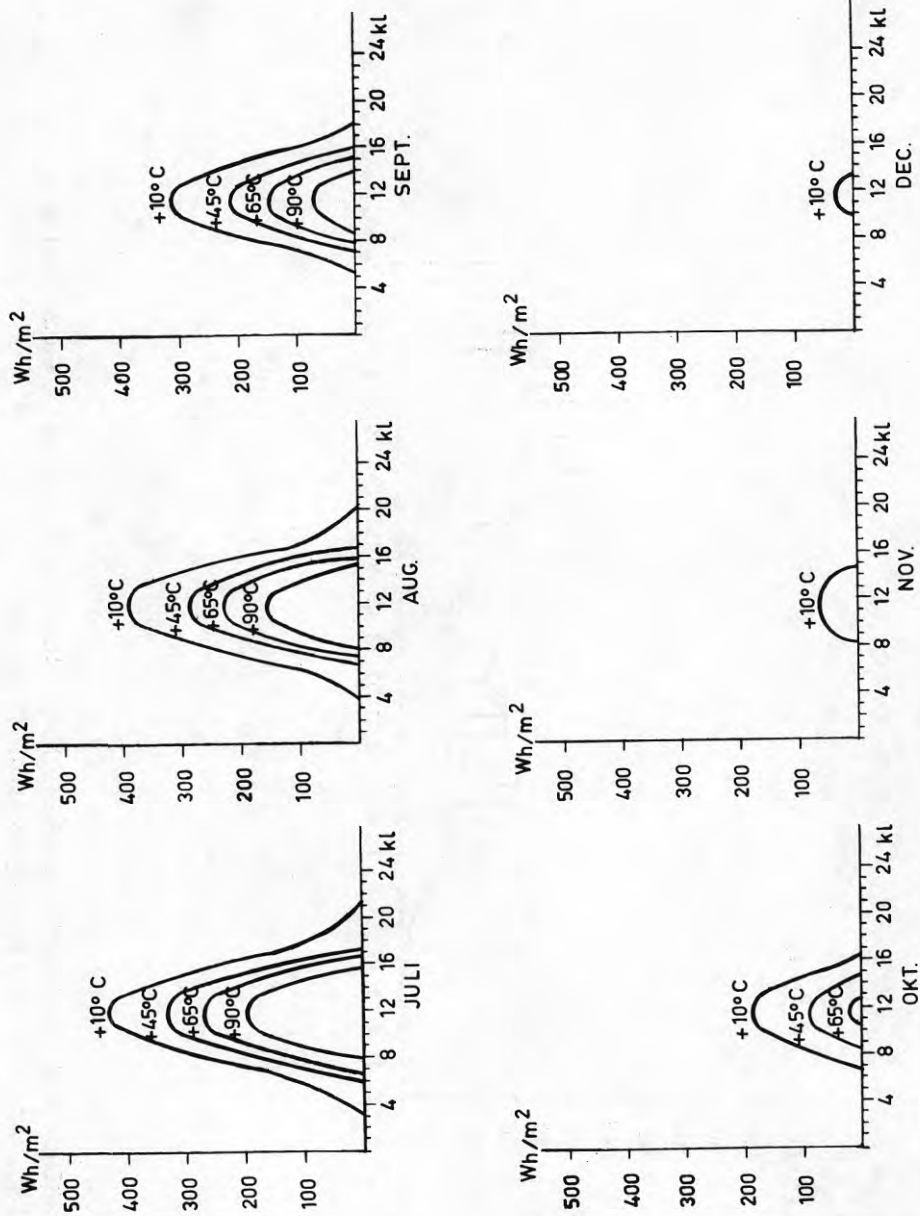


INFÅNGAD SOLENERGI PER ÅR OCH  
 M<sup>2</sup> SÖDERVÄND SOLFÅNGARYTA.  
 VID OLIKA VATTENTEMP I SOL-  
 FÅNGARKRETSEN. SOLFÅNGARENS  
 LUTNING MOT HORIZONTALPLANET:  
 30°

FIG. 5

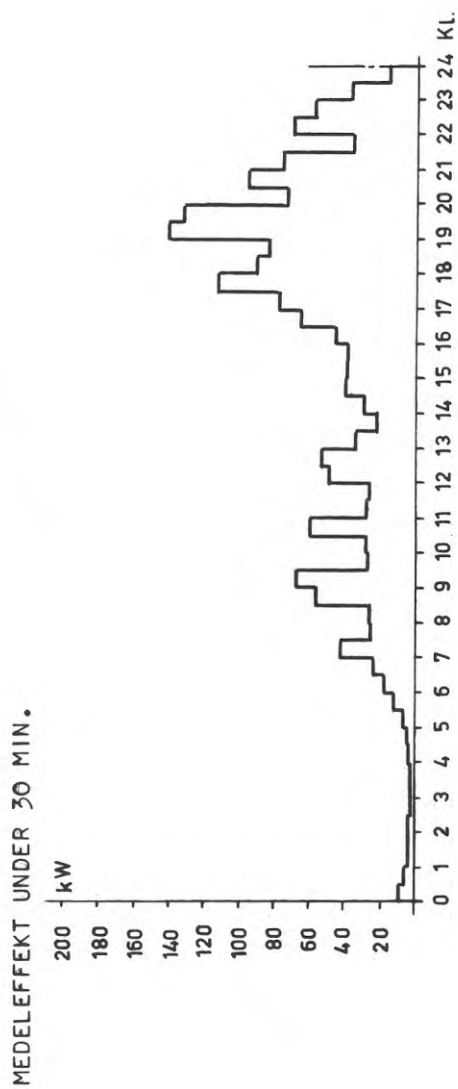


INFÅNGAD SOLENERGI PER TIMME OCH  $m^2$  SÖDERVÄND SOLFÅNGARYTA JANUARI–JUNI VATTENTEMP I SOLFÅNGARE +10, +45, +65, +90°C SOLFÅNGARENS LUTNING MOT HORIZONTALPLANET: 30°

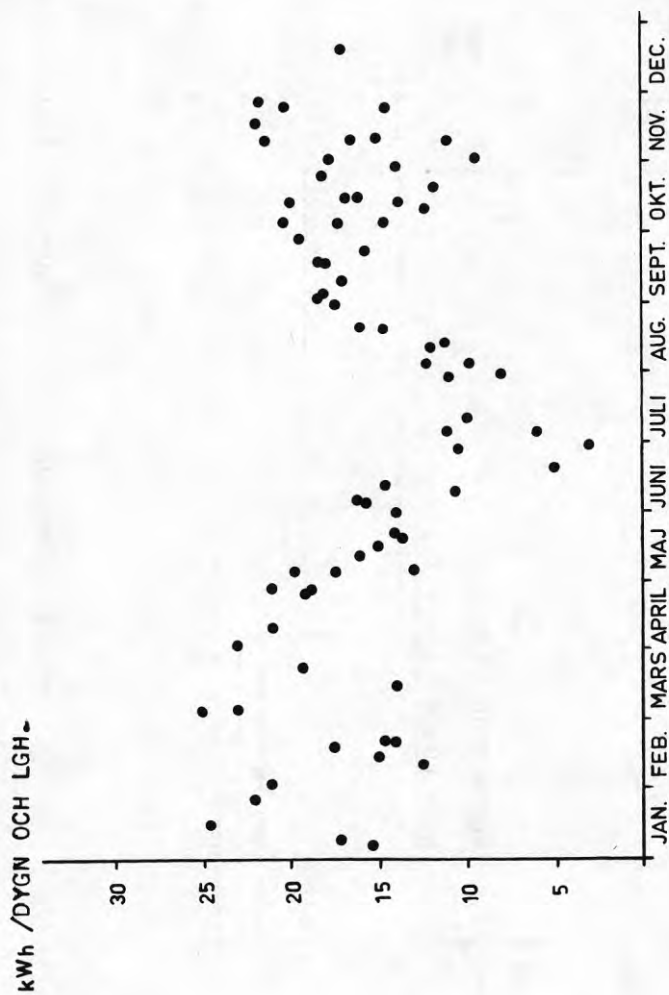


INFÅNGAD SOLENERGI PER TIMME OCH  $m^2$  SÖDÄRVÄND SOLFÅNGARYTA JULI-DEC. VATTENTEMP. I SOLFÅNGARE  
 $+10^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $+65^\circ$ ,  $+90^\circ C$  SOLFÅNGARENS LUTNING MOT HORIZONTALPLANET:  $30^\circ$



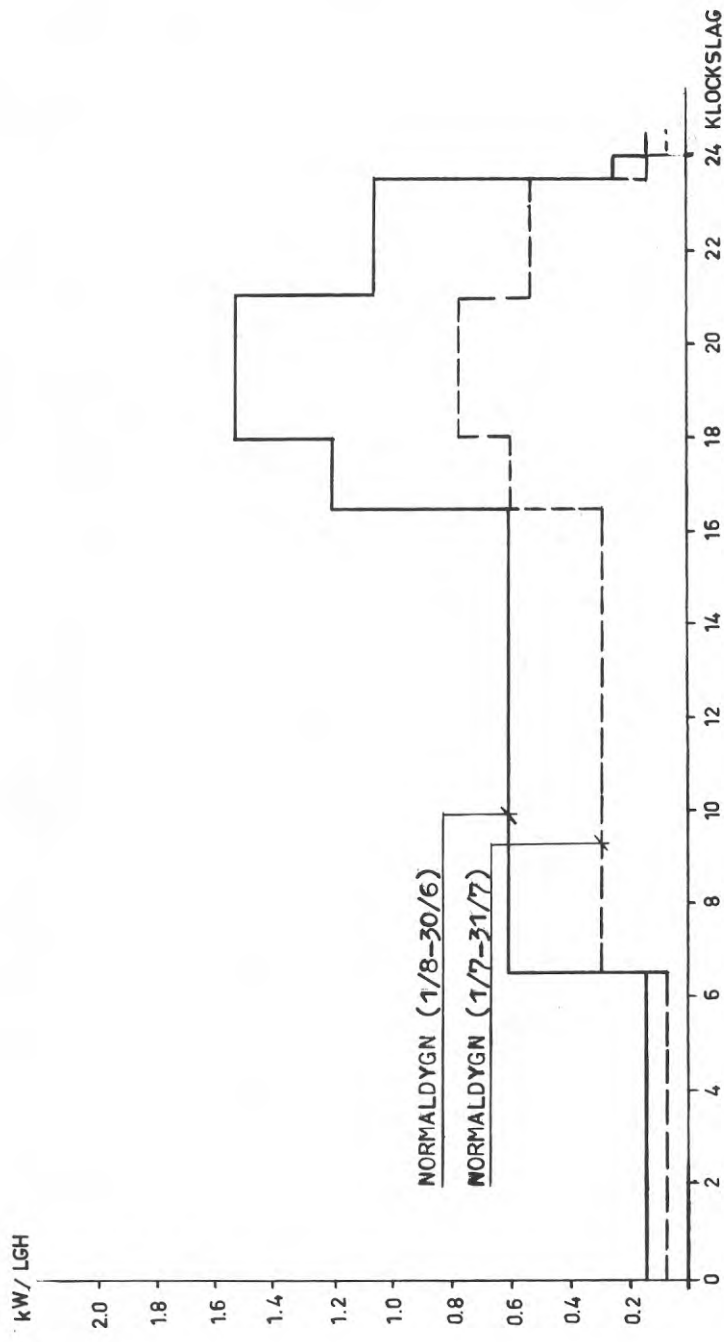


VÄRMEBEHOV FÖR TAPPVARMVATTENBEREDNING UNDER DYGN MED STOR FÖRBRUKNING  
MÄTRESULTAT FRÅN 48 LÄGENHETER I GÖTEBORG. FIG. 8

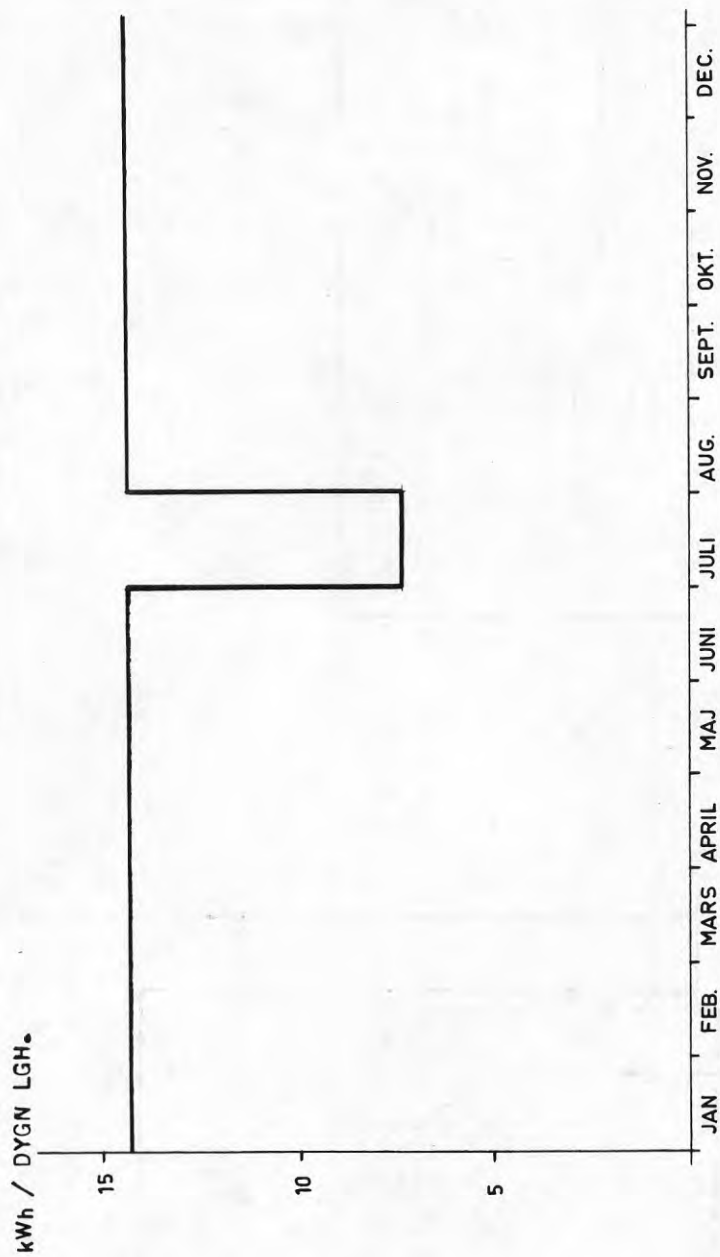


STÖRSTA DYGNSEBEHOVET AV VÄRME FÖR TAPPVARMVATTENBEREDNING  
 VARIATIONEN UNDER ÅRET. PUNKTERNA AVSER MÄTVÄRDEN FRÅN FJÄRRVÄRMEANSLUTNA  
 VÄRMECENTRALER MED MELLAN 16 OCH 147 LÄGENHETER ANSLUTNA

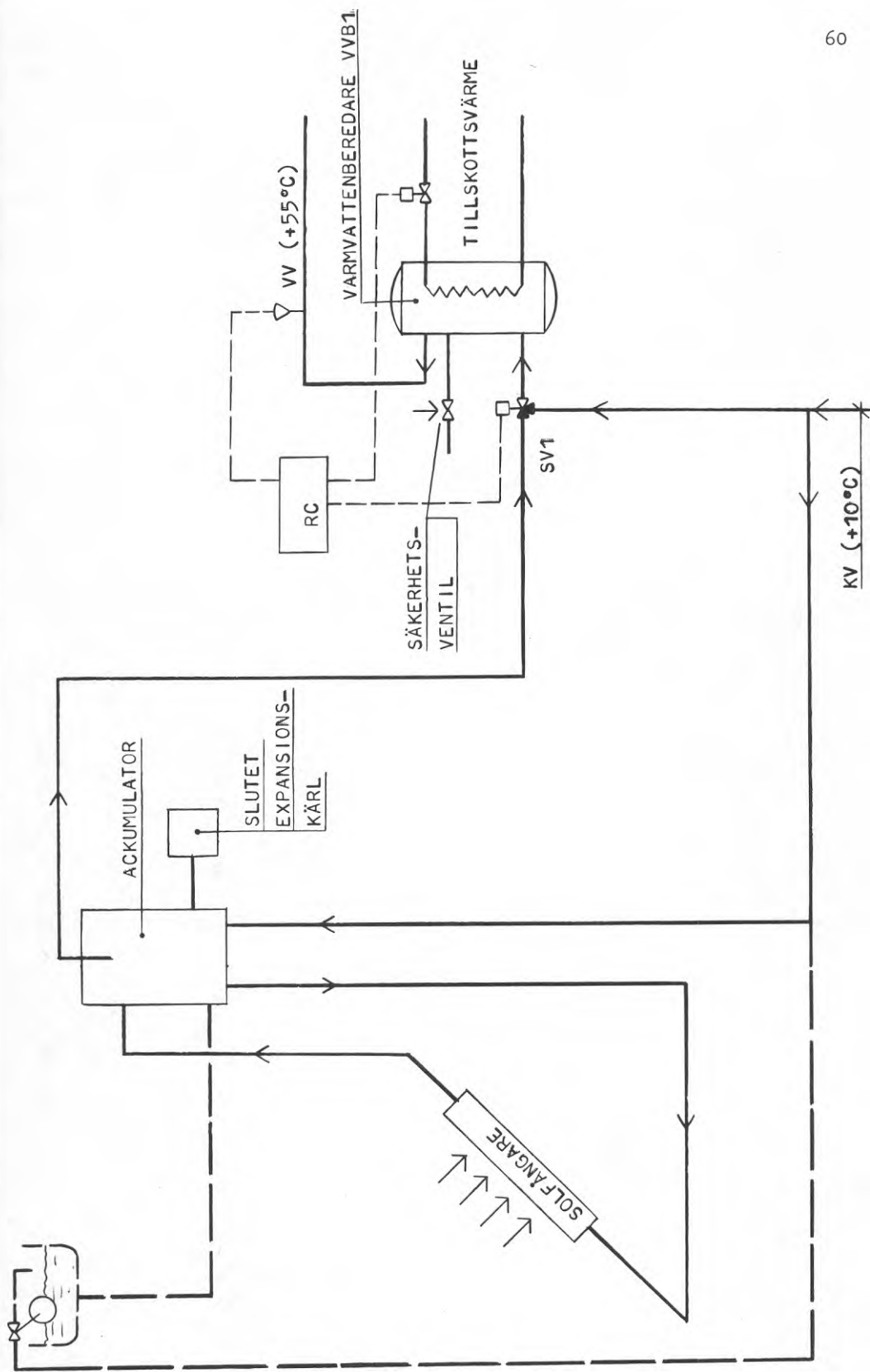
FIG. 9



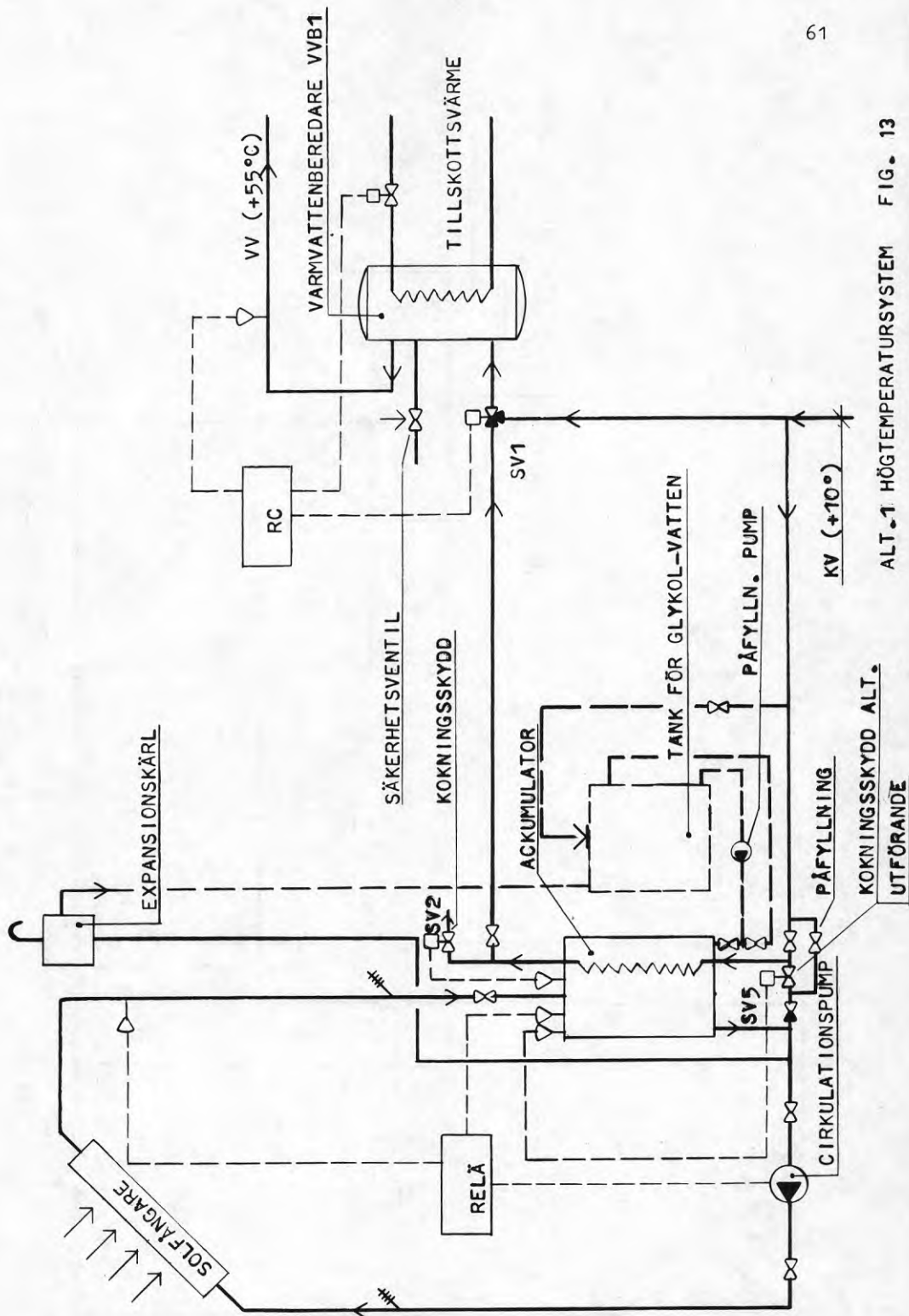
ÄNTAGET VÄRMEBEHOV FÖR TAPPVÄRMVATTEN VARIATION UNDER DYGNET FIG. 10



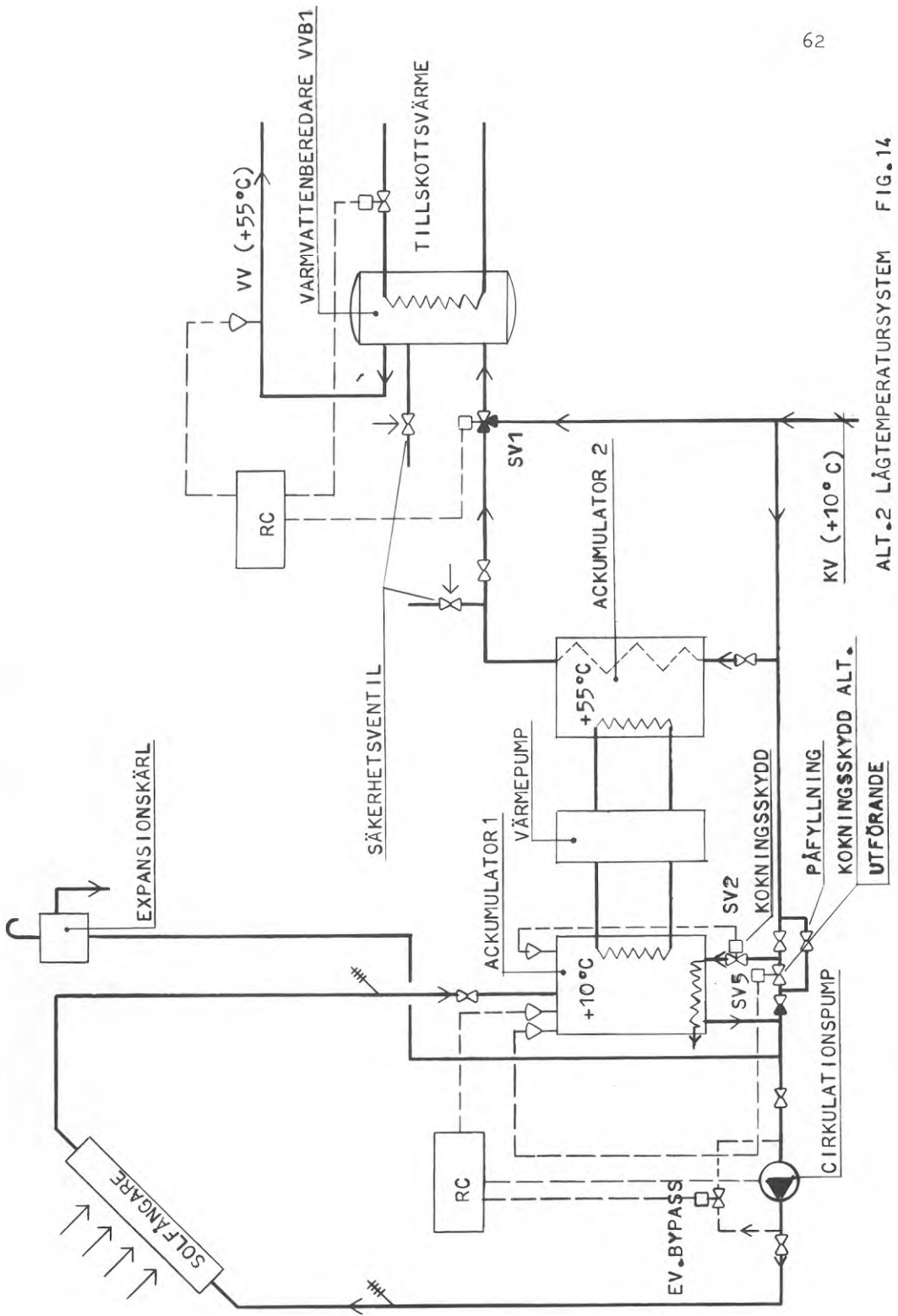
ANTAGET VÄRMEBEHOV FÖR TAPPVARMVATTEN. VARIATION UNDER ÅRET. FIG. 11



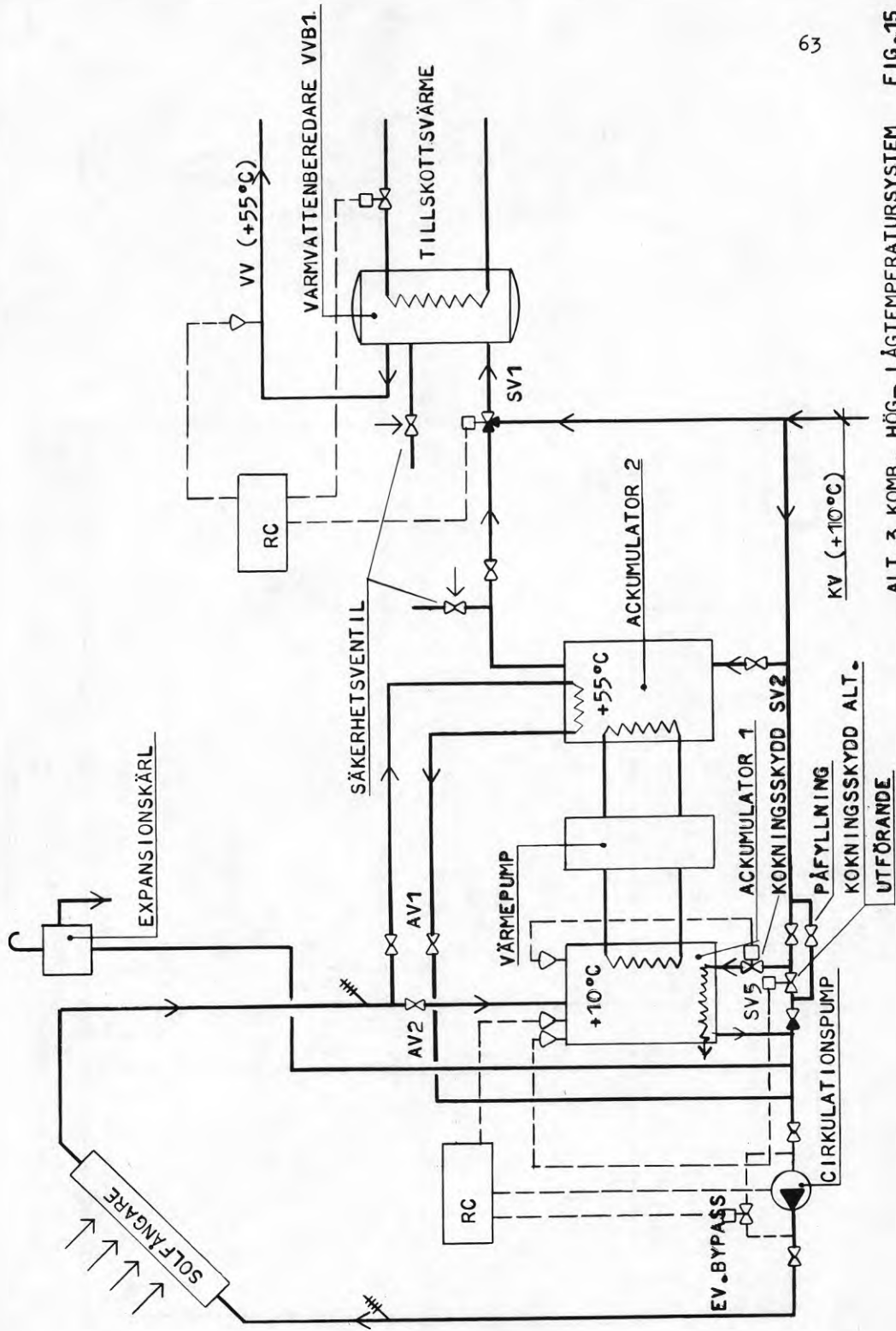
PRINCIP FÖR DIREKTVÄRMNING AV TAPPVARMVATTEN I SOLFÄNGARE FIG. 12



ALT. 1 HÖGTEMPERATURSYSTEM FIG. 13

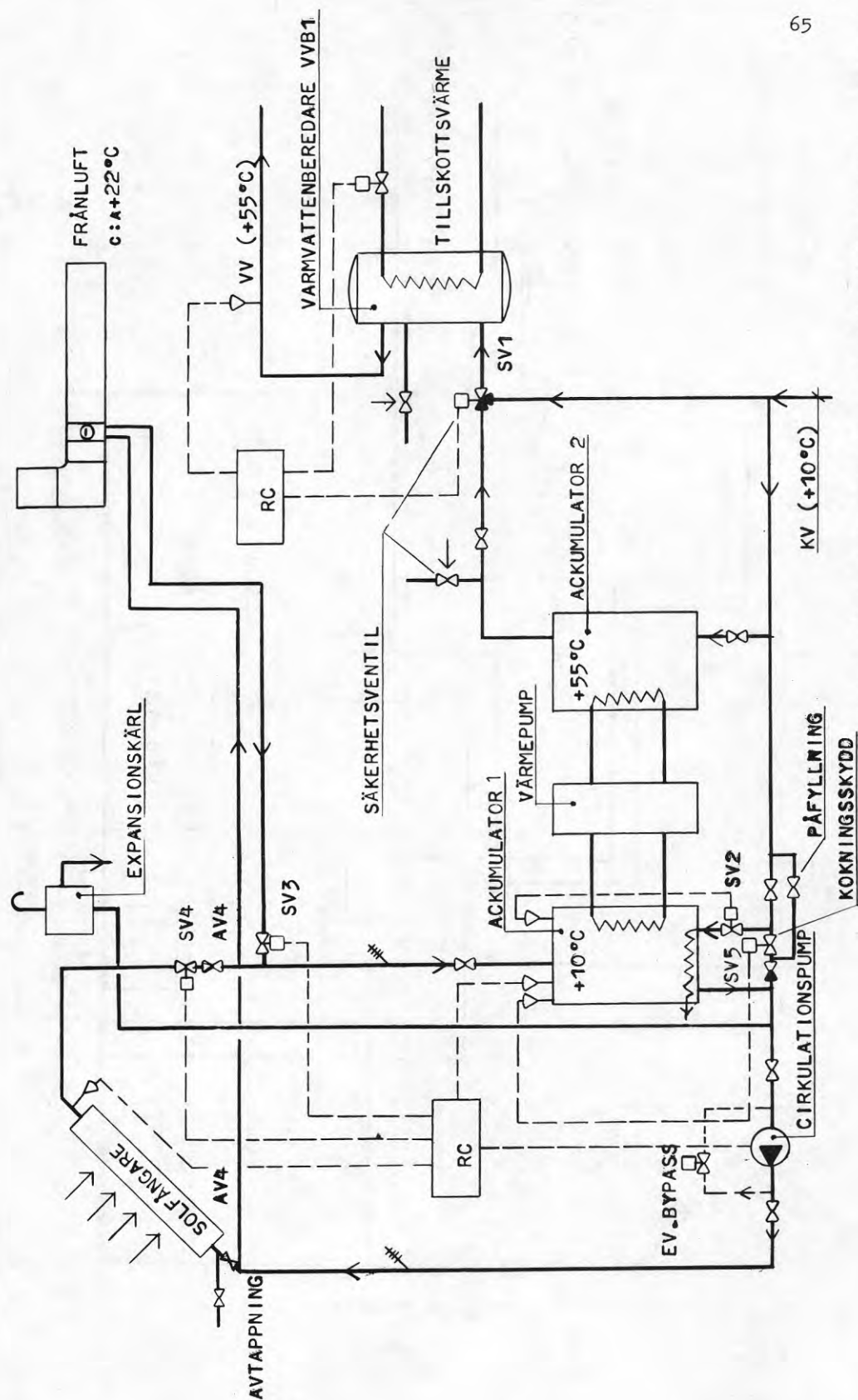






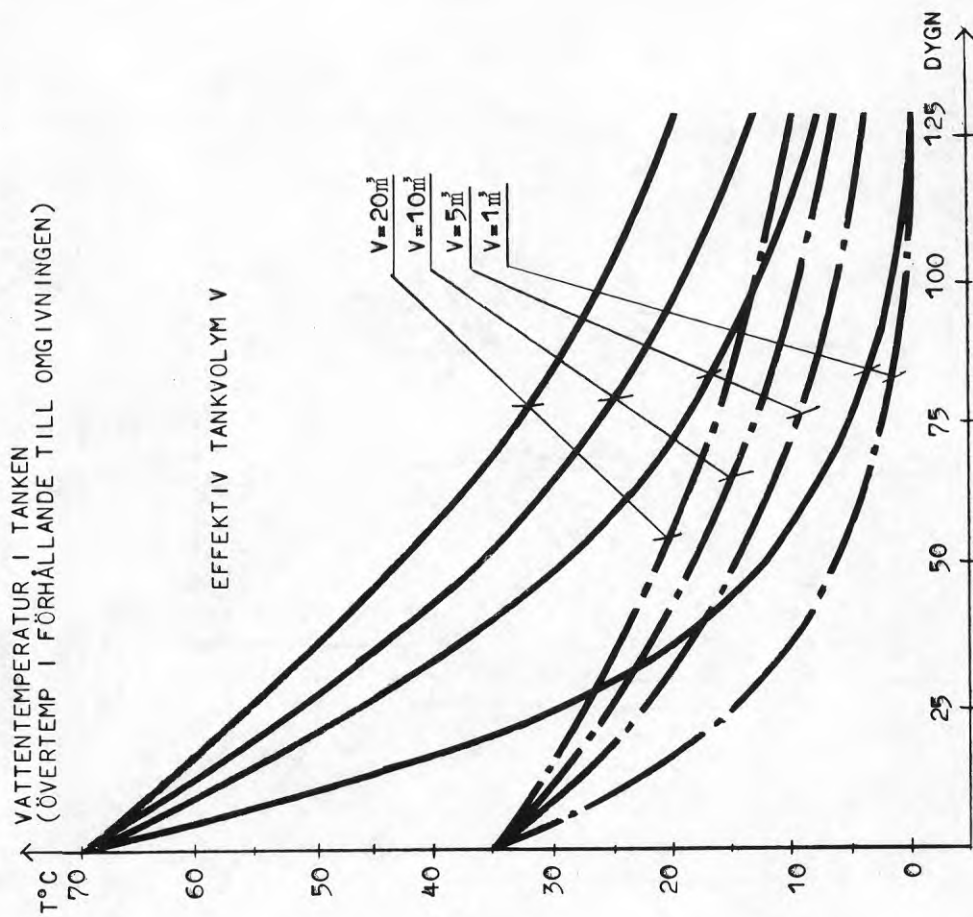
ALT.3 KOMB. HÖG- LÅGTEMPERATURSYSTEM FIG.15





ALT. UTFÖRANDE ALT.5 LÅGTEMPERATURSYSTEM MED VÄRMEÅTERVINNING FIG.17





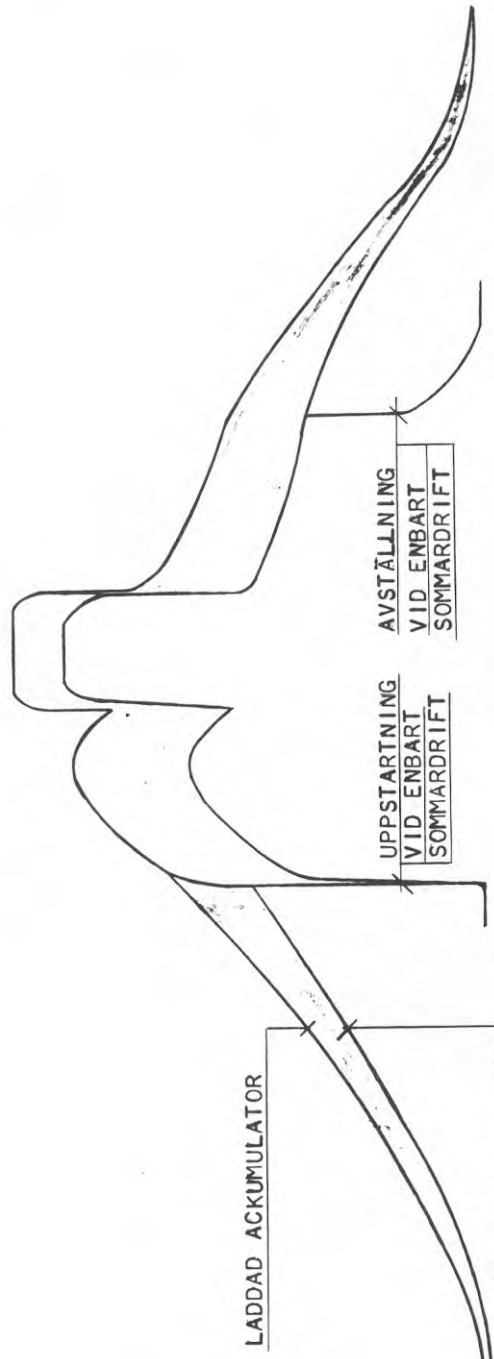
AVSVÄLNINGSKURVOR FÖR ISOLERAD, CYLINDRISK VATTENTANK, MINERALULLSTJÖCKLEK = 200MM  
VID OLIKA BEGYNNELSETEMPERATURER.

°C

HALVA VÄRMEBEHOVET I  
JULI VILKET MEDFÖR  
ÖVERKAPACITET

TANKVOLYMN C::A:400L

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10



JAN. FEB. MARS APRIL MAJ JUNI JULI AUG. SEPT. OKT. NOV. DEC.

HÖGTEMPERATURSYSTEM TEMP. FÖRLOPP I ACKUMULATOR

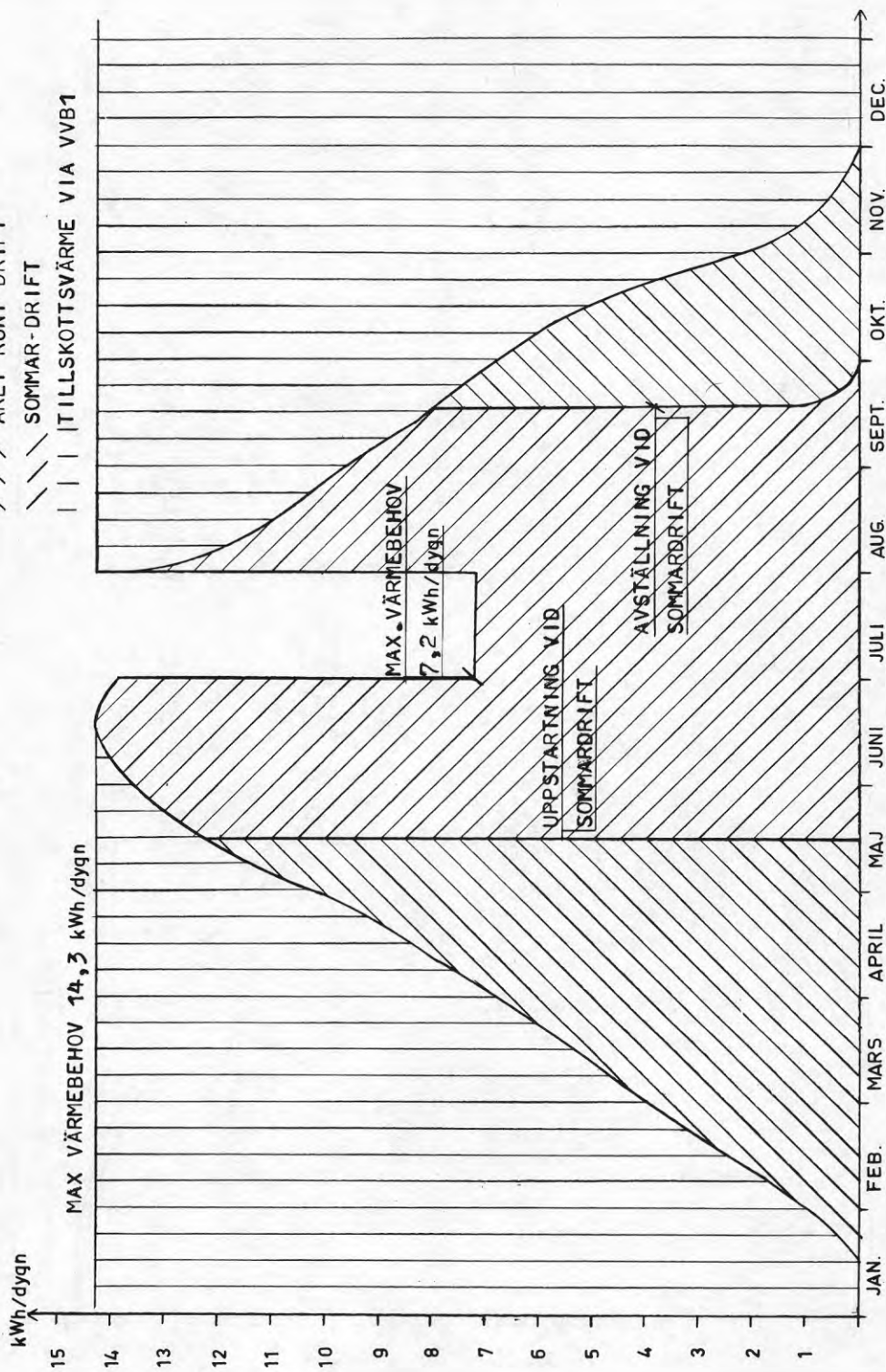
FIG. 20

SOLFÅNGARAREA C:A 9m<sup>2</sup>

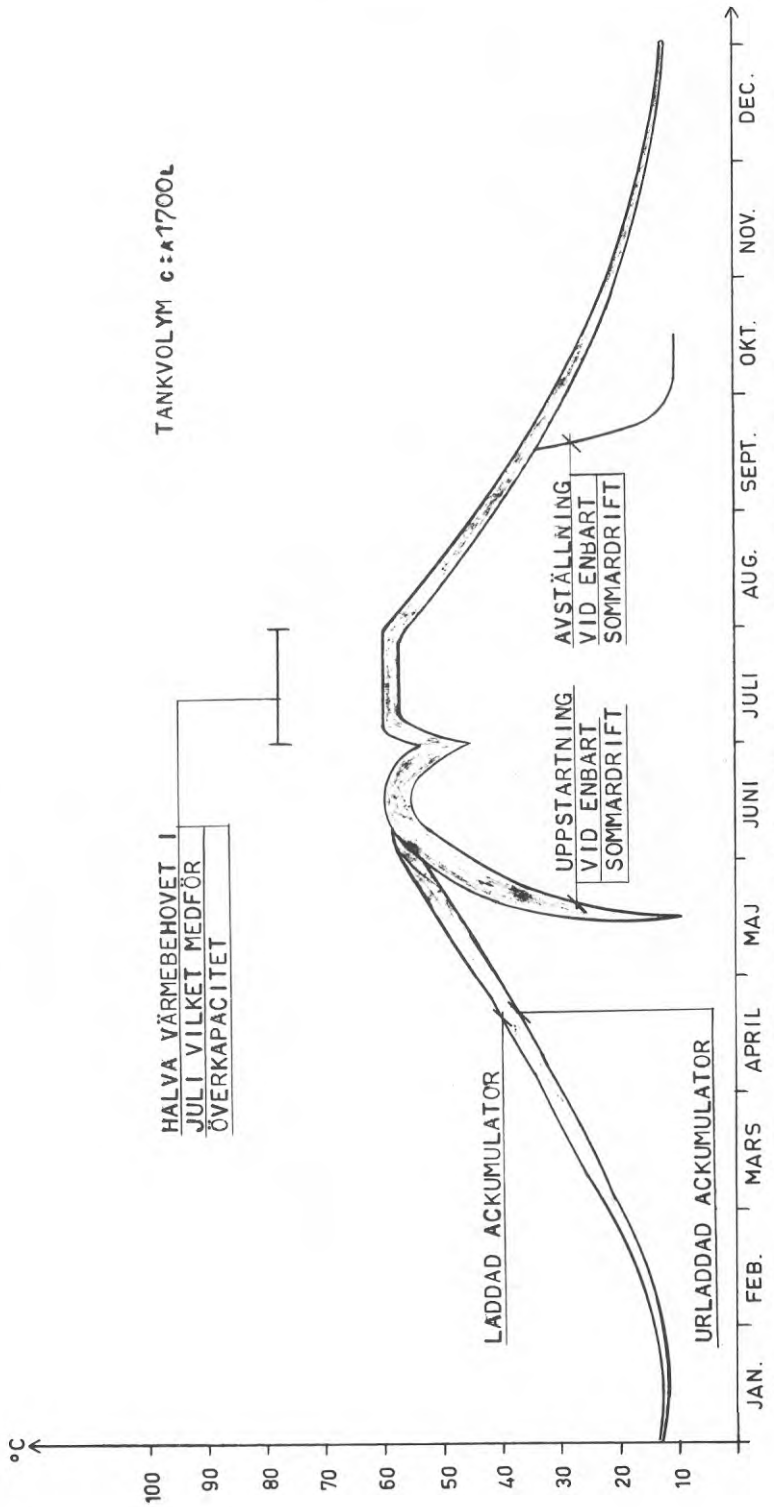
/// ÅRET-RUNT-DRIFT

\\ \\ SOMMAR-DRIFT

|| || TILLSKOTTSVÄRME VIA VVB1



HÖGTEMPERATURSYSTEM. ENERGIBESPARING



LÅGTEMPERATURSYSTEM, TEMP. FÖRLOPP I AKKUMULATOR 2

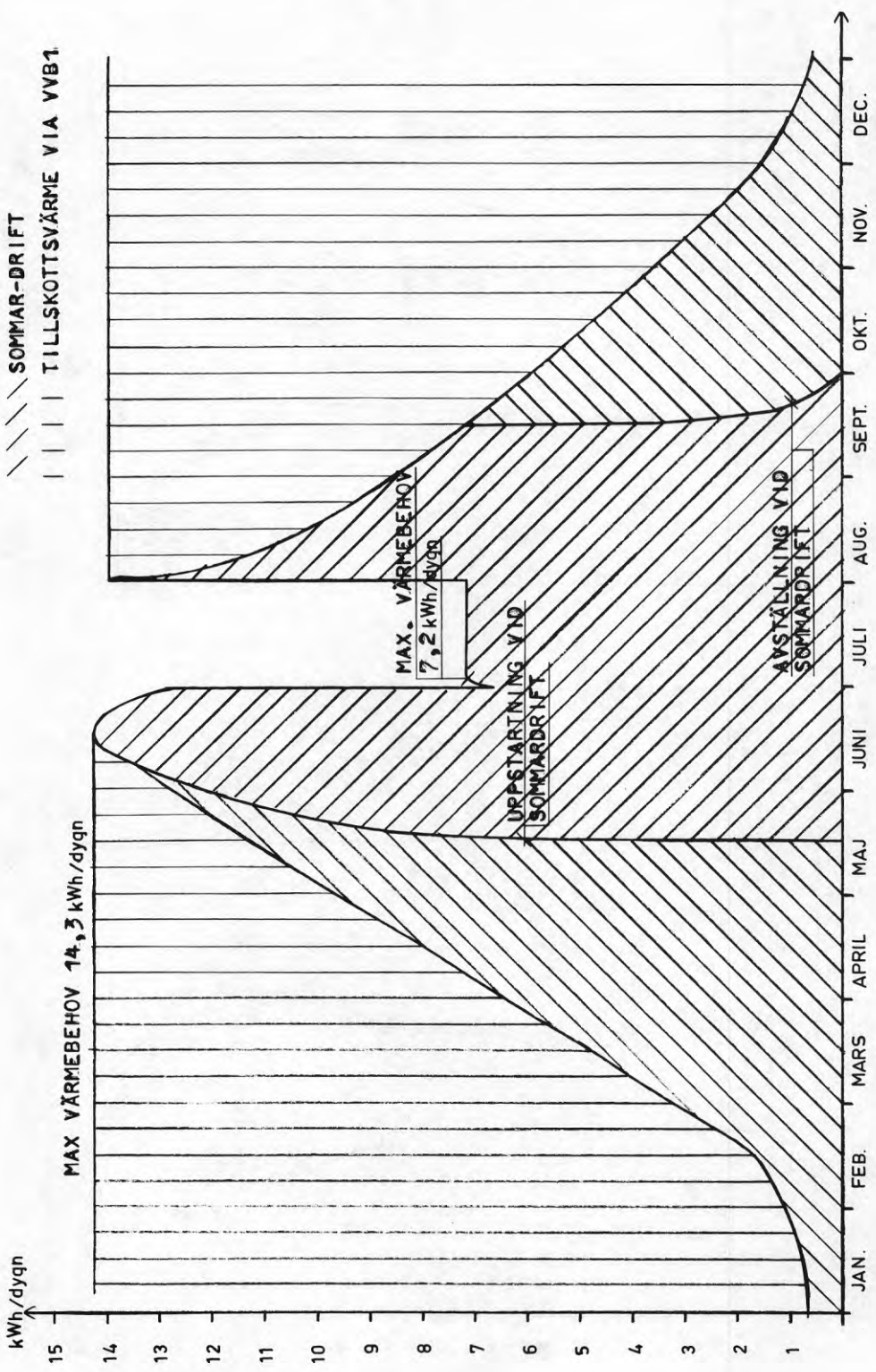


SOLFÄNGARAREA 6:1 2M<sup>2</sup>

/// ÅRET-RUNT-DRIFT

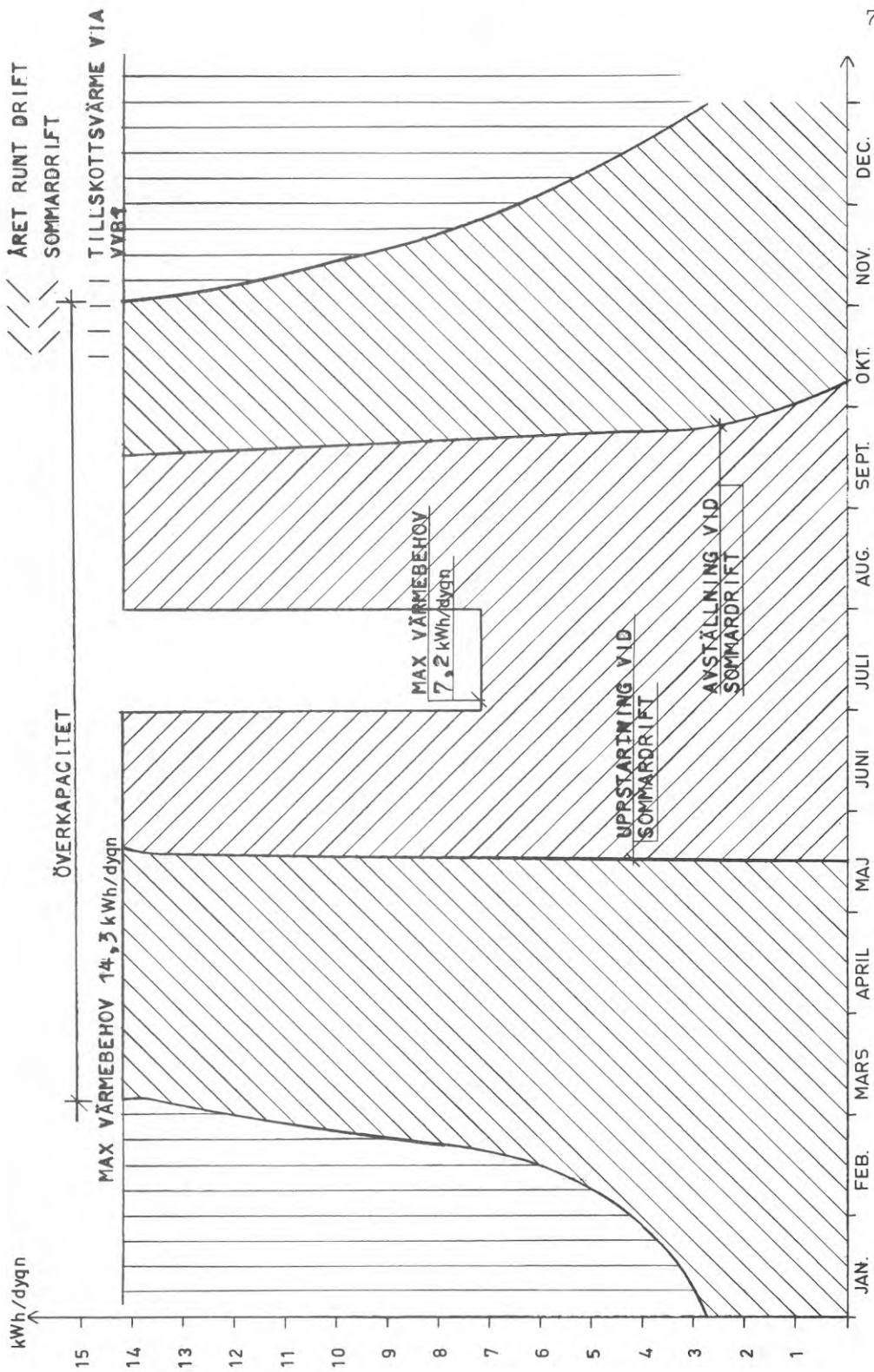
\\ \\ SOMMAR-DRIFT

|| || TILLSKOTTSVÄRME VIA VVB1



LÅGTEMPERATURSYSTEM. ENERGIBESPARING

FIG. 23



LÅGTEMPERATURSYSTEM MED C:A 9m<sup>2</sup> SOLFÅNGARYTA. ENERGI- OCH VÄRMEBESPARING

FIG. 24

SOLFÄNGAREAREA C:A 2M<sup>2</sup>

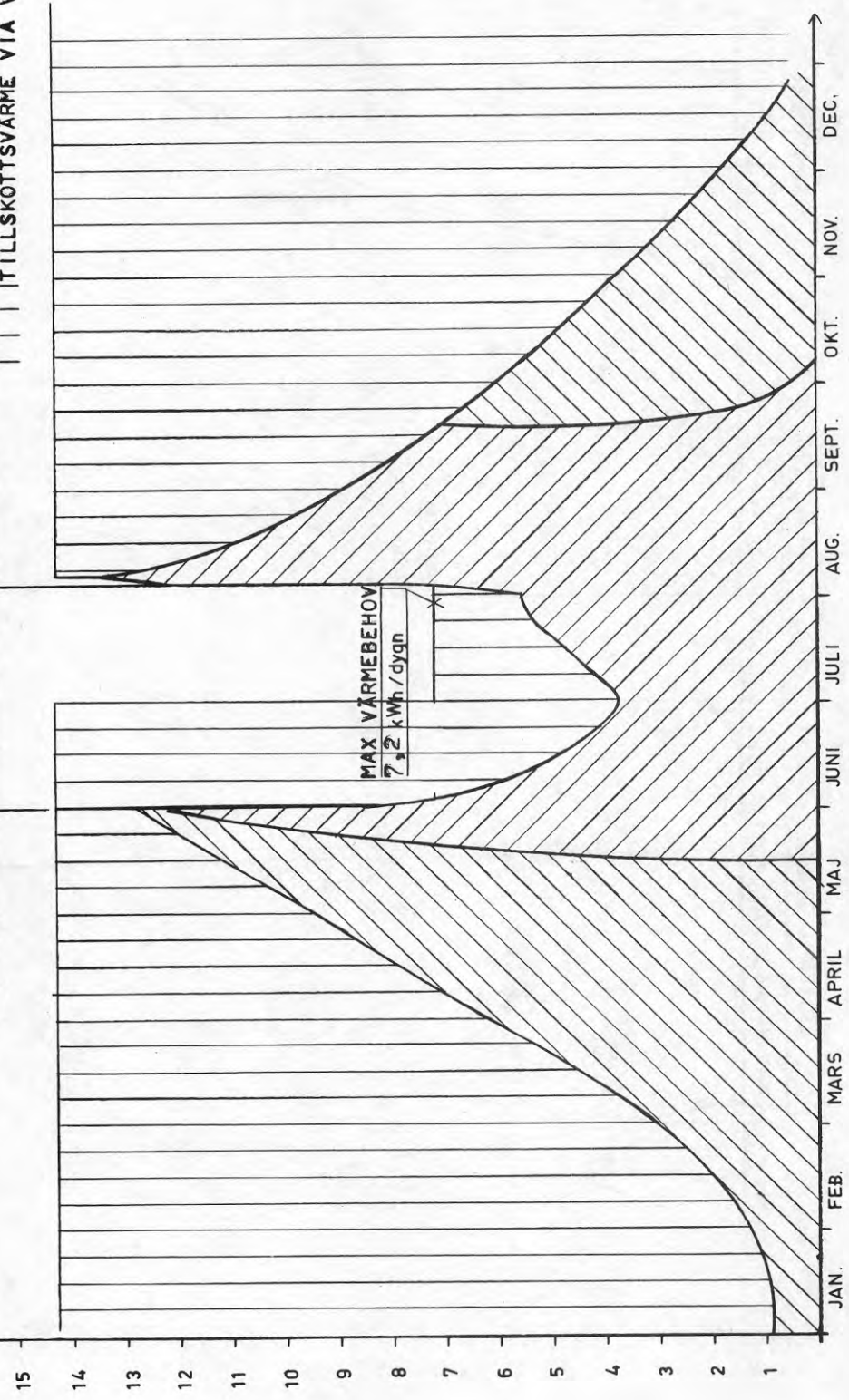
/// ÅRET-RUNT-DRIFT

\\ \\ SOMMARDRIFT

| | | ITILLSKOTTSVÄRME VIA VVB1

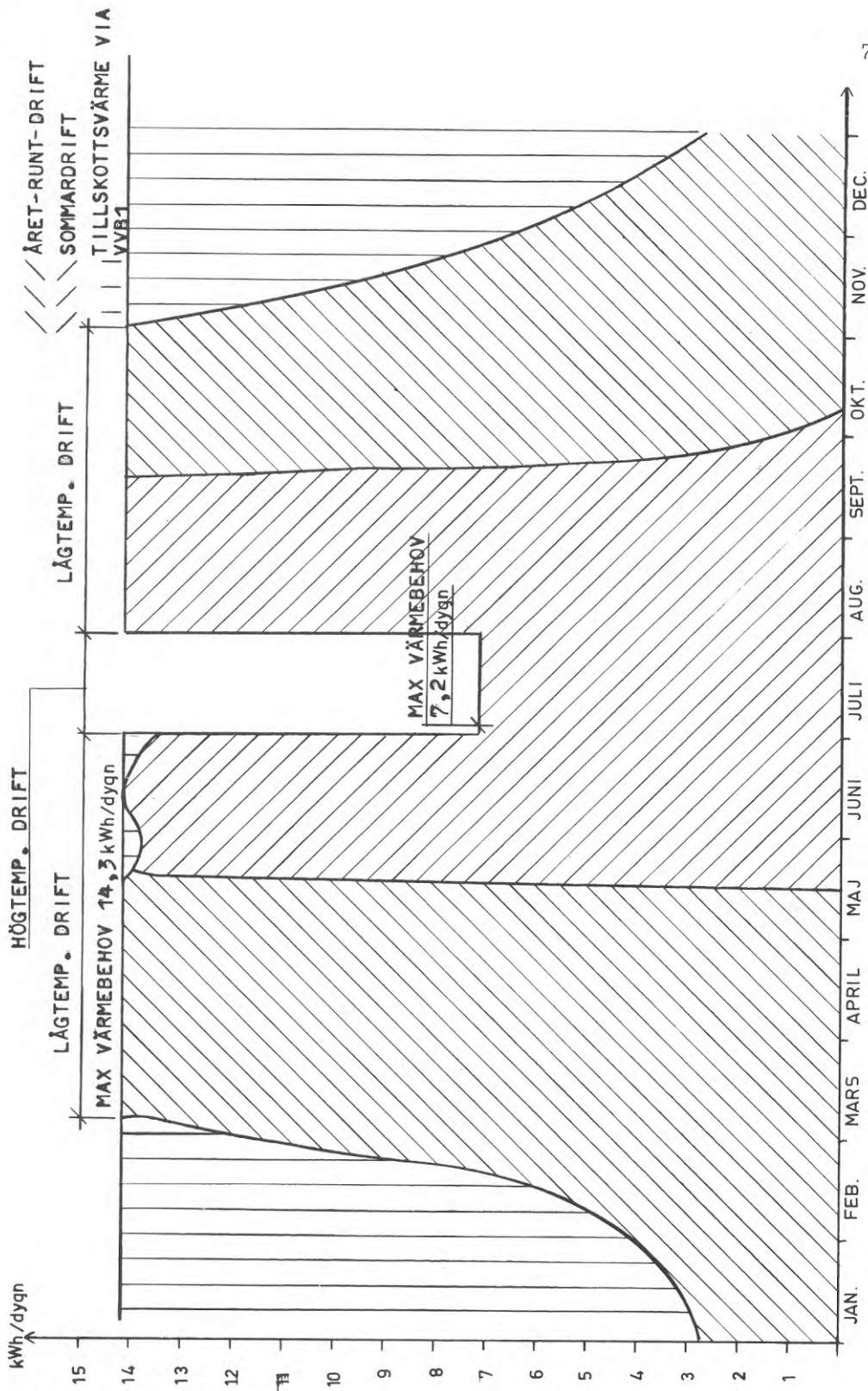
LÅGTEMP. DRIFT HÖGTEMP. DRIFT LÅGTEMP. DRIFT

kWh/dygn

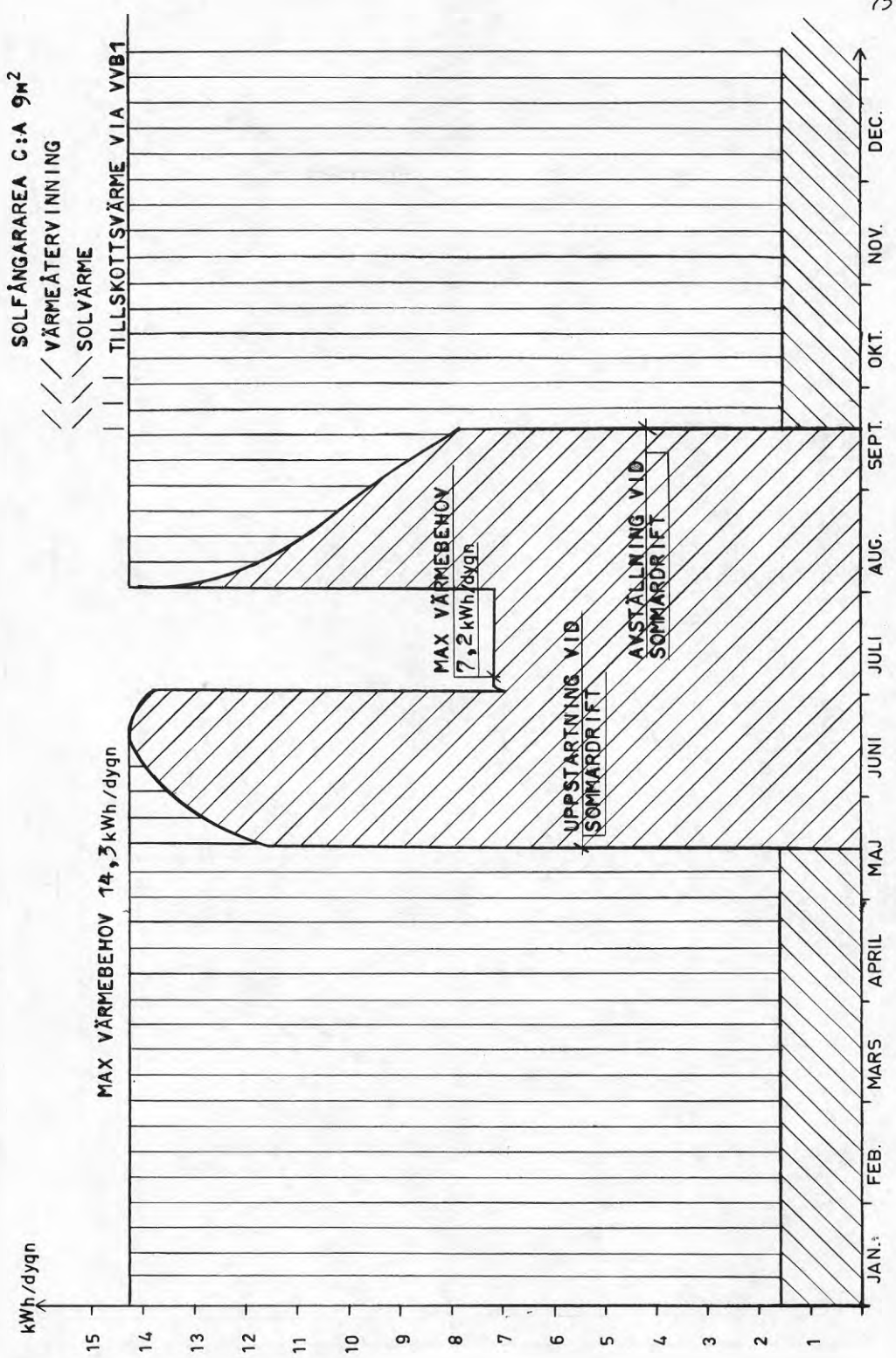


KOMB. HÖG- LÅG- TEMP. SYSTEM. ENERGI BESPARING.

FIG. 25



KOMB. HÖG- LÅG- TEMP. SYSTEM MED C:A 9:M<sup>2</sup> SOLFÅNGARYTA, ENERGI BESPARING



HÖGTEMP. SYSTEM MED VÄRMEÅTERVINNING. ENERGIBESPARING



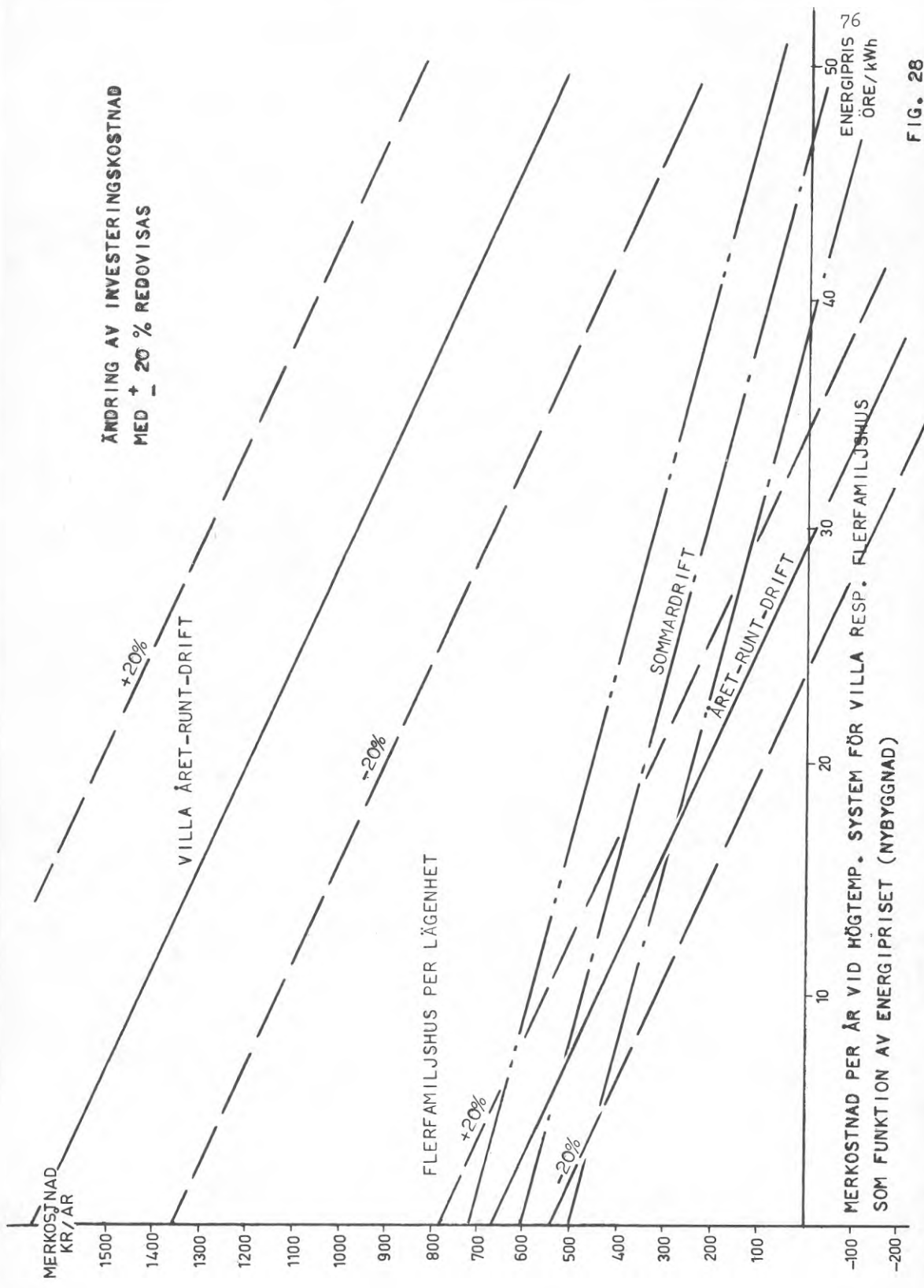
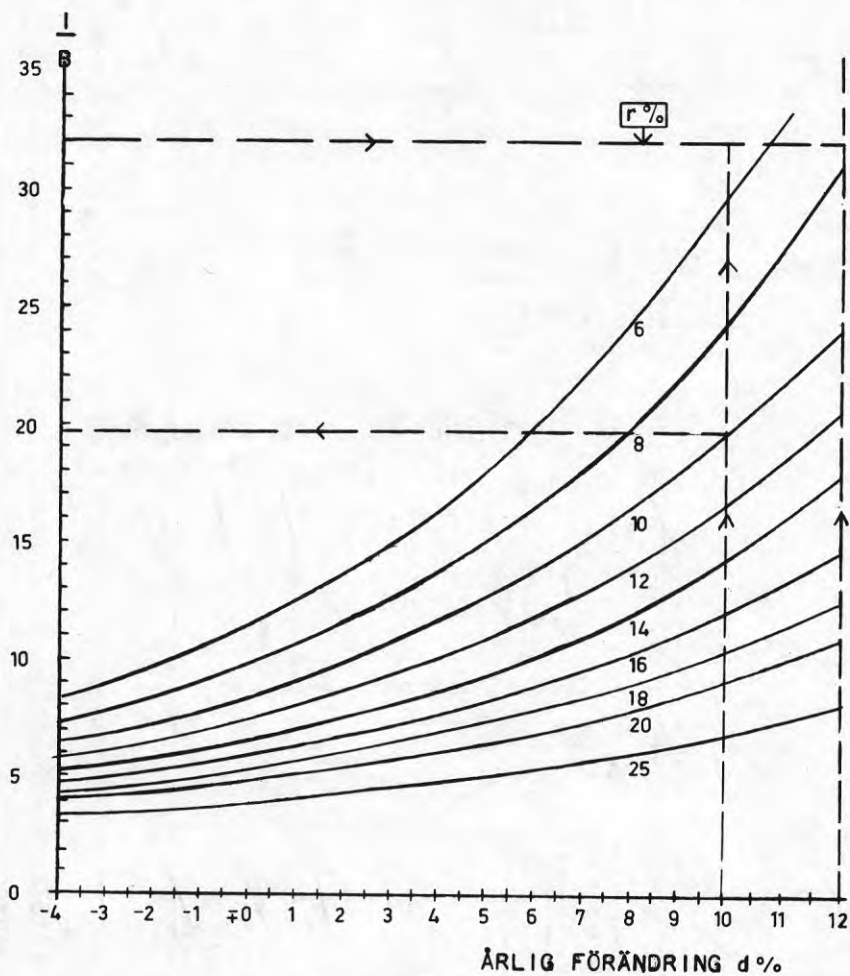


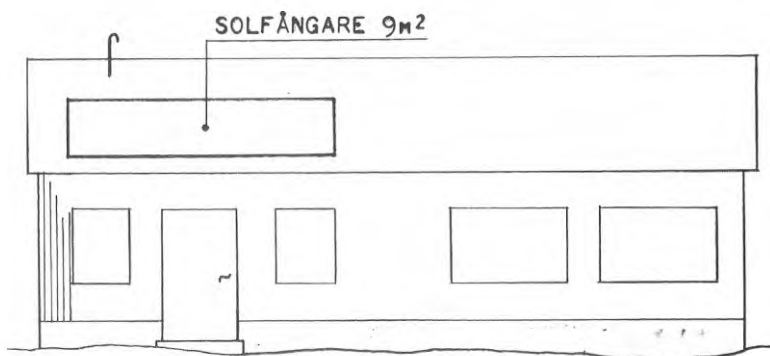
FIG. 28



INVESTERING  $I = 5500 \text{ KR/LÄGENHET}$  (INKL. PROJEKTERINGSKOSTNAD)  
 OLJEPRIS  $= 580 \text{ KR/m}^3$  ( $0,08 \text{ KR/kWh}$ ) MED ANTAGEN ÅRLIG FÖRÄNDRING  $d = 12\%$   
 BESPARING MEDELST SOLVÄRMESYSTEM  $B = 170 \text{ KR/ÅR}$   
 $\frac{I}{B} = 32$  OCH  $d = 12\%$  GER ENL. DIAGRAMMET INTERNRÄNTEFOTEN  $r \approx 8\%$

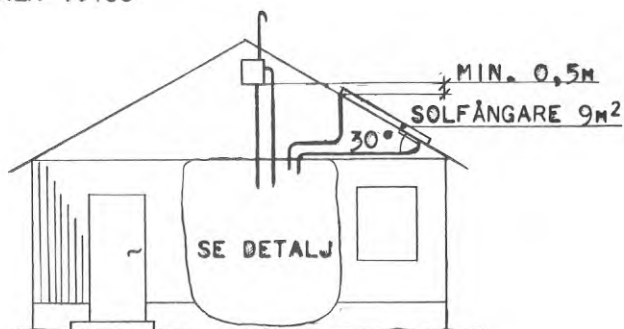
KALKYLEXEMPEL ENLIGT SYSTEM ACGP AVSEENDE HÖGTEMPERATURSYSTEM  
 FÖR FLERFAMILJSHUS (VID ÅRET-RUNT-DRIFT)

FIG. 29



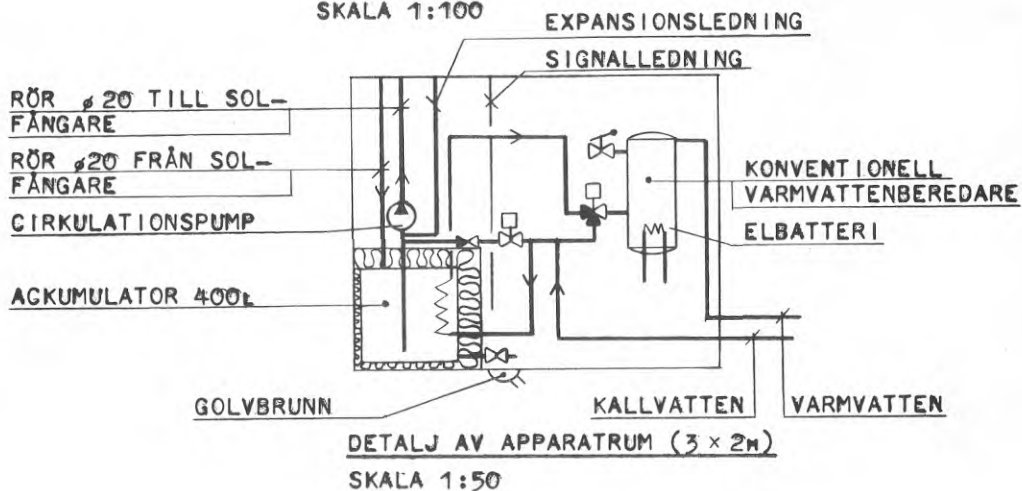
FASAD MOT SÖDER

SKALA 1:100



FASAD MOT VÄSTER

SKALA 1:100



EXEMPEL PÅ INSTALLATIONER I VILLA FÖR HÖGTEMPERATURSYSTEM (SOMMARDRIFT)



## SAMMANFATTNING

Syftet med denna utredning har varit att undersöka tekniska och ekonomiska förutsättningar för nyttjande av solenergi vid värmning av tappvatten i bostadshus. Arbetet har inriktats på analys av olika principlösningar som utarbetats utgående från kända och allmänt tillgängliga komponenter såsom solfångare, ackumuleringstankar, varmvattenberedare, värmepumpar m m. Härvid har bl a följande frågeställningar behandlats:

- lämplig systemutformning med hänsyn till funktion och kostnad
- lämpliga vattentemperaturer i solfångarkretsen
- dimensioneringsprinciper för i solvärmesystemen ingående komponenter

En lönsamhetsbedömning har utförts för en villa respektive ett flerfamiljshus avseende det från teknisk-ekonomisk synpunkt mest lämpade solvärmesystemet.

## Bakgrund

Vid den tekniska utformningen av ett solvärmesystem stöter man på en mängd problemställningar som är av principiell natur förutom sådana frågor som kan betecknas som detaljlösningar knutna till ett visst objekt. Problemen koncentrerar sig huvudsakligen kring den del av systemet som skall ta emot solfångarnas värme. Detta beror på att solfångardelens konstruktion är rätt så entydigt bestämd idag genom erfarenheter dels från utländska försöksobjekt, dels från pågående forskning inom landet. Utformningen av övriga systemdelar är dock oklar. Det är därför värdefullt att rent generellt få utrett vilka systemlösningar som är lämpligast från teknisk-ekonomisk synpunkt, samt vid vilka energipriser lönsamhet kan förväntas.

I utredningen analyseras en rad olika principlösningar för värmning av tappvarmvatten medelst plana solfångare. Solvärmesystemen kan indelas i hög- respektive lågtemperatursystem. Med högtemperatursystem menas att solfångarkretsen dimensioneras för vattentemperaturer upp till ca 90°C. Vattentemperaturen varierar härvid under året med solstrålningen och varmvattenförbrukningen. Vid lågtemperatursystem däremot ligger vattentemperaturen ungefär konstant vid ca 10°C beroende på dimensionerande data. Detta förutsätter nyttjande av värmepump för överföring av energin till en högre temperaturnivå som passar konventionella varmvattenberedare.

Uppbyggnaden hos de olika solvärmesystem som undersökts närmare framgår av kryssen i nedanstående tabell. I samtliga alternativ har förutsatts att solvärmeanläggningen dimensioneras för ett dygns värmeackumulering.

Alternativ	Högtemperatursystem	Lågtemperatursystem	Värmepump ingår i systemlösningen	Värmeåtervinning sker ur frånluft
1	X			
2		X	X	
3	X	X	X	
4	X			X
5		X	X	X
6	X	X	X	X

### Resultat

Utredningen visar att det med dagens teknik är fullt möjligt att medelst solvärme täcka ca hälften av det årliga energibehovet för tappvattenvärmning i bostäder. Den nyttiggjorda solenergin storlek är dock avhängig aktuell systemlösning, vilket framgår av nedanstående beräknade värden per lägenhet (lgh).

Systemalternativ	Nyttiggjord solenergi (avrundade värden)			
	Sommar drift		Året-runt-drift	
	kWh/år, lgh	% av års- behovet	kWh/år, lgh	% av års- behovet
Alt 1. Högtemp.syst.	1300	25	2300	45
Alt 2. Lågtemp.syst.	800	15	1400	30
Alt 2A. Lågtemp.syst. med solfångararea lika högtemp.syst.	950	20	2350	45
Alt 3A. Komb. hög-lågtemp.syst.	700	15	1300	25
Alt 3B. Komb. hög-lågtemp.syst. med solfångararea lika högtemp.syst.	1200	25	2600	50
Alt 4. Högtemp.syst. med värmeåtervinning	-	-	1650 (inkl värmeåtervinning)	35

Högtemperatursystemet enligt FIG 13 ställer sig gynnsammast från lönsamhetssynpunkt. Lämplig solfångararea är i detta fall ca 9 m<sup>2</sup>/lgh. Solfångarnas lutning bör väljas 30-40° mot horisontalplanet för att bästa effektivitet skall uppnås. För att undvika problem på grund av kokning i solfångarna vid extrema värmeperioder eller liten varmvattentappning bör solvärmesystemen förses med automatikutrustning för kylning av solfångarkretsen. Dessutom är det lämpligt att även komplettera solfångarna med någon form av effektregering t ex jalousier, som vid behov kan täcka dessa helt eller delvis, speciellt under längre perioder med liten varmvattentappning såsom semestertid.

Utförda beräkningar visar att lagring av energi i vattentankar erfordrar stora volymer. Ett dygns ackumulering kräver sålunda en effektiv tankvolym av ca 400 l/lgh vid högtemperatursystem och ca 1.700 l/lgh för ackumulator 2 vid lågtemperatursystem enl FIG 14. Vid värmelagring längre tid ökar ackumulatorvolymerna ungefär proportionellt mot antalet dygn. Detta begränsar långtidslagringen, som annars är tekniskt möjlig med hänsyn till den långsamma avsvälningen vid välisolerade tankar.

Solvärmesystemen kan inte ersätta de konventionella tappvatten- och värmeinstallationerna i en byggnad. Därför innebär komplettering med solvärmesystem för tappvarmvatten en utökning av byggnadens totala installationer. Detta medför bl a ökade arbetsinsatser och kostnader för drift, skötsel och underhåll på installationssidan. Sålunda bör rengöring av solfångarna ske varje år enligt erfarenheter från USA för att inte värmeupptagningen skall försämrast. Beroende på systemlösning och omfattning av automatikutrustning krävs även viss tillsyn av anläggningen med hänsyn till bl a koknings- och frysriskerna. Vidare måste vid året-runt-drift halten av frysskyddsmedel (glykol) i systemet kontrolleras varje år och vid behov påfyllning ske. Därtill kommer skötsel av ev. handmanövrerade jalousier för reglering av solfångarytan. Solvärmesystemen kräver även ökat utrymmebehov i fastigheten för ackumulatortankar, pumputrustningar, expansionskärl m m. En fördel med solvärmesystem för tappvarmvatten är att dessa kan installeras helt oberoende av övriga värmeinstallationer i en byggnad. De ingrepp som erfordras i befintliga installationer inskränker sig nämligen i stort sett till anslutning av tappvattenledningen till den i solvärmesystemet ingående ackumulatortanken. Solvärmesystem kan således från teknisk synpunkt med fördel installeras även i befintliga byggnader som saknar konventionellt vattenradiatorsystem, såsom exempelvis småhus med direktverkande elradiatorer.

Utredningen visar att solvärmeanläggningar för flerfamiljshus är gynnsammare från lönsamhetssynpunkt än för enstaka småhus. I det förra fallet ger sålunda högttemperatursystemet enligt kostnadsberäkningar en gräns för lönsamhet vid ett genomsnittligt energipris under brukstiden av 0,25 - 0,30 kr/kWh beroende på utförande. Antas en årlig energiprisökning av 10 % och internräntefot 10 %, dvs 10 % förväntad avkastning på investerat kapital, fås vid högttemperatursystem för flerfamiljshus lönsamhet vid ett energipris idag av ca 0,12 kr/kWh. Detta skall ställas i relation till dagens energipriser, som vid egen värmecentral resp. fjärrvärme uppgår till totalt ca 0,08 kr/kWh (Stockholm). För hushållsel

betalas ca 0,12 - 0,15 kr/kWh och i vissa fall mer. Vid befintliga anläggningar måste man räkna med något högre lönsamhetsgränser än ovanstående, vilket avser nybyggnad. Av intresse i sammanhanget kan noteras att lönsamheten bli påverkas av varmvattenförbrukningens storlek. Sålunda ger energibesparande åtgärder såsom installation av varmvattenmätare sämre lönsamhet för solvärmesystem.

Utförda kostnadsberäkningar pekar på att det idag är motiverat att i första hand satsa på konventionella system och åtgärder för energibesparing såsom installation av varmvattenmätare, återluftföring, värmeåtervinning ur frånluft, tilläggsisolering m m. Detta framgår av nedanstående sammanställning som visar investeringskostnaden räknat per inbesparad kWh och år, dvs nyttiggjord solenergi per år för de från teknisk-ekonomisk synpunkt intressantaste systemlösningarna. Uppgifterna baseras på en solfångarkostnad av 300 kr/m<sup>2</sup>, vilket idag anses vara ett troligt pris vid serietillverkning. I kostnadsberäkningarna har även medtagits jalousier för reglering av solfångarytan.

Systemalternativ	Investeringskostnad per årlig besparad kWh kr/kWh			
	Småhus		Flerfamiljshus per lägenhet	
	Sommar- drift	Året-runt- drift	Sommar- drift	Året-runt- drift
Alt 1. Högtemp.syst.	8,50	5,40	3,50	2,20
Alt 2. Lågtemp.syst.	34	20	5,10	3,00
Alt 2A. Lågtemp.syst. med solfångararea lika högtemp.syst.	31	13	7,20	2,90
Alt 4. Högtemp.syst. med värmeåtervinning	-	-	-	3,00

Investeringskostnaderna i tabellen ovan skall ställas i relation till de merkostnader som konventionella typer av energibesparande system och åtgärder medför. Erfarenhetsmässigt vet man således att kostnaderna för sådana normalt

varierar mellan 0,20 - 2,50 kr per besparad kWh.

Sammanfattningsvis kan konstateras att för att bli attraktivare från lönsamhetssynpunkt måste solvärmesystemen förbättras genom målmedveten utveckling av system och komponenter. Detta gäller speciellt solfångare, värmepumpar samt metoder för energilagring. Härigenom kan priserna pressas på de olika komponenterna samtidigt som energiutbytet ökas.











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750007-2 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings Företagsgrupp AB**

**R75: 1977**

**ISBN 91-540-2764-0**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600675  
Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm**

**Cirkapris: 28 kr + moms**