



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.

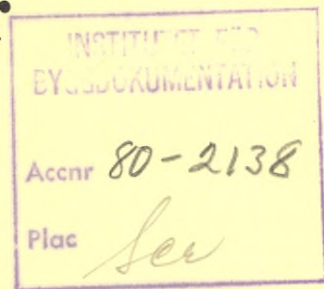
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may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



Solvärmesystem för tappvarmvatten vid nyproduktion av sjukvårdsbyggnader

Förstudie

Lennart Berndtsson
Ingemar Nordenadler
Bertil Udd



Bygghoforskningsrådet

Ser

R140:1980

SOLVÄRMESYSTEM FÖR TAPPVARMVATTEN VID
NYPRODUKTION AV SJUKVÅRDSBYGGNADER

Förstudie

Lennart Berndtsson
Ingemar Nordenadler
Bertil Udd

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780236-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings
Installationsutveckling AB, Danderyd.

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

R140:1980

ISBN 91-540-3374-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 057307

INNEHÅLL

1	FÖRORD	5
2	SAMMANFATTNING	7
3	ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR	11
3.1	Allmänna data för experimenthuset	11
3.2	Tappvarmvattenförbrukning	12
4	MÖJLIGA SOLVÄRMETILLÄMPNINGAR	17
4.1	Allmänt	17
4.2	Passiva solvärmesystem	19
4.3	Aktiva solvärmesystem	23
4.31	Solfångare	23
4.32	System	26
4.4	Utvärdering av lämplig principlösning för experimenthuset	34
5	SYSTEM- OCH KOMPONENTVAL	35
5.1	Systemutformning	35
5.2	Dimensioneringsprinciper	35
5.3	Förslag till utförande	41
6	LÖNSAMHETSBEDÖMNING	45
6.1	Energibesparing	45
6.2	Kostnader	49
6.3	Utvärdering	50
7	RESULTAT	51
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	53
	LITTERATUR	55
BILAGA 1	Beskrivning av beräkningsmetod för sol- värmesystem	57

1 FÖRORD

Sjukvårdsbyggnader har ofta större behov av värmeenergi per m³ byggnadsvolym än bostäder, kontor m m. Orsaken är främst att värmebehovet för ventilation och beredning av tappvarmvatten är större p g a verksamheten.

Under 1970-talet har stora framsteg gjorts för att minska ventilationsvärmebehovet dels genom att godta lägre luftomsättning i vissa lokaler dels genom installation av värmeåtervinningsanläggningar. Tekniken för återvinning av värme ur den bortförda frånluften för värmning av den tillförda uteluften är väl utvecklad. På marknaden finns sålunda återvinningsutrustning med olika principer för värmeöverföringen av ett flertal fabrikat.

Möjligheterna att minska byggnadernas ventilationsvärmebehov är således goda med nuvarande teknik. Svårigheterna att reducera värmebehovet för tappvarmvatten är däremot större. Återvinning av värme ur spillvattnet för värmning av tappvattnet före varmvattenberedaren är härvid en lösning. Forskning pågår att utveckla lämplig utrustning för detta ändamål. Problemen är dock stora p g a att spillvatten från olika sanitetsapparater blandas varvid temperaturen blir låg och vattnet starkt förorenat. Detta komplicerar och fördyrar återvinningsutrustningen.

En annan möjlighet att minska kostnaderna för varmvattenberedning är att utnyttja solenergi som komplement till det konventionella uppvärmningssystemet. Denna form av "gratisenergi" erfordrar dock kostnadskrävande kompletterande installationer. Utredningar och erfarenheter från utförda anläggningar främst i bostadshus har visat att kostnaden för den konventionella värmeenergin måste öka väsentligt för att solenergisystemen skall vara lönsamma.

Solvärmesystem för tappvarmvatten har emellertid den stora fördelen i jämförelse med system för byggnadsuppvärmning att kostnadskrävande energilagring från sommar till vinter ej erfordras. Energitillbehovet för varmvatten är nämligen ungefär lika stort hela året. Detta medför att beredning av tappvarmvatten är den från lönsamhetssynpunkt fördelaktigaste solvärmertilämpningen.

Med hänsyn till sjukvårdsbyggnadernas stora varmvattenbehov är det av särskilt intresse att undersöka förutsättningarna för solvärmesystem för denna byggnadskategori.

Resurserna för nybyggnation inom sjukvårdssektorn kommer under 1980-talet till stor del att gå till uppförandet av sjukhem och vårdcentraler. För år 1980 är landstingens totala satsning på uppförande av sjukhem och vårdcentraler ca 1.200 Mkr respektive ca 1.000 Mkr vilket motsvarar ca 240.000 m² respektive ca 200.000 m² totalyta.

Socialstyrelsens målsättning beträffande sjukhem är ca 2.000 nya platser per år.

Sjukhem och vårdcentraler inryms normalt i friliggande låga byggnader. Antalet vårdplatser i sjukhemmen varierar från ca 20 st till ca 80 st. Den disponibla takytan för solfångare blir

relativt stor för denna byggnadstyp vilket är en ytterligare fördel i sammanhanget.

Syftet med detta projekt är att undersöka förutsättningarna att nyttja solvärme som komplement till det konventionella uppvärmningssystemet i sjukhem och vårdcentraler. I kapitel 4 behandlas översiktligt de möjligheter till solvärmertilämpningar som idag kan utnyttjas för byggnadsuppvärmning eller tappvarmvattenberedning. I ett tidigt skede ändrades projektets huvudinriktning bl a till följd av resultatet av utvärderingen av de olika tillämpningarna, så att endast solvärmning av tappvarmvatten detaljstuderades. Syftet blev därvid att undersöka de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för installation av solvärmesystem för tappvarmvatten vid nyproduktion av sjukhem och vårdcentraler.

Denna rapport utgör resultatet av en förstudie för ett planerat experimentbygge. Experimenthuset utgörs av en planerad byggnad med sjukhem och vårdcentral som skall uppföras i Mariefred av Södermanlands läns landsting. Beräknad byggstart är hösten 1981.

Arbetet har bedrivits vid Wahlings Installationsutveckling AB med civilingenjör Ingemar Nordenadler som projektledare och civilingenjörerna Lennart Berndtsson och Bertil Udd som utredningsmän.

En fortsättning av projektet planeras i form av installation och utvärdering av en solvärmeanläggning i experimenthuset.

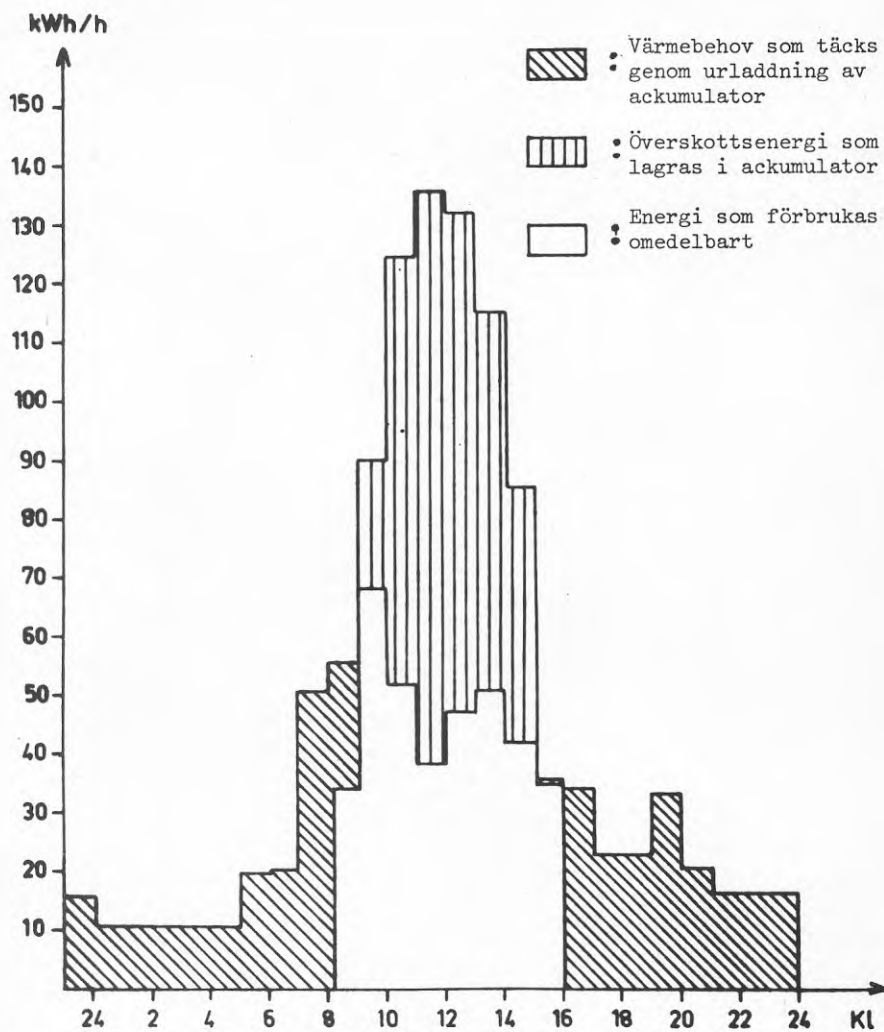
Möjligheterna att spara energi i nyproducerade sjukhem och vårdcentraler genom att nyttja solenergi som komplement till de konventionella uppvärmningskällorna har utretts. Härvid har framkommit att en målsättning bör vara att tekniska utrymmen, ekonomidel m m förläggs till nordfasad i utrymmen med små fönsterytor. Söderfasaden bör däremot få stora fönsterytor som tillåter god solvärmemottagning. Bjälklaget bör utgöras av tunga betongbjälklag med god värmekapacitet. Solavskärmning bör anordnas för att undvika för stark solinstrålning sommartid. Detta kan ske genom fasta persienner utanför fönstrens övre del. Installation av värmeupptagande plattor som utnyttjar fasomvandlingsvärme för värmelagring från dag till natt är också intressant för energihushållningen.

Andra mer komplicerade passiva solvärmesystem av experimentkaraktär har ej bedömts intressanta för detta projekt. Däremot föreslås installation av ett aktivt solvärmesystem för tappvatten med vatten som värmebärare.

Det föreslagna solvärmesystemet bör ha ca 470 m^2 sydorienterade solfångare och en vattenackumulator på ca $20,0 \text{ m}^3$. En sådan anläggning ger hela värmebehovet för den centrala varmvattenberedningen under medelmolniga dagar i juni månad.

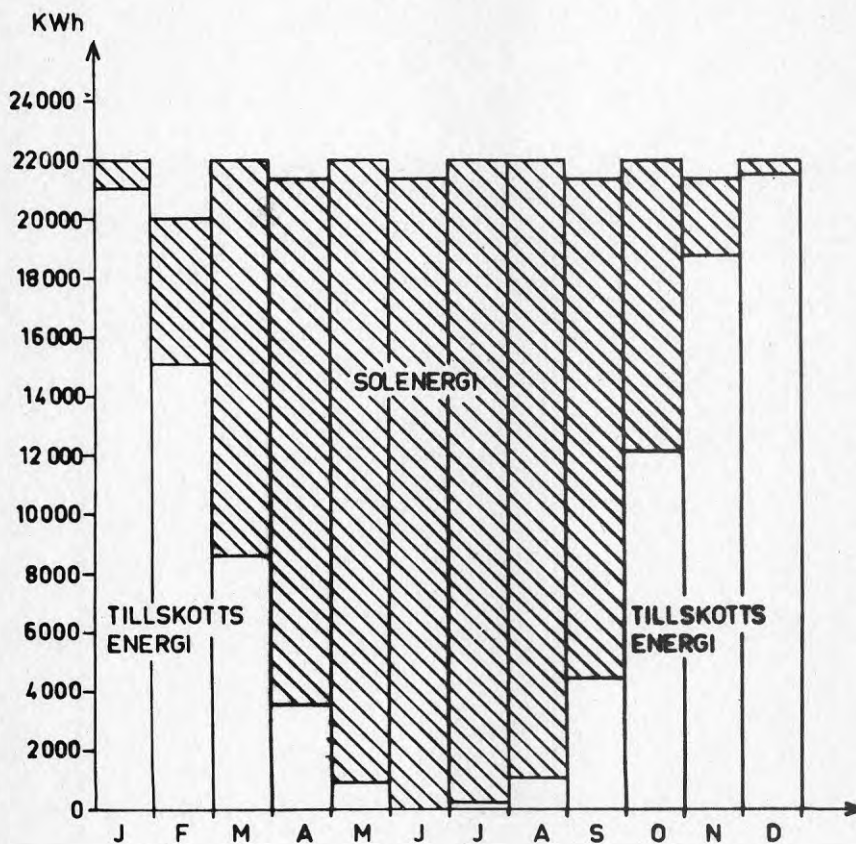
I experimentbyggnaden med 60 vårdplatser är värmebehovet för tappvarmvatten ca 290 MWh/år . Av detta är ca 30 MWh/år elenergi som tillförs varmvattnet för värmning från $+50^\circ\text{C}$ till $+90^\circ\text{C}$ vid bäckenspolarna. Täckningsgraden under året blir ca 58 % för solvärmeanläggningen räknat på värmebehovet för den centrala varmvattenberedningen. Om även elenergin inkluderas blir täckningsgraden ca 52 %. Energibesparingen uppgår till ca 150 MWh/år .

Figur 6.1 visar solvärmemottagning och värmebehov under dimensioneringsfallet en medelmolnig dag i juni. Figur 6.2 visar solenergins andel av värmeförsörjningen för tappvarmvatten under hela året.



Figur 6.1 Solvärmemottagning och värmebehov under medelmornig dag i juni.

Solfångarorientering: Sydlig
 Solfångaryta: 470 m²
 Ackumulatorvolym: 19,5 m³



Figur 6.2 Fördelning mellan solenergi och tillskottsenergi under året.

Solfångarorientering: Sydlig
 Solfångararea: 470 m²
 Ackumulatorvolym: 19,5 m³

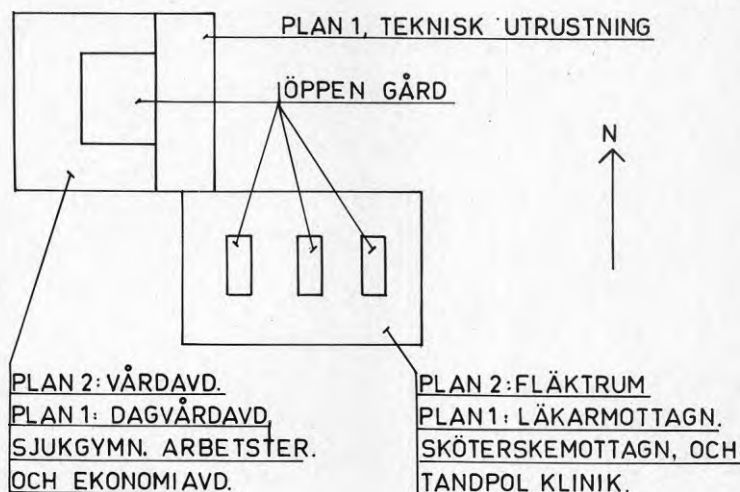
Investeringskostnaden för solvärmeanläggningen har uppskattats till ca 1,13 Mkr. Pay-off-tiden blir ca 15 år vid energipriset 0,50 kr/kWh. Annuiteten 12 % motsvarar energipriset 0,90 kr/kWh. Om hänsyn tas till en energikostnadsökning av 2 % per år i fast penningvärde och realräntan är 4 % är investeringen lönsam enligt besparingskostnadsmetoden vid ett energipris vid investeringstillfället av 0,45 kr/kWh. Härvid förutsätts 20 års avskrivningstid.

Med hänsyn till den stora besparingspotential solvärmeanläggningar för tappvarmvatten utgör vid installation i sjukhem och vårdcentraler föreslås att en experimentanläggning byggs för en praktisk utvärdering av systemet. Detta är värdefullt för framtida installationer inom den aktuella byggnadskategorin som är föremål för en omfattande nyproduktion under 1980-talet.

3 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

3.1 Allmänna data för experimenthuset

Byggnadens preliminära utformning framgår av figur 3.1. Sjukhemsdelen innehåller 60 vårdplatser och storkök medan antalet dagvårdplatser i vårdcentralen är 10-15 st. Antalet allmänläkartjänster är 3 st. En distriktstandläkartjänst samt 1,5 distriktskötersketjänster ingår även i vårdcentralen.



SKALA 1:2000

Figur 3.1 Byggnadens utformning.

Byggnadens programyta är ca 4100 m² och totalytan ca 8000 m².
Byggnadsvolymen är ca 32.000 m³.

Byggnadens totala värmeeffektbehov uppskattas till 990 kW fördelat på transmissionsvärme ca 225 kW, ventilationsvärme ca 240 kW respektive tappvarmvattenvärme ca 525 kW (momentant).

Värme produceras i en oljeeldad panncentral från vilken värmen distribueras till radiatorer och luftvärmare via vattenburna värmesystem.

Luftbehandlingsanläggningen avses utrustas med värmeåtervinningsaggregat av typ entalpiväxlare. Eventuellt kommer även värmepumpar att installeras.

3.2 Tappvarmvattenförbrukning

Statistik över varmvattenförbrukningen i olika stora sjukhem och vårdcentraler fördelad på dygnet saknas idag. En utredning pågår dock inom SPRI (Sjukvårdens och socialvårdens Planerings- och Rationaliseringsinstitut) för att undersöka dessa frågor.

Under 1979 genomfördes ett byggforskningsprojekt för att undersöka hur mycket värme som teoretiskt kan återvinnas ur sjukhusens spillvatten. /8/ Totala tappvattenförbrukningen och spillvattnets temperatur mättes under tvåveckorsperioder vid fyra sjukhus. Dessa data ger en god uppfattning om hur spillvattenvarmeförlusterna för tappvarmvatten varierar under dygnet. Annexsjukhusen i Lidingsö och Täby tillhöriga Stockholms Läns Landsting har båda 192 vårdplatser och 32 platser för dagvård. Resultatet av mätningarna från dessa båda sjukhus överensstämmer väl med varandra. Mätdata från Täby sjukhus 1979-04-20 bedöms vara representativa för dessa sjukhus och nyttjas som underlag för den fortsatta utredningen. Se tabell 3.1.

Tabell 3.1. Mätvärden för total tappvattenförbrukning och spillvattentemperatur vid Täby sjukhus, 1979-04-20.

Period kl	Medelförbrukning av tappvatten m ³	Spillvattnets medeltemperatur °C
0-5	6,0	18,9
5-6	2,5	23,6
6-7	2,3	25,2
7-8	8,8	26,6
8-9	9,7	27,7
9-10	12,7	29,1
10-11	8,9	27,3
11-12	5,1	26,6
12-13	8,0	25,8
13-14	8,3	27,8
14-15	6,4	25,5
15-16	5,2	25,1
16-17	5,5	23,6
17-18	4,0	23,1
18-19	4,0	21,0
19-20	5,6	22,6
20-21	3,2	21,8
21-24	8,5	18,7

Tappkallvattnets temperatur är ca +10°C. Om man bortser från att en mindre del av tappvattnet ej återförs till spillvattennätet bör de uppmätta temperaturerna och flödena kunna nyttjas för att bestämma tappvarmvattensystemets spillvattenvarmeförluster. Effekten beräknas för varje mätperiod enligt formeln:

$$E = V \times \rho \times c_p \times (t-10)$$

där E är värmeeffekt till spillvattennätet

V är spillvattenflöde tappvattenflöde, m³/s

ρ är densiteten, kg/m³

c_p är isobar värmekapacitet, Ws/kg°C

t är spillvattnets temperatur, °C

Resultatet av beräkningen framgår av tabell 3.2.

Den tillförda värmeeffekten till tappvattnet fördelar sig på spillvattenvärmeförluster enligt ovan, förluster från 55^o-nätet förluster från 90^o-nätet samt förluster från apparater och fria vattenytor. De sistnämnda förlusterna antas kunna försummas.

Vid mätningar på cirkulationssystemen på Täby sjukhus konstaterades att värmeförlusterna från 55^o-nätet uppgick till ca 600 kWh/dygn medan motsvarande förluster från 90^o-nätet var ca 1000 kWh/dygn. Dessa förluster är konstanta under dygnet. Tabell 3.2 redovisar hur värmeeffekten till tappvarmvattensystemet fördelar sig på de olika förlustslagen.

Tabell 3.2. Fördelning av tappvarmvattensystemets värmeeffekt vid Täby sjukhus.

Period	Spillvatten- värmeförluster	Förluster i 55 ^o -igt nät	Förluster i 90 ^o -igt nät	Totalt vär- meeffekt- behov
kl	Medeleffekt kW	Medeleffekt kW	Medeleffekt kW	Medeleffekt kW
0-5	12,3	25,0	41,7	79
5-6	39,4	25,0	41,7	106,1
6-7	40,5	25,0	41,7	107,2
7-8	169,4	25,0	41,7	236,1
8-9	199,0	25,0	41,7	265,7
9-10	281,2	25,0	41,7	347,9
10-11	178,5	25,0	41,7	245,2
11-12	98,2	25,0	41,7	164,9
12-13	146,5	25,0	41,7	213,2
13-14	171,3	25,0	41,7	238,0
14-15	115,0	25,0	41,7	181,7
15-16	91,0	25,0	41,7	157,7
16-17	86,7	25,0	41,7	153,4
17-18	60,7	25,0	41,7	127,4
18-19	51,0	25,0	41,7	117,7
19-20	81,8	25,0	41,7	148,5
20-21	43,8	25,0	41,7	110,5
21-24	28,6	25,0	41,7	95,3
0-24	83,4	25,0	41,7	150,1

Verksamheten vid en vårdbyggnad av experimenthusets typ, d v s långvårdssjukhus med vårdcentral överensstämmer väl med verksamheten i annexsjukhusen. Anläggningarnas storlek är däremot olika. För att fastställa det sannolika värmebehovet för tappvarmvatten i experimenthuset proportioneras motsvarande värden från mätningarna vid Täby sjukhus med hänsyn till antalet patienter, d v s med faktorn 60/192. Hänsyn tas dels till att experimenthuset ej avses utrustas med centralt nät för 90^o-igt tappvatten, dels till att en tappvarmvattentemperatur av +50^oC har bedömts vara tillräcklig.

Tabell 3.3 visar resultatet av beräkningarna för experimenthusets varmvattenvärmebehov.

Tabell 3.3. Fördelning av tappvarmvattensystemets värmeeffekt vid experimenthuset.

Period	Spillvattenvärme- förluster Medeleffekt	Förluster i 50 ^o -igt nät Medeleffekt	Totalt värme- effektbehov Medeleffekt
kl	kW	kW	kW
0-5	3,8	6,7	10,5
5-6	12,3	6,7	19,0
6-7	12,7	6,7	19,4
7-8	52,9	6,7	59,6
8-9	62,2	6,7	68,9
9-10	87,9	6,7	94,6
10-11	55,8	6,7	62,5
11-12	30,7	6,7	37,4
12-13	45,8	6,7	52,5
13-14	53,5	6,7	60,3
14-15	35,9	6,7	42,6
15-16	28,4	6,7	35,1
16-17	27,1	6,7	33,8
17-18	19,0	6,7	22,7
18-19	15,9	6,7	22,6
19-20	25,6	6,7	32,3
20-21	13,7	6,7	20,4
21-24	8,9	6,7	15,6
0-24	26,1	6,7	32,7

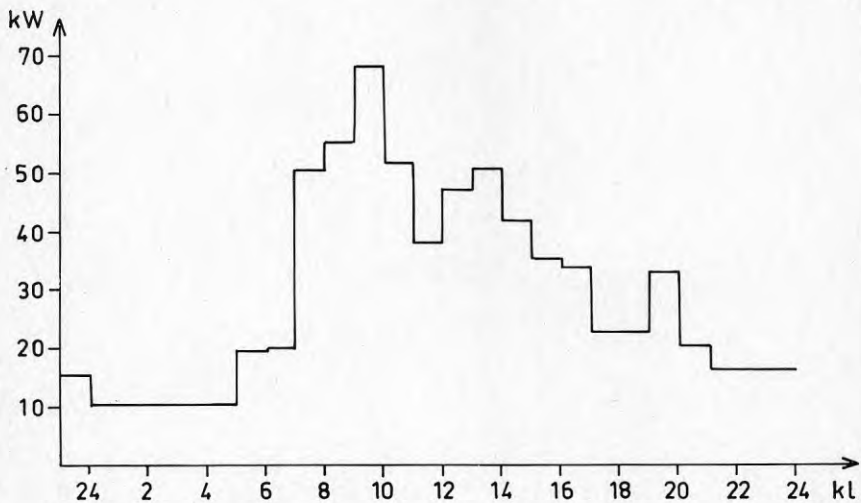
Årsvärmebehovet för tappvarmvatten i experimenthuset blir
 $32,7 \times 24 \times 365 = 286452$ kWh d v s ca 290 MWh.

I experimenthuset eftervärms 50^o-igt tappvatten i bäckenspolare till +90^oC med elenergi. Denna värmeförbrukning påverkas ej av ett solvärmesystem inkopplat till den centrala tappvarmvattenberedaren. För beräkning av solvärmesystem måste effekten subtraheras från värdena i tabell 3.2. Med hänsyn till erfarenhetsvärden för utnyttjning av bäckenspolare görs en uppdelning av värmebehovet i tabell 3.4.

Tabell 3.4 Fördelning av tappvarmvattenssystemets värmeeffekt på central värmeförsel och elenergi i bäckenspolare.

Period	Centralt tillförd Medeleffekt kW	El tillförd i bäckenspolare Medeleffekt kW	Totalt värmeeffekt- behov Medeleffekt kW
0- 5	10,5	0	10,5
5- 6	19,0	0	19,0
6- 7	19,4	0	19,4
7- 8	49,8	9,8	59,6
8- 9	54,5	14,4	68,9
9-10	67,3	27,3	94,6
10-11	51,3	11,2	62,5
11-12	37,4	0	37,4
12-13	46,3	6,2	52,5
13-14	50,2	10,1	60,3
14-15	41,3	1,3	42,6
15-16	35,1	0	35,1
16-17	33,8	0	33,8
17-18	22,7	0	22,7
18-19	22,6	0	22,6
19-20	32,3	0	32,3
20-21	20,4	0	20,4
21-24	15,6	0	15,6
0-24	29,3	3,3	32,7

I figur 3.2 redovisas effektbehovet för den centrala varmvattenberedningen i diagramform.



Figur 3.2 Effektbehov för central varmvattenberedning för experimenthuset under dygnet.

4 MÖJLIGA SOLVÄRMETILLÄMPNINGAR

4.1 Allmänt

Solvärmeinstrålning tillgodogörs i alla byggnader utan att några särskilda åtgärder vidtas. Detta sker genom värmeinläckning genom fönster, ytterväggar och yttertak. Ibland är solvärmeinläckningen icke önskvärd eftersom rummen får värmeöverskott som i vissa fall måste kylas bort vilket medför energiförbrukning.

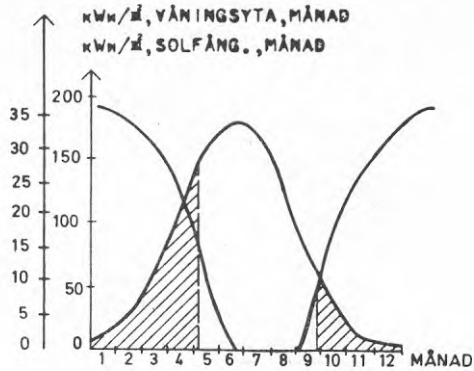
Om byggnaden utformas med hänsyn till solvärmeinstrålningen kan det nyttiga värmestillskottet öka. Lokaler med värmeöverskott placeras då så att tillskottet blir litet medan andra lokaler ges gynnsam placering från solvärmesynpunkt. Vidare fördelas fönstertyorna så att den direkta instrålningen fördelas enligt samma principer.

Om en byggnad uppförs enligt dessa principer har den ett passivt solvärmesystem. Inga speciella maskiner eller apparater krävs i detta fall för att tillvarata, omvandla eller på annat sätt utnyttja solenergin. Värmedistributionen sker genom strålning, ledning och naturlig konvektion.

Alternativet till passiva solvärmesystem är de s k aktiva solvärmesystemen. Man har då tillfört regler- och styrutrustning till systemet, vilket ger betydligt större möjligheter till optimering med hänsyn till klimatförhållandena.

I de aktiva solvärmesystemen ingår vanligen någon typ av solfångare som tillvaratar solenergin och omvandlar den till värme som transporteras med ett värmemedium till förbrukningsstället. Valet av solfångare, värmemedium och övriga komponenter i systemet är beroende av hur solvärmén skall användas.

Ett stort problem vid utnyttjande av solvärme är att solinstrålningen är minst då uppvärmningsbehovet är störst. Figur 4.1 illustrerar detta förhållande.



Figur 4.1 Energibehovet för uppvärmning jämfört med total solinstrålning mot horisontell yta i Stockholm. (Skrafferad del antas medverka till energibalansen.) /5/

Eftersom instrålning och behov ej är i fas krävs någon form av värmelagring om ett solvärmesystem skall nyttjas för uppvärmning. Detta gäller både lagring från dag till natt och från sommar till vinter.

Värme kan lagras i tre former:

- kapacitivt värme
 - latent värme (fasomvandling)
 - kemiskt reaktionsvärme (termokemisk reaktion)
- } termokemisk lagring

Kapacitiv lagring innebär att värme lagras genom en temperaturhöjning i det ämne som lagret består av. Den lagrade värmeenergin kan sedan tas ut vid en temperatursänkning. Den specifika lagringskapaciteten bestäms av temperaturskillnaden mellan laddnings- och uttagstemperaturen samt av ämnets värmekapacitet. En viss kapacitiv lagring kan utnyttjas även vid de följande metoderna, eftersom ett ämnes temperatur kan höjas eller sänkas efter t ex en fasomvandling.

Uppdelningen i olika metoder för termokemisk energilagring görs med utgångspunkt från hur lagringsämnena ifråga reagerar. Fasomvandling innebär sålunda att ämnets tillstånd ändras medan den totala kemiska sammansättningen ej förändras. Kemiska bindningar kan dock brytas, t ex vid salhydrater bindningarna till kristallvattenmolekylen. Vid en termokemisk reaktion däremot ändras systemets kemiska sammansättning varvid de även kan ändra fas.

Vid latent lagring utnyttjas fasomvandlingsvärmets för ett ämne. Den specifika lagringskapaciteten bestäms härvid av fasomvandlingsvärmets storlek. Ett exempel på fasomvandling är när vatten stelnar till is.

Kemisk reaktionsenergi kan användas för värmelagring i en reversibel kemisk reaktion. Den specifika lagringskapaciteten bestäms av reaktionsvärmets storlek.

Ett värmelager bör ha följande egenskaper:

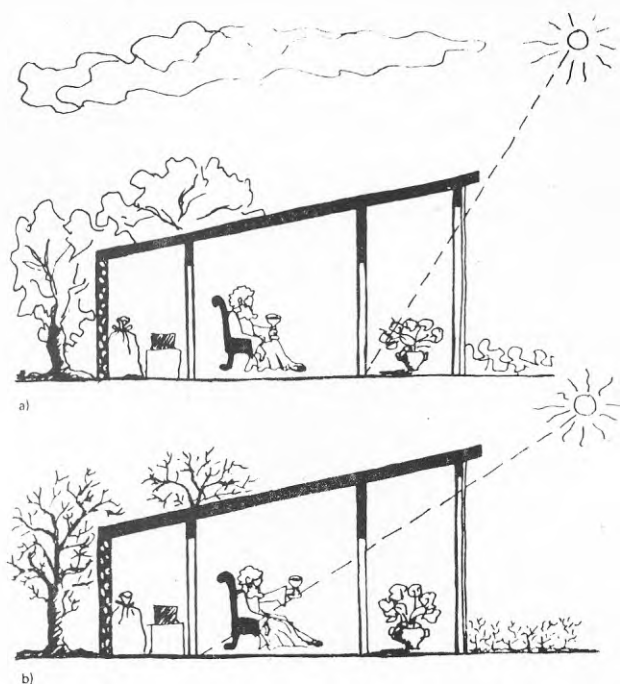
- liten volym så att byggkostnaderna kan hållas låga
- lång livslängd, lagret får ej åldras för snabbt
- ej skapa hälsorisker
- vara lättskött, åtkomligt för reparationer och service.

I dagsläget nyttjas främst vattentankar som värmelager. I enstaka fall nyttjas stenlager. Det är således endast volymkrävande kapacitiva värmelager som är tillgängliga med dagens teknik. Övriga lagringsformer befinner sig i ett utvecklingskede.

4.2 Passiva solvärmesystem

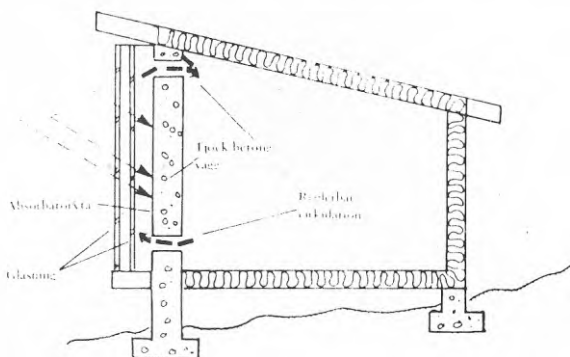
Ett klassiskt exempel på hur en byggnad kan utformas så att ett effektivt passivt solvärmesystem erhålls utgörs av Sokrates' solhus som har följande fördelar:

- kraftig solinstrålning under vår och höst då man fortfarande har värmebehov. Se figur 4.2 a
- måttlig solinstrålning till rummen sommartid. Se figur 4.2 b
- liten solinstrålning till rum där låg temperatur önskas (livsmedelsförvaring).



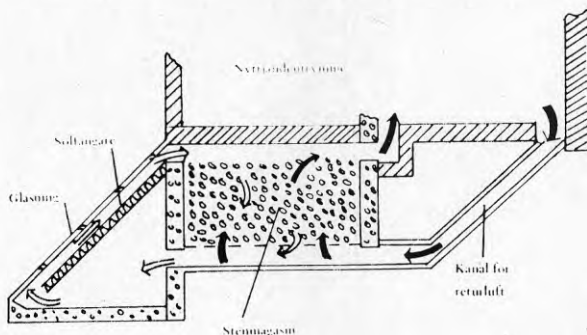
Figur 4.2 Sokrates' solhus /9/

En modernare variant på passiva solvärmesystem utgörs av Trombe-Michels solvägg som kommit till utförande i en byggnad i Pyrenéerna. Denna består av en glasad vägg som täcker hela södra fasaden. Väggen består av svartmålad betong med stor termisk massa. Som värmedistribuerande medium nyttjas luft som cirkulerar genom rummen med hjälp av termosifonverkan. Se figur 4.3.



Figur 4.3 Trombe-Michels solvägg /6/

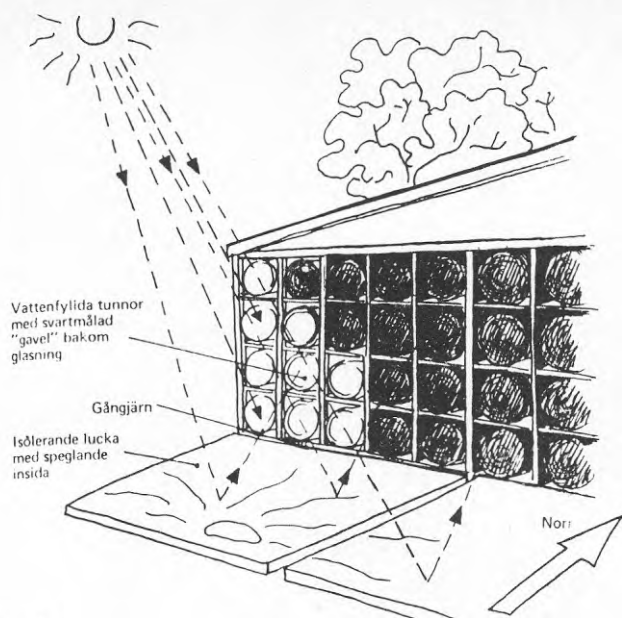
Solskorstenen är en annan form av passivt solvärmsystem med luft som värmebärare. Luften cirkulerar genom naturlig konvektion. Ett stenlager ingår i systemet. Systemet som är installerat i upphovsmannen Davis' hus i USA är ett exempel på ett passivt system som arbetar efter principen sol → solfångare → värmelager → nyttjanderymme. Luftflödet kan regleras genom öppning och slutning av ventiler. Vidare kan luften antingen gå direkt från solfångaren till nyttjanderummet eller via stenmagasinet. Se figur 4.4.



Figur 4.4 Solskorstenen i Davis' hus /9/

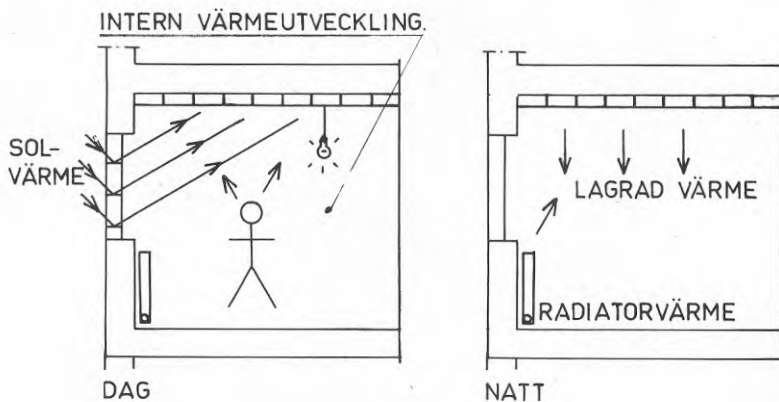
Solväggen i Steve Baers hus i USA är ett exempel på hur man med enkla medel kan utnyttja solvärme. Solenergin lagras här i 200 liters tunnor fyllda med vatten, staplade på varandra så att de bildar en vägg.

På natten fälls de isolerade luckorna upp och ökar på så sätt isoleringen. På dagen hjälper de nedfällda luckorna, som har speglande insida, att öka instrålningen mot tunnorna. Se figur 4.5.



Figur 4.5 Baers solvägg /9/

Bland gruppen passiva solvärmesystem ingår även kompletteringar av byggnaden med material vars fasomvandlingsvärme kan nyttjas. Exempel utgörs av de takplattor, som avses monteras under inner-taken, innehållande glaubersalt med tillsatser. Detta ämne övergår från fast till flytande fas vid temperaturer mellan $+15$ och $+35^{\circ}\text{C}$ beroende på vald sammansättning. Överskottsvärme i form av solenergi kan lagras till natten då värmebehov föreligger varvid ämnet stelnar och plattorna avger smältvärme till rummet. Den solvärmeupptagande effekten förstärks om fönstren förses med reflekterande persienner enligt figur 4.6.



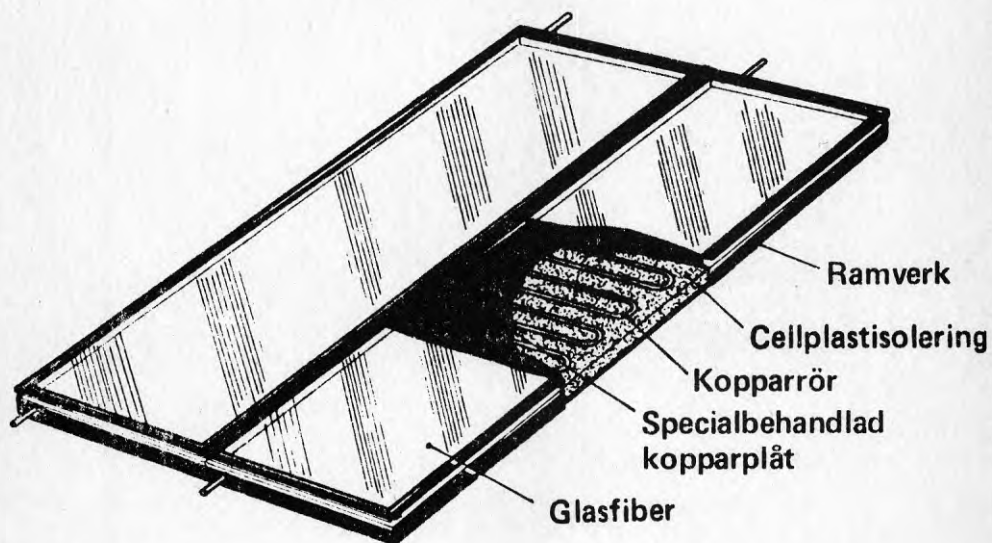
Figur 4.6 System med värmeupptagande takplattor.

4.3 Aktiva solvärmesystem

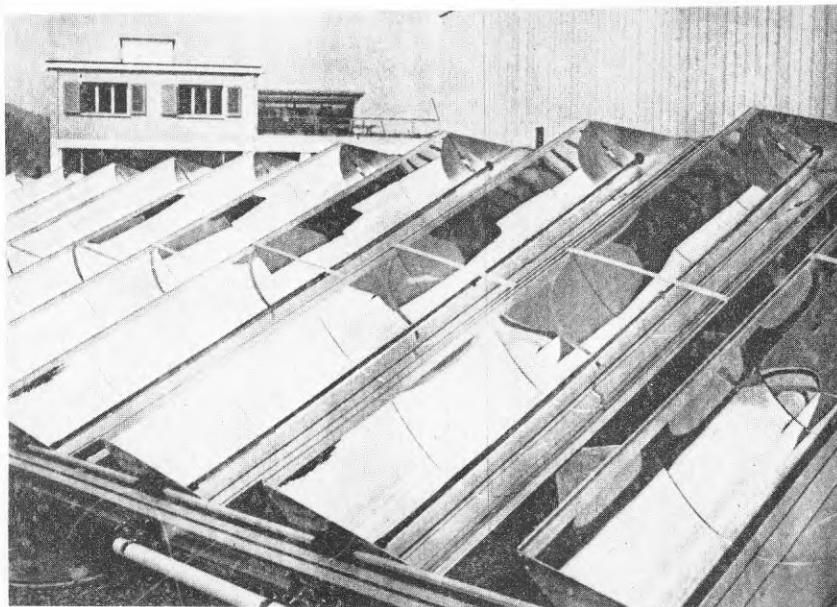
4.3.1 Solfångare

I de aktiva solvärmesystemen ingår en solvärmeupptagande del. Vanligen utgörs denna av en s k solfångare (solkollektor, solvärmemottagare). I denna omvandlas den infallande, huvudsakligen kortvågiga, solstrålningen till värmeenergi som kan tillgodogöras för uppvärmningsändamål.

Två huvudtyper av solfångare förekommer, nämligen plana och koncentrerande (fokuserande). Se figur 4.7 och 4.8.

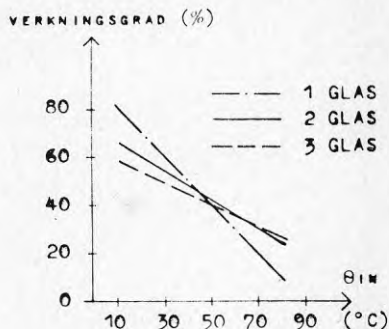


Figur 4.7 Plan solfångare med vatten som värmemedium. Fabrikat Svenska Fläktfabriken AB.



Figur 4.8 Fokuserande solfångare. Fabrikat Polisolar AB.

Plana solfångare består av en absorberator med cirkulerande värmebärare. Absorberatorn är ytbehandlad för att ge god energiupptagning. Bästa verkningsgraden uppnås med ett selektiva ytskikt, vilka dock medför högre solfångarkostnader. Framsidan av solfångaren är täckt med ett eller flera glas medan baksidan och kanterna är isolerad. Glasen minskar värmeförlusterna till omgivande luft men har den nackdelen att en del av strålningen reflekteras. Figur 4.9 illustrerar hur solfångartemperaturen inverkar på energiupptagningen.

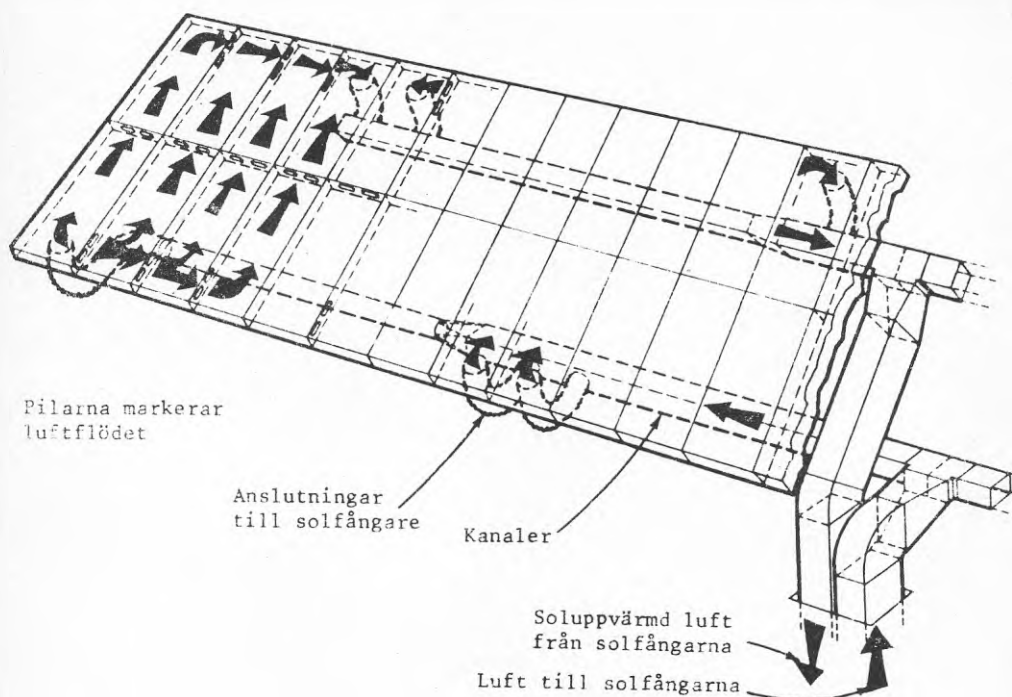


Figur 4.9 Verkningsgraden som funktion av temperaturen i solfångaren vid orientering mot SÖ, lutning 45° under medelmolnig dag i juni. /5/

Värmebäraren är i de flesta fall vatten, med eller utan glykoltillsats. Alternativa system med luft eller olja som värmebärare förekommer. Se figur 4.10. Maximalt kan ca $500 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ upptas i solfångarna. Normalt brukar dock energiupptagningen i gynnsamma fall begränsas till ca $200\text{--}400 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$. Verkningsgraden hos solfångarna sjunker vid låga utetemperaturer till följd av värmeförlusterna. Plana solfångare kan tillgodogöra sig både direkt solstrålning och diffus strålning och är därför lämpliga i Sverige med förhållandevis stor andel diffus solstrålning.

I de koncentrerande solfångarna reflekteras solstrålningen i en vanligtvis parabolisk yta mot en absorbator utförd som ett rör. Se figur 4.8. Glasning och isolering erfordras ej. Temperaturer betydligt över 100°C kan erhållas på värmemediet. I de flesta fall utförs de koncentrerande solfångarna rörliga så att solens bana kan följas. Detta är av betydelse eftersom endast den direkta solstrålningen kan tillgodogöras. Härvid erhålls dessutom goda regleringsmöjligheter för att bli undvika kokning vid energiöverskott.

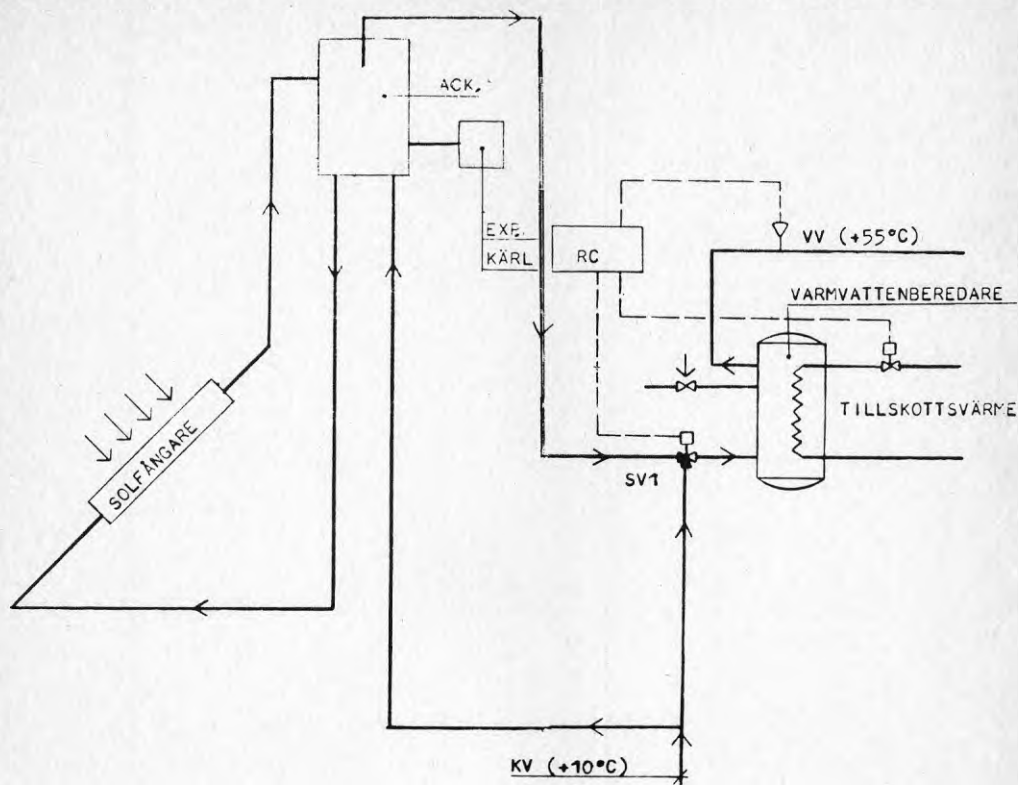
Koncentrerande solfångare har hittills fått ringa användning i Sverige för tappvarmvattenvärmning eftersom dessa ej tillgodogör sig diffus solstrålning och medför högre investeringskostnader. Möjligheter att uppnå mycket höga temperaturer på värmemediet saknar betydelse vid tappvarmvattenvärmning.



Figur 4.10 Plan solfångare med luft som värmebärare. Fabrikat Solaron, Seleko AB.

4.32 System

Figur 4.11 visar en enkel systemutformning för uppvärmning av tappvatten med solenergi. Tappvarmvattnet värms direkt i solfångaren och lagras i en ackumulatortank som placeras högre än solfångaren så att självcirkulation uppstår i systemet. Denna lösning är lämplig endast för vissa mindre anläggningar, typ fritidshus. Detta på grund av svårigheterna att placera komponenterna så att självcirkulation uppstår. Dessutom är det olämpligt att absorbatoren och de utvändiga rörledningarna står under vattenledningstryck till följd av risken för svåra vattenskador vid läckage som kan orsakas av t ex sönderfrysning. Korrosionsrisken är också stor då tappvatten cirkulerar i solfångarna varför stora krav ställs på materialet.



Figur 4.11 Solvärmesystem för direktvärmning av tappvatten.

En för svenska förhållanden lämpligare systemutformning framgår av figur 4.12. /3/

Solfångaren placeras på exempelvis byggnadens tak och ansluts till ett vattencirkulationssystem med välisolerad ackumulatortank, pump och expansionskärl. Värmen överförs via det cirkulerande vattnet från solfångarna till ackumulatortanken, där det lagras. Vattenflödet i systemet hålls konstant. Tappvattnet värms t ex med 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 onödigt nedkylning av vattenmagasinet solfattiga tider stoppas pumpen automatiskt via temperaturgivare så snart vattentemperaturen i solfångarna understiger ackumulatortankens temperatur. Återstart sker automatiskt vid stigande solfångar-temperatur.

Vid tillfällena med mycket kraftig solinstrålning och låg varmvattenförbrukning kan vid vissa dimensioneringsförhållanden 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 ljudstörningar i systemet. För att undvika kokning i solfångarna kan systemet förses 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 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 avkylning av systemet. Dock erhålls därvid 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. Ventilen öppnar på impuls från en temperaturgivare i ackumulatortanken lika ovan, varvid hetvattnet spolas ut i avloppssystemet.

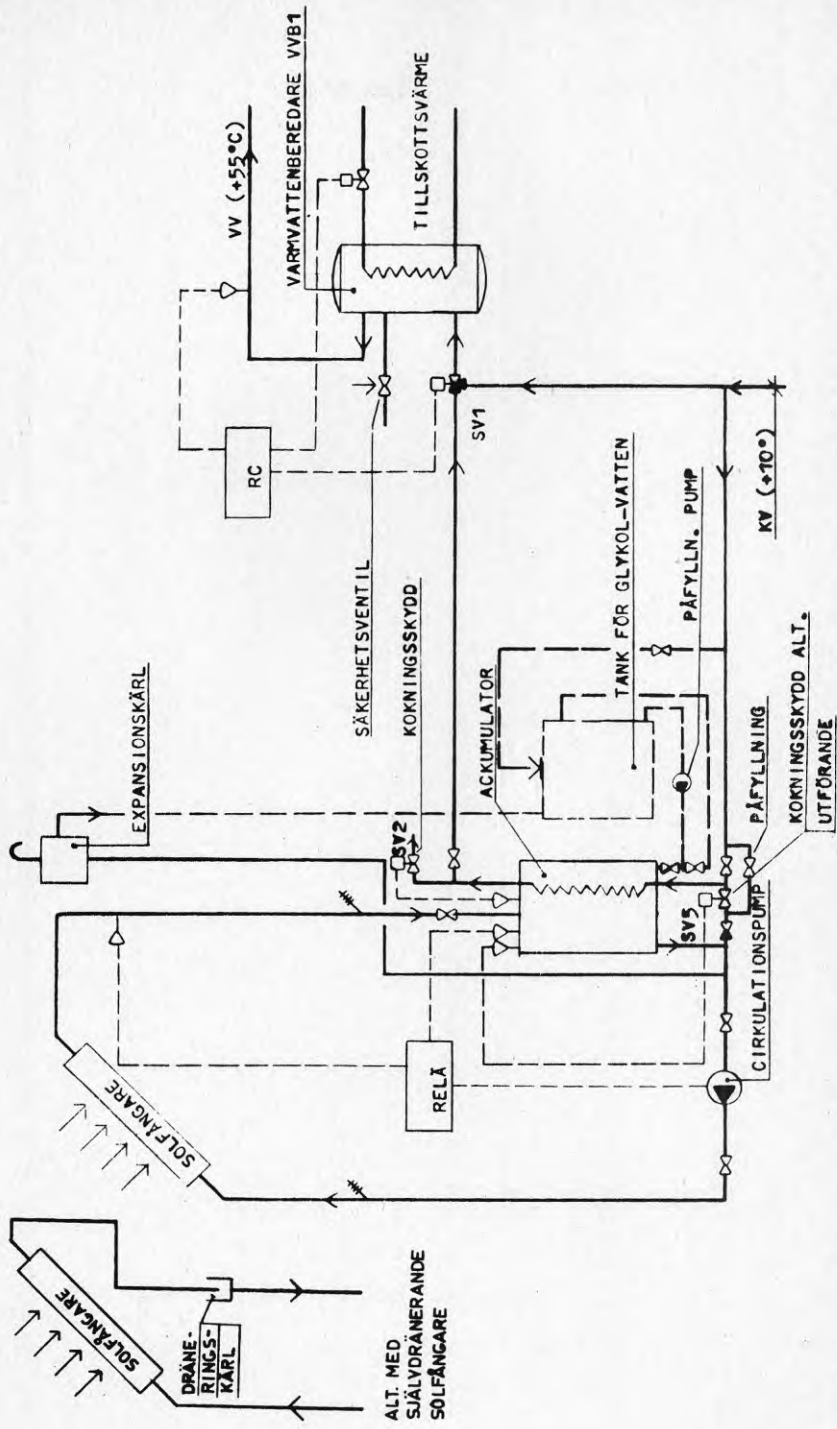
Om systemet utförs självdränerande, dvs om solfångarna automatiskt töms i ett dräneringskärl då temperaturen närmar sig kokpunkten undviks kokning utan dessa arrangemang.

Kokning undviks även i system som dimensioneras så att trycket tillåts stiga så att vattenånga ej kan koka. Om man antar att solfångarnas värmeförluster är lika stora som energiupptagningen vid solfångartemperaturen +150°C undviks kokning om trycket i solfångarna överstiger ca 500 kPa (50 m vp). Risken är dock stor att solfångarna tar skada vid så hög temperatur.

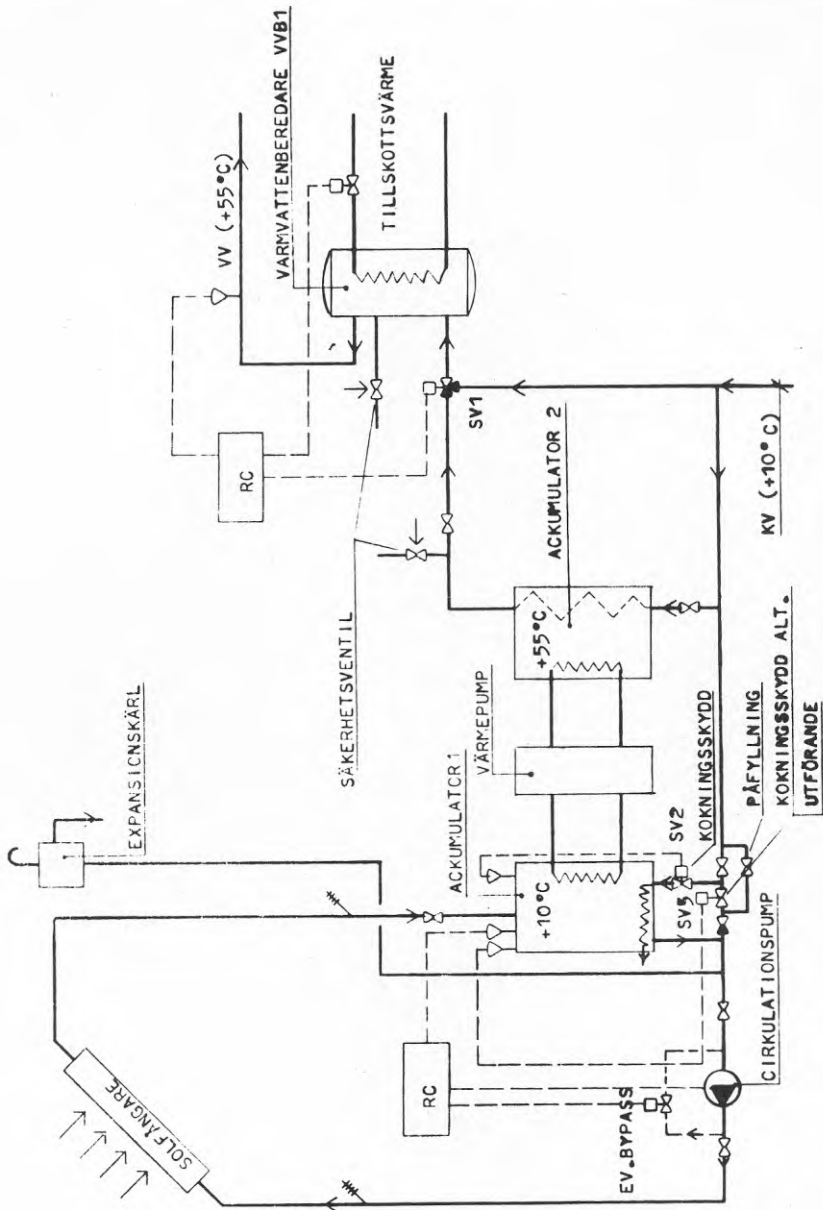
I de fall anläggningen skall nyttjas även vintertid kan fryspunktsnedsättande medel tillsättas cirkulationsvattnet, t ex glykol, för att undvika frysning i solfångarna. En sådan teknisk lösning komplicerar dock installationerna. Större krav ställs nämligen på tätheten hos ventiler och rörkopplingar m m. Påfyllningsanordning för glykol erfordras m m. Emedan glykol inte direkt får avledas till avloppssystemet måste i förekommande fall skydd mot kokning anordnas genom indirekt kylning via varmvattensystemet enligt ovan.

Glykol kan undvikas om systemet utförs självdränerande enligt ovan, varvid solfångarna och de kallt belägna rörledningarna automatiskt töms i dräneringskärl då cirkulationspumpen stoppar.

Solfångarnas verkningsgrad stiger om temperaturdifferensen med omgivningen kan sänkas. Detta faktum utnyttjas i solfångarsystem enligt figur 4.13. I detta fall nyttjas en värmepump för att värma tappvarmvattnet med solvärme.

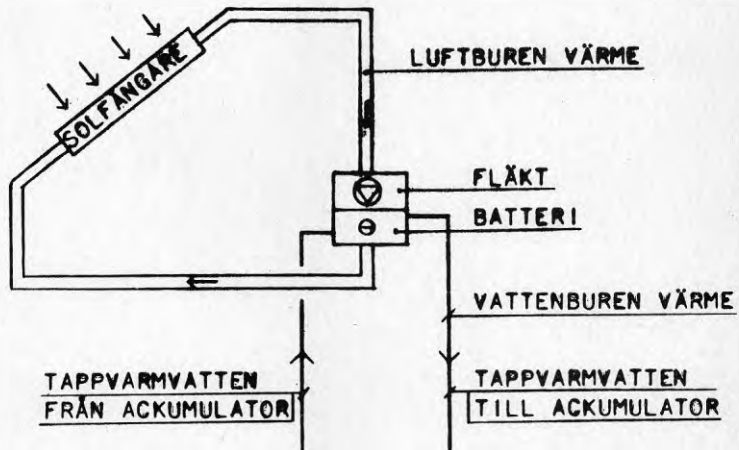


Figur 4.12 Solvärmesystem för tappvatten med vatten eller vatten/glykolblandning som värmemedium. /3/



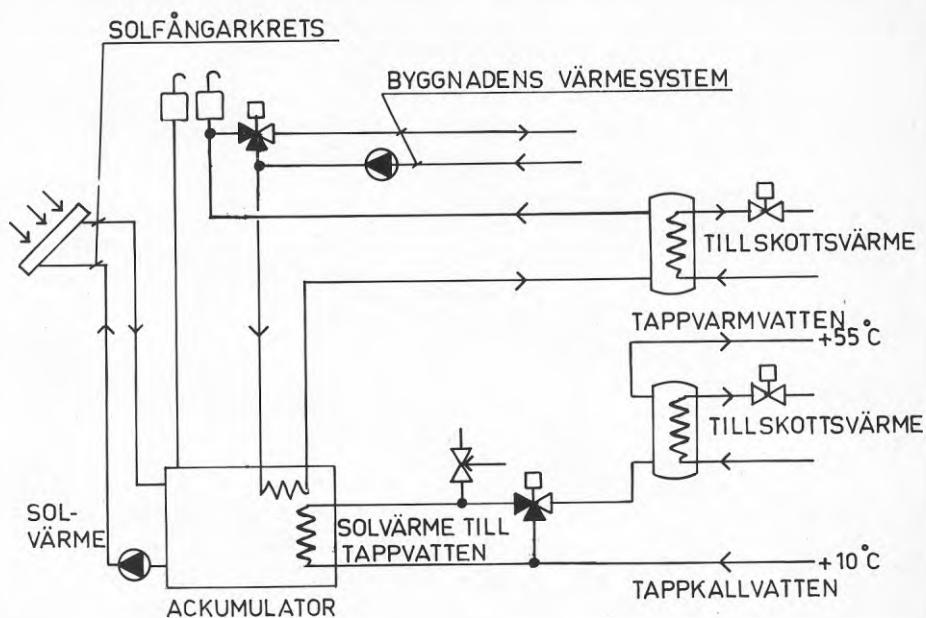
Figur 4.13 Solvärmesystem för tappvatten med värmepump. /3/

I de ovan beskrivna systemen är värmemediet vatten. Luftburna solvärmesystem utförs på samma sätt med den skillnaden att en luftvatten-värmeväxlare överför solvärmets från den cirkulerande luften till tappvarmvattnet. Se figur 4.14. En fördel med dessa system är att frysrisker elimineras. Dessutom kan korta solperioder utnyttjas i större utsträckning än vid vattenburen värme till följd av luftens snabba uppvärmning. Detta medför att den totala, under året tillgodogjorda, solenergin blir ungefär lika stor som vid vattenburen solvärme även om de luftburna solfångarna har något lägre verkningsgrad. Luftburna solvärmesystem ger i de flesta fall högre installationskostnader och kräver större utrymme till följd av kanaldragningsarna.



Figur 4.14 Solvärmesystem med luft som värmemedium.

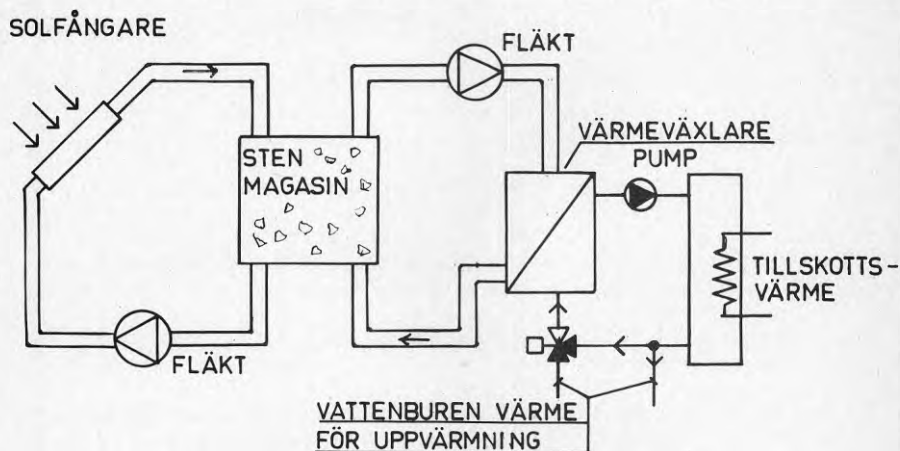
Systemen enligt figur 4.12-4.14 kan nyttjas både för värmning av tappvatten och byggnadsuppvärmning. Se figur 4.15.



Figur 4.15 Kombinerat solvärmesystem för tappvarmvatten- och byggnadsuppvärmning.

Om solvärmesystemet skall dimensioneras även för byggnadsuppvärmning ökar den erforderliga solfångarytan och ackumulatorvolymen med hänsyn till hur stor del av årsvärmebehovet som man avser att täcka med solvärme.

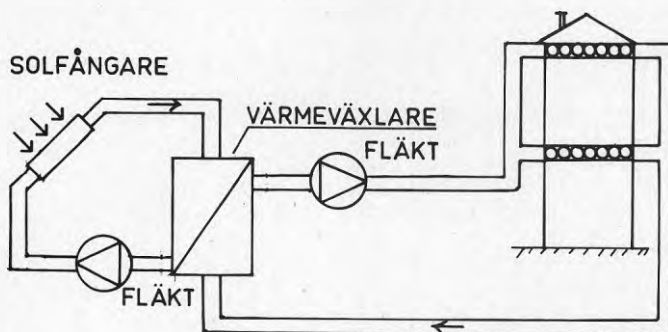
Figur 4.16 visar ett system med värmelagring i sten. Uppladdning av stenmagasinet sker med den luft som passerar genom solfångaren och där uppvärms. Energiuttag från stenmagasinet sker via värmeväxlare. Sker uppvärmning med luft, kan luften uttas direkt från magasinet.



Figur 4.16 System med plan solfångare med luft som värmemedium. Värmelagring i sten.

Figur 4.17 visar ett system där byggnaden är uppförd med hålbjälklag genom vilket solvärmad luft kan passera. Principen är att luften laddar upp bjälklaget under dagen och de uppladdade bjälklagen tillför sin värme till rummen under natten.

System kan fungera reversibelt under sommaren då stommen lagrar ky-
la istället.



Figur 4.17 System med solvärmelagring i hålbjälklag.

I BFR-rapport R122:1979/2/ redovisas ett system med solvärmesystem med värmelagring i hålbjälklag där s k frånluftfönster nyttjas som solfångare. Systemet bygger på att frånluften upptar energi dels från personer, belysning, maskiner etc, dels från solstrålning som värmer luften mellan glasrutorna.

4.4 Utvärdering av lämplig principlösning för experimenthuset

Avsikten med projektet är ej att utveckla nya solvärmesystem utan istället att tillämpa redan utvecklad teknik med målsättning att få en driftsäker anläggning med låg årlig energikostnad.

Av de i kapitel 4.2 beskrivna passiva solvärmesystemen är "Sokrates" solhus" ett exempel på hur man enbart genom lämplig orientering av byggnaden och placering av fönsterytorna på ett enkelt sätt kan påverka solvärmens tillskott till byggnadens värmeförsörjning. Målsättningen vid experimenthusets byggnadsutformning är därför att tillämpa riktlinjerna för denna typ av passivt solvärmesystem. Sålunda bör byggnadens disposition vara sådan att tekniska utrymmen, ekonomiskt m m förläggs till nordfasad i utrymmen med små fönsterytor. Söderfasaden bör däremot få stora fönsterytor som tillåter god solvärmemottagning. Bjälklaget bör utgöras av tunga betongbjälklag med god värmekapacitet. Liksom i "Sokrates" solhus" anordnas solavskärmning för att undvika för stark solinstrålning sommartid. Detta bör ske genom fasta persienner utanför fönstrens övre del.

Installation av värmeupptagande plattor, som utnyttjar fasomvandlingsvärme för lagring av överskottsenergi från dag till natt, kan även förbättra energihushållning i byggnaden. Andra mer komplicerade passiva solvärmesystem av experimentkaraktär som beskrivs i kapitel 4.2 har ej bedömts intressanta för detta projekt.

Utredningar har visat att aktiva solvärmesystem för tappvattenvärmning ger betydligt lägre kostnader per inbesparad kWh än system för byggnadsuppvärmning. Orsaken är bl a att solvärmesystem för byggnadsuppvärmning kräver säsongslager för värme vilket med nuvarande teknik medför mycket höga investeringskostnader. Inom Sverige pågår ett par fullskaleprojekt med säsongslagring vilket kan ge värdefulla erfarenheter vid systemval i framtiden. För experimenthuset föreslås att ett aktivt solvärmesystem för tappvattenvärmning installeras.

Som värmemedium i solvärmesystem har hittills vatten med frostskyddstillsats nyttjats i flertalet anläggningar. Luftburna system har ännu ej visat sig ge några påtagliga fördelar bortsett från att frysriskerna elimineras. Därför föreslås att ett vattenburet system installeras i experimenthuset.

5 SYSTEM- OCH KOMPONENTVAL

5.1 Systemutformning

Enligt kapitel 4.4 väljs ett solvärmesystem för tappvatten med vatten som värmebärare. Solvärmemottagningen skall ske i plana solfångare.

Solfångarna placeras lämpligen på byggnadens tak.

Värmelagringen föreslås ske i en välisolerad vattentank placerad i ett utrymme i byggnadens källarvåning i anslutning till övriga tekniska utrymmen.

Värmeackumulatören föreslås utformas så att värmelagring sker i tappvatten som värms av solvärmesystemets vatten. Värmeväxling föreslås ske i separat värmeväxlare så att god skiktning erhålls i ackumulatören. Med denna lösning begränsas solvärmesystemets volym och därmed behovet av frostskyddsmedel. En nackdel är att ackumulatorkostnaden blir hög till följd av att kopparmantling erfordras och att ackumulatörens förrådsutrymme måste dimensioneras för tappvattentrycket. Kostnadsbesparingen vid ett utförande där istället solvärmesystemets vatten lagras i ackumulatören blir dock liten till följd av att en tank av enkelt utförande, typ oljetank, ej kan nyttjas eftersom solvärmesystemets tryck är för högt. Alternativt kan en tank med lågt dimensioneringstryck nyttjas om systemet förses med en extra värmeväxlarkrets. Detta medför dock temperaturfall i värmeöverföringen och sämre verkningsgrad hos solfångarna. Dessa förhållanden medför att den föreslagna lösningen bedöms vara gynnsammare.

5.2 Dimensioneringsprinciper

Ett datasystem för mikrodator har utvecklats vid Wahlings Installationsutveckling AB, Danderyd, med vilket ett solvärmesystem för tappvatten kan dimensioneras. Härvid tas hänsyn bl a till värmebehovets variation från timme till timme. Systemet beskrivs i bilaga 1.

För experimenthuset används förbrukningskurvan enligt figur 3.2 som ingångsdata vid beräkningarna. Vidare nyttjas normal- och medeltemperaturer för perioden 1931-1960 redovisade i "Klimatdata för Sverige", Statens Institut för Byggnadsforskning. Härvid nyttjas normaltemperaturer uppmätta vid Bromma flygplats medan temperaturamplituden för de olika månaderna har beräknats med hjälp av medeltemperaturerna kl 07, 13 och 19. Temperaturen antas variera efter en cosinuskurva med maximum kl 15.00.

Anläggningen föreslås dimensioneras så att den täcker hela energibehovet för tappvarmvatten, med temperaturen $+50^{\circ}\text{C}$, under medelmolniga dagar under juni månad. Värmeackumulatören skall således dimensioneras så att värmelagret på morgonen är tillräckligt för behovet innan instrålningen motsvarar förbrukningen.

Värden på instrålad solenergi under medelmolniga dagar har erhållits från beräkningar vid Institutionen för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH. Ortens läge är lat. 59° long. 18° .

Solfångarlutningen mot horisontalplanet har fastställts till 45° .

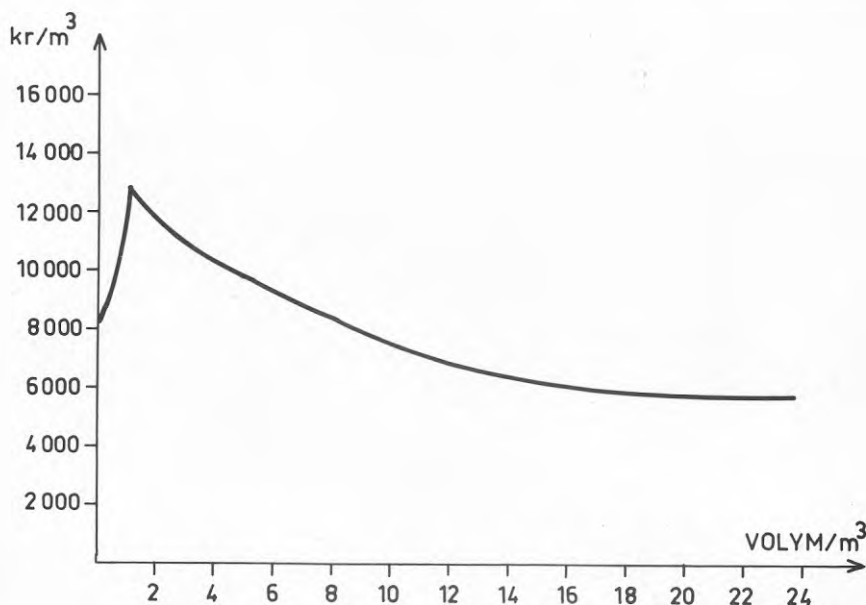
Solfångare av lågtemperaturtyp med ett genomsnittligt k-värde av $5,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ har valts.

Vid datorberäkningarna antas temperaturdifferensen mellan solfångarnas in- och utlopp vara 15°C . Ackumulators höjd antas vara 2,5 m och temperaturdifferensen mellan ackumulators utlopp och medeltemperatur 10°C till följd av skiktning. I värmeväxlaren antas temperaturfallet vara 5°C vilket ger inloppstemperaturen till solfångarna 5° lägre än ackumulators medeltemperatur.

Solfångaryta och ackumulatorvolym dimensioneras med mikrodatoren så att ingen tillskottsenergi erfordras under medelmolniga dagar i juni. Datoren räknar timme för timme under tillräckligt antal dygn för att få stationärt förlopp.

Kostnaden för färdigmonterade solfångare bedöms uppgå till ca 1000 kr/m^2 . Kostnaden för ackumulator av stålplåt med invändig kopparmantling inklusive separat värmeväxlare för överföring av solvärme har undersökts genom fabrikantkontakter. Resultatet visas i figur 5.1.

Akkumulatoren antas isolerad så att k-värdet är $0,3 \text{ W/m}^3 \text{ K}$.



Figur 5.1 Kostnader för värmeackumulator av stålplåt med invändig kopparmantling samt värmeväxlare.

Till ackumulatorkostnaden kommer kostnaden för det utrymme i byggnaden där ackumulatorn skall placeras. Denna kostnad uppgår till ca 350 kr per m³ byggnadsvolym.

Solfångaryta och ackumulatorvolym har dimensionerats för de fall att solfångarna är orienterade mot ost, sydost, syd respektive sydväst. Resultatet framgår av tabell 5.1.

I tabellen redovisas även kostnaderna för fyra olika dimensioneringsfall per väderstreck. I kostnaderna ingår ej installationskostnader som är lika i de olika fallen såsom kostnader för rörsystem, styrutrustning, elinstallationer och byggkostnader.

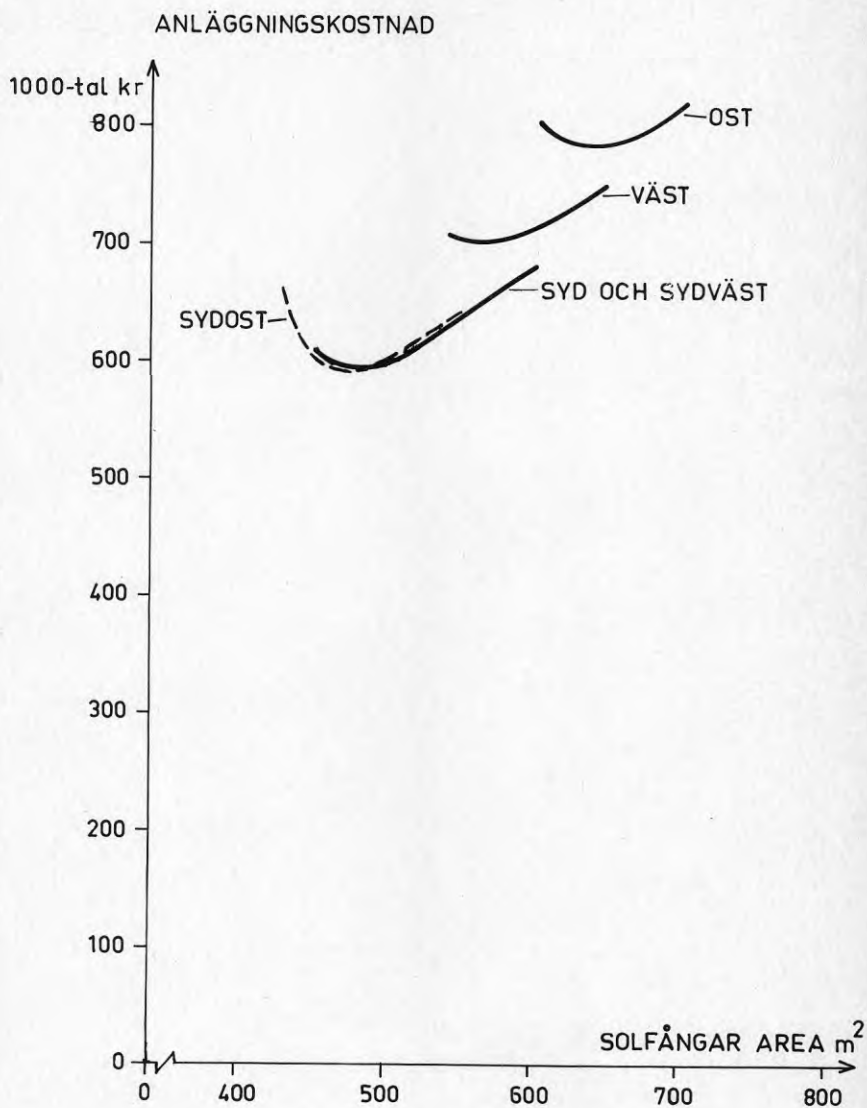
Tabell 5.1 Solfångaryta, ackumulatorvolym och kostnader vid olika dimensioneringsfall

ORIENTERING	SOLFÅNG. AREA m ²	TANK VOLYM m ³	KOSTNADER, tkr			SUMMA
			SOLFÅNG.	TANK	UTRYMME	
O S T	600	33	600	191	12	803
	630	25	630	145	9	784
	650	22	650	128	8	786
	700	18,5	700	109	7	816
S Y D O S T	430	37,5	430	218	14	662
	450	24	450	139	9	598
	500	16	500	94	6	600
	550	13	550	82	5	637
S Y D	450	25,5	450	148	9	607
	470	19,5	470	113	7	590
	500	15	500	90	5	595
	550	12	550	80	4	634
S Y D V Ä S T	440	26	440	151	9	600
	470	18	470	106	6	582
	500	15	500	90	6	596
	550	12,5	550	81	5	636
V Ä S T	540	27	540	157	10	707
	550	24,5	550	142	9	701
	600	17,5	600	103	6	709
	650	15	650	90	6	746

I figur 5.2 redovisas kostnaderna från tabell 5.1 i diagramform varvid framgår att anläggningskostnaden blir ungefär densamma vid solfångare orienterade mot syd, sydväst eller sydost medan ost- och väst-orienterade solfångare medför högre kostnader.

Vid beräkning av årlig nyttiggjord solenergi konstateras att sydlig orientering ger ca 2000-3000 kWh mer solenergi än sydväst- och sydostorienterade solfångare.

Det fördelaktigaste dimensioneringsfallet utgörs sålunda av en sydorienterad solfångaryta på 470 m^2 och en ackumulatorvolym på $19,5 \text{ m}^3$. Tabell 5.2 visar en datautskrift för detta fall.



Figur 5.2 Anläggningskostnad som funktion av orientering och solfångaryta.

Tabell 5.2 Datautskrift av dimensioneringsfallet

*****ACKUMULATORDIMENSIONERING*****

ORTNAMN: MARIEFRED
 LATITUD: 59
 LONGITUD: 18
 TIDSMERIDIAN: 15
 MEDELMOLNIG SOLSTRÅLNING
 DATUM (MM DD) 6 15
 SANN-MEDELSOLTID 0
 YTANS ORIENTERING: 0
 YTANS LUTNING: 45
 SOLFANGAR YTA 470 M2
 TEMP DIFF ÖVER SOLFANG 15

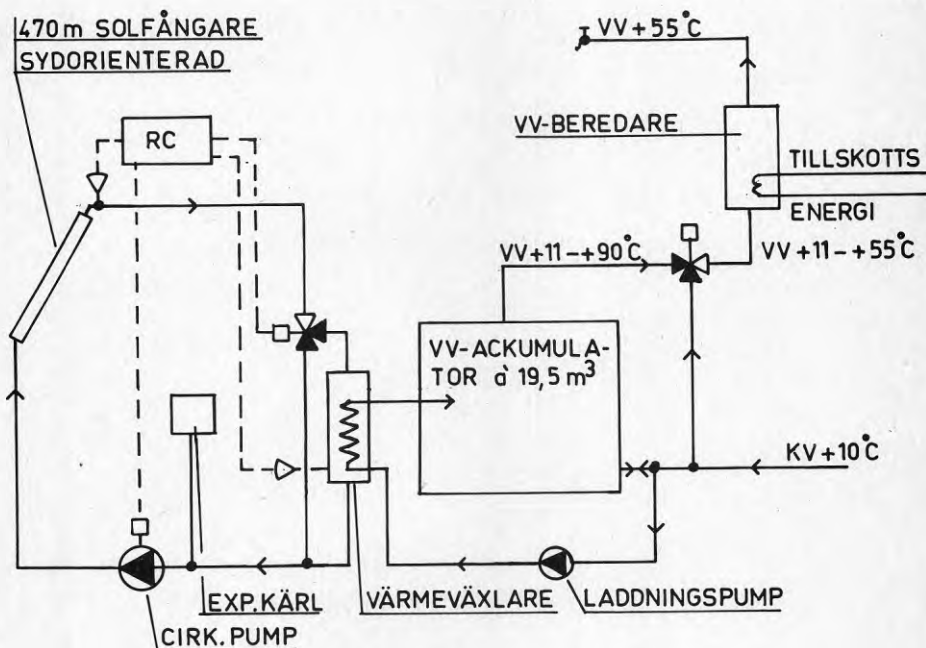
KL	UTE- TEMP	SOLFANG TEMP	ACKU- TEMP	WLAST KW	WTANK KW	T*a	VERKN- GRAD	PSOL KW	EFFEKTBEHOV KW
1	11	0	56.7	10.5	1.6	0	0	0	0
2	10.5	0	56.2	10.5	1.6	0	0	0	0
3	10.4	0	55.7	10.5	1.6	.83	0	0	0
4	10.5	0	55.2	10.5	1.6	.83	0	0	0
5	11	0	54.3	19	1.5	.83	0	0	0
6	11.7	0	53.4	19.4	1.5	.63	0	0	0
7	12.6	0	51.1	49.8	1.5	.63	0	0	0
8	13.6	52.6	50.1	54.5	1.4	.74	.18	33	0
9	14.7	53.6	51.1	67.3	1.3	.82	.4	90	0
10	15.8	56.8	54.3	51.3	1.4	.83	.47	123	0
11	16.9	61.1	58.6	37.4	1.5	.83	.48	135	0
12	17.7	64.8	62.3	46.3	1.7	.83	.45	131	0
13	18.4	67.6	65.1	50.2	1.9	.83	.41	114	0
14	18.9	69.5	67	41.3	2	.83	.34	85	0
15	19	69.3	66.8	35.1	2.1	.76	.16	34	0
16	18.9	0	65.2	33.8	2.1	.72	0	0	0
17	18.4	0	64.1	22.7	2	.59	0	0	0
18	17.7	0	63	22.6	1.9	.66	0	0	0
19	16.9	0	61.5	32.3	1.9	.83	0	0	0
20	15.8	0	60.5	20.4	1.8	.83	0	0	0
21	14.7	0	59.7	15.6	1.8	0	0	0	0
22	13.6	0	58.9	15.6	1.7	0	0	0	0
23	12.6	0	58.1	15.6	1.7	0	0	0	0
24	11.7	0	57.3	15.6	1.7	0	0	0	0
MEDEL/SUMMA	61.9	58.6	707.8	40.7			744.1	0	KWh

ACKUMULATORVOLYM= 19.5 M3

5.3 Förslag till utförande

Solvärmemottagning föreslås ske med plana solfångare av lågtemperaturtyp (k-värde ca $5,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) som placeras på byggnadens sydorienterade takytor. Taklutningen och därmed solfångarnas lutning mot horisontalplanet föreslås vara 45° . Den totala solfångarytan föreslås vara 470 m^2 .

En varmvattenackumulator med volymen $19,5 \text{ m}^3$ föreslås placeras i källarvåningen i anslutning till övriga tekniska utrymmen. Figur 5.3 visar ett principschema för anläggningen.



Figur 5.3 Principschema för anläggningen

Temperaturgivarna vid solfångare och i ackumulatortank startar respektive stoppar cirkulationspumpen om temperaturen är högre respektive lägre vid solfångaren än i tanken. Motorventilen i solfångarkretsen styr det uppvärmda vattnet genom ackumulatortanken om de båda temperaturgivarna fortfarande känner ca 5°C högre temperatur vid solfångarna än i ackumulatortanken då pumpen cirkulerar vattnet.

Tabell 5.2 visar temperaturförhållanden och energiflöden under dimensioneringsfallet, d v s en medelmolnig dag i juni.

Beräkning har även utförts för perioder med klara dagar. Tabell 5.3 visar temperaturförhållanden och energiflöden under klara da-

gar efter en medelmolnig period. Temperaturen i solfångarsystemet överstiger 100°C kl 12.00 den andra klara dagen varför kokningsrisk föreligger om inte anläggningen innehåller temperaturbegränsande installationer.

Under klara perioder kan hela värmebehovet täckas med solenergi även under icke-sommartid. Tabell 5.4 visar temperaturförhållanden och energiflöden under två klara dagar i följd i mars efter en medelmolnig period varvid ingen tillsatsenergi erfordras andra dagen. I tabell 5.2 - 5.4 används följande beteckningar:

ACKUTEMP	avser medeltemperatur i ackumulator
W_{LAST}	avser värmebehov, medeleffekt under timmen
W_{TANK}	avser värmeförluster från ackumulator
T.a	avser produkten av transmissions- och absorptionsfaktorerna
VERKNGRAD	avser solfångarnas verkningsgrad
PSOL	avser i solfångaren mottagen solenergi
EFFEKTBEHOV	avser tillskottsenergi, medeleffekt under timmen

Tabell 5.3 Temperaturförhållanden och energiflöden under två klara dagar i följd efter en medelmolnig period i juni

KL	UTE-TEMP	SOLFANG TEMP	ACKU-TEMP	WLAST KW	WTANK KW	T#a	VERKN-GRAD	PSOL KW	EFFEKTBEHOV KW
1	14.7	0	56.7	10.5	1.6	0	0	0	0
2	14.2	0	56.2	10.5	1.6	0	0	0	0
3	14	0	55.7	10.5	1.6	.83	0	0	0
4	14.2	0	55.2	10.5	1.6	.83	0	0	0
5	14.7	0	54.3	19	1.5	.83	0	0	0
6	15.5	0	53.4	19.4	1.5	.63	0	0	0
7	16.5	54	51.5	49.8	1.5	.63	.06	10	0
8	17.7	56.1	53.6	54.5	1.4	.74	.39	104	0
9	19	61.4	58.9	67.3	1.5	.82	.55	188	0
10	20.3	69.5	67	51.3	1.7	.83	.58	233	0
11	21.5	78.7	76.2	37.4	2.1	.83	.56	245	0
12	22.5	86.9	84.4	46.3	2.5	.83	.52	232	0
13	23.3	93.4	90.9	50.2	2.8	.83	.46	197	0
14	23.8	97.9	95.4	41.3	3.1	.83	.38	144	0
15	24	98.7	96.2	35.1	3.3	.76	.18	55	0
16	23.8	0	94.5	33.8	3.3	.72	0	0	0
17	23.3	0	93.3	22.7	3.3	.59	0	0	0
18	22.5	0	92.1	22.6	3.2	.06	0	0	0
19	21.5	0	90.5	32.3	3.2	.83	0	0	0
20	20.3	0	89.4	20.4	3.1	.83	0	0	0
21	19	0	88.6	15.6	3	0	0	0	0
22	17.7	0	87.8	15.6	3	0	0	0	0
23	16.5	0	87	15.6	3	0	0	0	0
24	15.5	0	86.2	15.6	2.9	0	0	0	0
1	14.7	0	85.6	10.5	2.9	0	0	0	0
2	14.2	0	85	10.5	2.9	0	0	0	0
3	14	0	84.4	10.5	2.9	.83	0	0	0
4	14.2	0	83.8	10.5	2.8	.83	0	0	0
5	14.7	0	82.8	19	2.8	.83	0	0	0
6	15.5	0	81.8	19.4	2.8	.63	0	0	0
7	16.5	0	79.4	49.8	2.7	.63	0	0	0
8	17.7	80.9	78.4	54.5	2.6	.74	.13	34	0
9	19	83.4	80.9	67.3	2.6	.82	.37	126	0
10	20.3	89	86.5	51.3	2.7	.83	.44	178	0
11	21.5	96	93.5	37.4	2.9	.83	.45	197	0
12	22.5	102.3	99.8	46.3	3.2	.83	.42	189	0
13	23.3	107	104.5	50.2	3.5	.83	.37	159	0
14	23.8	109.9	107.4	41.3	3.7	.83	.29	110	0
15	24	109.3	106.8	35.1	3.8	.76	.08	25	0
16	23.8	0	105.1	33.8	3.8	.72	0	0	0
17	23.3	0	103.9	22.7	3.7	.59	0	0	0
18	22.5	0	102.7	22.6	3.7	.06	0	0	0
19	21.5	0	101.1	32.3	3.6	.83	0	0	0
20	20.3	0	100	20.4	3.6	.83	0	0	0
21	19	0	99.1	15.6	3.5	0	0	0	0
22	17.7	0	98.2	15.6	3.5	0	0	0	0
23	16.5	0	97.3	15.6	3.4	0	0	0	0
24	15.5	0	96.4	15.6	3.4	0	0	0	0

D
A
G
1D
A
G
2

KOKNING

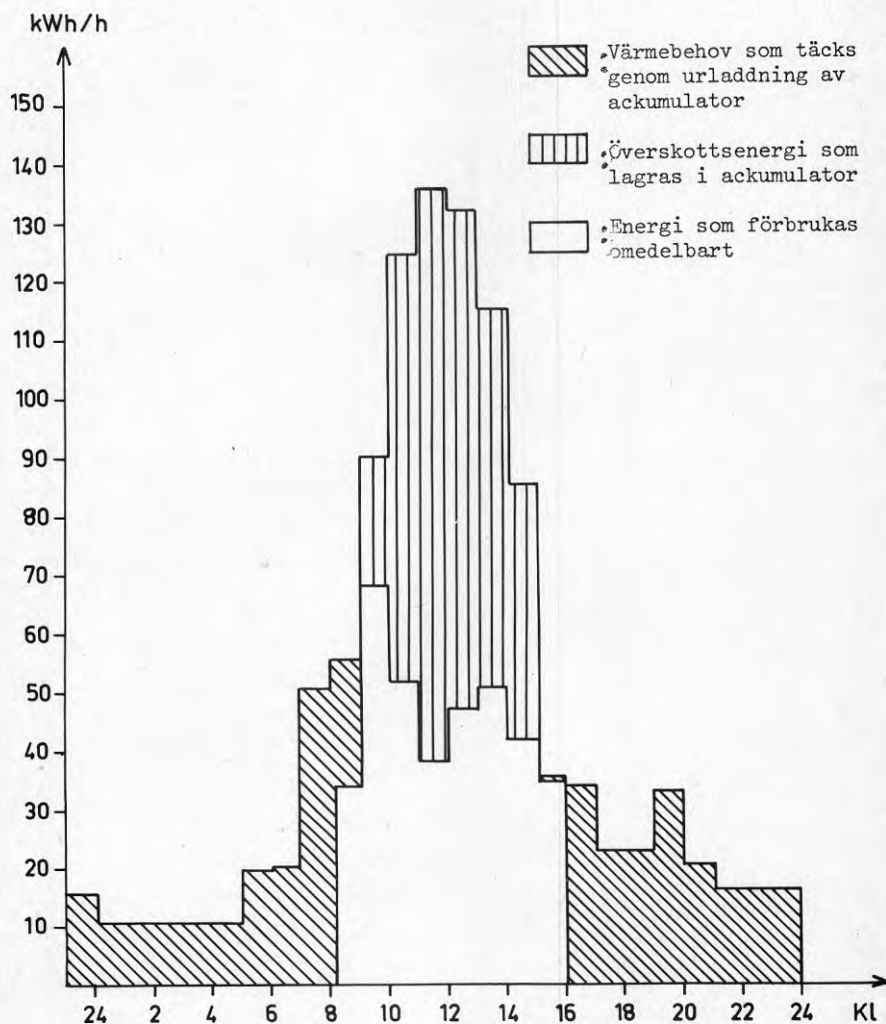
Tabell 5.4 Temperaturförhållanden och energiflöden under två klara dagar i följd efter en medelmolnig period i mars

KL	UTE-	SOLFANG	ACKU-	MLAST	WTANK	T#a	VERKN-	PSOL	EFFEKTBEHOV	
	TEMP	TEMP	TEMP	KW	KW		GRAD	KW	KW	
	1	-1.3	0	33	10.5	.6	0	0	4.5	
	2	-1.6	0	32.7	10.5	.6	0	0	4.5	
	3	-1.7	0	32.4	10.5	.6	0	0	4.6	
	4	-1.6	0	32.1	10.5	.5	0	0	4.7	
	5	-1.3	0	31.6	19	.5	0	0	8.7	
	6	-7	0	31.1	19.4	.5	0	0	9.2	
	7	0	0	29.9	49.8	.5	.52	0	25	
	8	.7	33.8	31.3	54.5	.4	.72	.31	59	25.5
	9	1.6	38.6	36.1	67.3	.5	.77	.49	142	23.5
	10	2.5	46.5	44	51.3	.7	.83	.58	209	7.7
D	11	3.3	55.2	52.7	37.4	1.1	.83	.56	227	0
A	12	3.9	62.7	60.2	46.3	1.4	.83	.52	215	0
G	13	4.5	68.4	65.9	50.2	1.8	.83	.46	179	0
1	14	4.8	71.8	69.3	41.3	2	.83	.36	119	0
	15	4.9	71.1	68.6	35.1	2.2	.75	.08	21	0
	16	4.8	0	67	33.8	2.1	.68	0	0	0
	17	4.5	0	65.9	22.7	2.1	.34	0	0	0
	18	3.9	0	64.8	22.6	2	0	0	0	0
	19	3.3	0	63.3	32.3	2	0	0	0	0
	20	2.5	0	62.3	20.4	1.9	0	0	0	0
	21	1.6	0	61.5	15.6	1.9	0	0	0	0
	22	.7	0	60.7	15.6	1.8	0	0	0	0
	23	0	0	59.9	15.6	1.8	0	0	0	0
	24	-7	0	59.1	15.6	1.8	0	0	0	0
	1	-1.3	0	58.6	10.5	1.7	0	0	0	0
	2	-1.6	0	58.1	10.5	1.7	0	0	0	0
	3	-1.7	0	57.6	10.5	1.7	0	0	0	0
	4	-1.6	0	57.1	10.5	1.7	0	0	0	0
	5	-1.3	0	56.2	19	1.6	0	0	0	0
	6	-7	0	55.3	19.4	1.6	0	0	0	0
	7	0	0	53	49.8	1.6	.52	0	0	0
	8	.7	53	50.5	54.5	1.4	.72	.01	1	0
	9	1.6	54.2	51.7	67.3	1.3	.77	.33	94	0
D	10	2.5	59.5	57	51.3	1.4	.83	.47	170	0
A	11	3.3	66.5	64	37.4	1.6	.83	.48	195	0
G	12	3.9	72.7	70.2	46.3	1.9	.83	.45	187	0
2	13	4.5	77.3	74.8	50.2	2.2	.83	.39	154	0
	14	4.8	79.7	77.2	41.3	2.4	.83	.29	97	0
	15	4.9	78.1	75.6	35.1	2.5	.75	.01	2	0
	16	4.8	0	74	33.8	2.4	.68	0	0	0
	17	4.5	0	72.9	22.7	2.4	.34	0	0	0
	18	3.9	0	71.8	22.6	2.3	0	0	0	0
	19	3.3	0	70.2	32.3	2.3	0	0	0	0
	20	2.5	0	69.2	20.4	2.2	0	0	0	0
	21	1.6	0	68.4	15.6	2.2	0	0	0	0
	22	.7	0	67.6	15.6	2.1	0	0	0	0
	23	0	0	66.8	15.6	2.1	0	0	0	0
	24	-7	0	66	15.6	2.1	0	0	0	0

6 LÖNSAMHETSBEDÖMNING

6.1 Energibesparing

Figur 6.1 visar hur solvärmemottagning och effektbehov för tappvarmvatten varierar under dygnet i dimensioneringsfallet, d v s vid medelmolniga dagar i juni. Av figuren framgår även hur en del av solvärmets förbrukas omedelbart medan en del måste lagras för senare behov.



Figur 6.1 Solvärmemottagning och värmebehov under medelmolnig dag i juni.

Solfångarorientering: Sydlig
 Solfångaryta: 470 m²
 Ackumulatorvolym: 19,5 m³

Tabell 6.1 visar för varje månad:

- Q_{SOL} = Mottagen solenergi
 E_{BEHOV} = Behov av tillskottsenergi
 W_{LAGER} = Värmeförluster från ackumulatorn
 W_{LAST} = Värmebehov för tappvarmvatten
 η = Täckningsgrad med solenergi

Täckningsgraden beräknas enligt följande:

$$W_{\text{LAGER}} \geq 0 \quad \eta = \frac{W_{\text{LAST}} - E_{\text{BEHOV}}}{W_{\text{LAST}}}$$

$$W_{\text{LAGER}} < 0 \quad \eta = \frac{W_{\text{LAST}} - E_{\text{BEHOV}} + W_{\text{LAGER}}}{W_{\text{LAST}}}$$

Med detta beräkningsförfarande tas hänsyn till att värme som tillförs ackumulatorn från omgivningen utgörs av betald energi eftersom ackumulatorn placeras inomhus.

Som framgår av tabell 6.1 kommer ca 58 % av värmebehovet för den centrala tappvarmvattenberedningen att täckas med solenergi. Detta innebär en energibesparing av ca 150 MWh/år. Energibesparingen fördelat på årets månader framgår av figur 6.2.

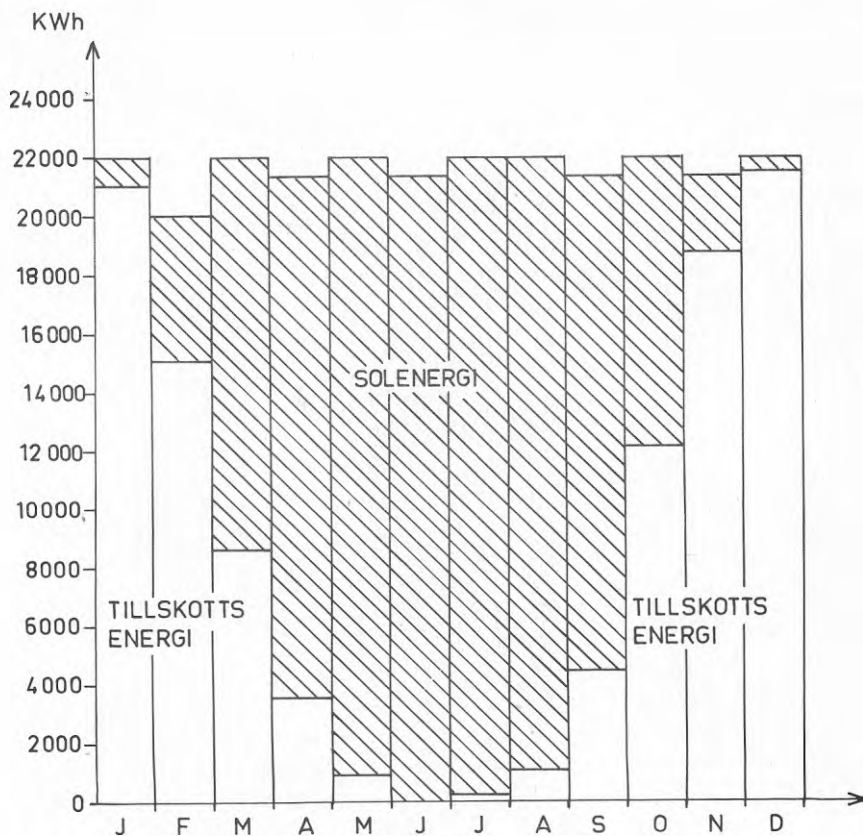
Byggnadens totala värmebehov för tappvarmvatten inklusive elenergi för eftervärmning till 90°C för bäckenspolarna uppgår till ca 290 MWh varav sålunda 52 % täcks med solenergi.

Pumpmotorernas elförbrukning har i detta fall försumrats. Effektbehovet för dessa uppskattas till ca 1 kW. Drifttiden är ca 2300 timmar per år enligt databeräkningarna. Motsvarande årliga energiförbrukning blir endast ca 2 MWh och påverkar därför ej resultatet nämnvärt.

Tabell 6.1 Mottagen solenergi (Q_{SOL}), behov av tillskottsenergi (E_{BEHOV}), värmeförluster från ackumulator (W_{LAGER}), värmebehov för varmvatten (W_{LAST}) samt solvärmeanläggningens täckningsgrad (%).

Solfångarorientering: Sydlig
 Solfångaryta: 470 m²
 Ackumulatorvolym: 19,5 m³

MÅN	Q_{SOL} kWh	E_{BEHOV} kWh	W_{LAGER} kWh	W_{LAST} kWh	η %
1	713	20950	-267	21942	3
2	4777	15000	- 6	19818	24
3	13792	8565	471	21942	61
4	18276	3519	741	21234	83
5	21895	942	1039	21942	96
6	22323	0	1221	21234	100
7	22797	205	1178	21942	99
8	21743	1107	1014	21942	95
9	17286	4434	684	21234	79
10	9888	12118	260	21942	45
11	2265	18708	-165	21234	11
12	186	21378	-291	21942	1
ÅRET	155941	106926	5879	258348	58,3



Figur 6.2 Fördelning mellan solenergi och tillskottsenergi under året

Solfångarorientering: Sydlig
 Solfångararea: 470 m²
 Ackumulatorvolym: 19,5 m³

6.2 Kostnader

Kostnaderna har uppskattats för installation av den föreslagna solvärmeanläggningen. Kostnaderna anges inklusive moms men exklusive projektering-, ränte- och byggherrekostnader.

Kostnadsläget är mars 1980.

Installationskostnader

Solfångare (470 m ²) med tillbehör	470.000:-
Värmeackumulator (19,5 m ³)	120.000:-
Pump, expansionskärl	20.000:-
Rörledning med isolering, ventiler	150.000:-
Styrutrustning	20.000:-
Elinstallationer	<u>20.000:-</u>
Summa	800.000:-
Moms 11,43 %	<u>91.000:-</u>
Summa	891.000:-
Oförutsett 15 %	<u>134.000:-</u>
Installationskostnader totalt	1.025.000:-

Byggkostnader (till följd av solvärmesystemet)

Takarbeten	25.000:-
Takbryggor, takstegar, räcken m m	30.000:-
Transporter, arbetsledning m m	<u>25.000:-</u>
Summa	80.000:-
Moms 11,43 %	<u>9.000:-</u>
Summa	89.000:-
Oförutsett 15 %	<u>13.000:-</u>
Byggkostnader totalt	<u>102.000:-</u>
<u>Totalkostnad</u>	1.127.000:-

Den totala investeringskostnaden uppgår således till ca 1.13 Mkr

6.3 Utvärdering

Investeringskostnaden fördelad på den energi som inbesparas under ett driftår uppgår till ca 7,5 kr/kWh.

Pay-off-tiderna är följande:

<u>Energipris</u> <u>kr/kWh</u>	<u>Pay-off-tid</u> <u>år</u>
0,10	75
0,20	38
0,30	25
0,40	19
0,50	15
0,60	13
0,70	11
0,80	9
0,90	8

Vid en annuitet på 12 % vilket ungefär motsvarar 20 års avskrivningstid och 10 % kalkylränta måste energipriset genomsnittligt uppgå till ca 0,90 kr/kWh under brukstiden för att investeringen skall vara lönsam. Härvid försummas eventuella drift- och underhållskostnader som orsakas av solvärmeanläggningen.

Om man antar att den årliga energikostnadsökningen i fast penningvärde uppgår till 2 % och att realräntan, d v s skillnaden mellan låneränta och årlig inflation, är 4 % blir investeringen lönsam vid ett energipris på ca 0,45 kr/kWh enligt besparingskostnadsmetoden om drifttiden är 20 år.

De oljeeldade pannorna kommer att dimensioneras utan hänsyn till solvärmesystemet eftersom hela värmebehovet för tappvarmvatten måste kunna tillföras från pannorna vid dimensionerande utetemperatur i vinterfallet.

Verkningsgraden hos pannorna sommartid då endast varmvattenvärmebehov föreligger och solvärmesystemet skall avge merparten av årsenergin antas vara ca 70 %. Vid bränslepriset 1000 kr/m³ blir då energikostnaden ca 0,14 kr/kWh. Denna kostnad skall jämföras med energipriserna ovan.

7 RESULTAT

Utredningen visar att ett solvärmesystem med sydorienterade solfångare med ytan 470 m^2 och en vattenvärmeackumulator med volymen $19,5 \text{ m}^3$ är lämpligt för experimentbyggnaden.

Av totala värmebehovet för central beredning av tappvarmvatten ca 258 MWh/år , kan ca 58% , d v s 150 MWh/år erhållas från solvärmesystemet. Räknat på totala värmebehovet för tappvarmvatten ca 290 MWh/år som inkluderar elenergi för eftervärmning av vatten till bäckenspolare blir besparingen ca 52% .

Installationskostnaden för solvärmeanläggningen uppskattas till ca $1,13 \text{ Mkr}$. Pay-off-tiden blir ca 15 år vid energipriset $0,50 \text{ kr/kWh}$. Annuiteten 12% motsvarar energipriset $0,90 \text{ kr/kWh}$. Besparingskostnadsmetoden ger lönsamhet vid ca $0,45 \text{ kr/kWh}$ om energikostnadsökningen i fast penningvärde är 2% per år och realräntan 4% samt drifttiden 20 år.

Vid annan orientering och taklutning för solfångarna kommer täckningsgraden att minska. Vid uppdelning på ost- och västorienterad solfångare blir sålunda energibesparingen ca 25 MWh mindre per år varvid täckningsgraden minskar från ca 52% till ca 43% av totala energibehovet för varmvatten.

Socialstyrelsens målsättning för utbyggnad av sjukhem och vårdcentraler under 1980-talet är ca 2000 nya platser per år. Om dessa planer fullföljs innebär detta att dessa nybyggnader kommer att förbruka ca 0,1 TWh/år för varmvattenberedning år 1990. Energibesparingen vid installation av solvärmesystem i dessa byggnader skulle uppgå till 0,04-0,06 TWh/år.

Med hänsyn till den stora energibesparingspotential dessa anläggningar utgör föreslås att experimentanläggningen utförs så att projektet kan fortsätta med en praktisk utvärdering varvid värdefulla erfarenheter erhålls för framtida solvärmeinstallationer i den aktuella byggnadskategorin. Kostnaderna förutsätts härvid kunna täckas med lån och bidrag.

LITTERATUR

- 1 Abrahamsson M, Abrahamsson T, Ankargren S
Solvärt tappvatten till sjukhem. Förstudie i Mölnlycke och Ytterby. R28:1980
Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm 1980 (23 s).
- 2 Andersson M, Lindén A, Sjöblom G
Energisparprojekt Märsta sjukhus, Lägesbeskrivning juni 1979.
R122:1979
Staten Råd för Byggnadsforskning, Stockholm 1979 (77s).
- 3 Berndtsson L, Lindgren S
Solvärmesystem för tappvarmvatten. R75:1977
Statens Råd för Byggnadsforskning. Stockholm 1977, (84 s).
- 4 Berndtsson L, Lindgren S
Solvärmesystem för tappvarmvatten i flerbostadshus. Förstudie till experimentbygge. Etapp 2. R118:1979
Statens Råd för Byggnadsforskning. Stockholm 1979 (51 s).
- 5 Berndtsson L, Nylund J, Udd B, Åberg M
Solvärmestillförsel till fjärrvärmenät. R91:1979
Statens Råd för Byggnadsforskning. Stockholm 1979 (22 s).
- 6 Carlsson B, Stymne H, Wettermark G
Lagring av värme. En översikt över metoder och möjligheter.
R70:1978
Statens Råd för Byggnadsforskning. Stockholm 1979 (155 s).
- 7 Isaksson P, Lönn S, Möller I B, Öfverholm E
Solvärmesystem för sommarbruk. VVS informationsskrift
1976:1, 63 s, Stockholm.
- 8 Lindblad H, Nylund J
Energiåtervinning från spillvatten i sjukvårdsbyggnader,
Etapp 1, Fältmätningar. R22:1980
Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm 1980 (56 s).
- 9 Peterson F, Wettermark C
Solenergiboken
Stockholm 1977 (120 s).
- 10 Peterson F, Ringblom L
Varmvattenberedning med hjälp av solenergi - förutsättningar och kostnader. R83:1978
Statens Råd för Byggnadsforskning 1978 (172 s).

BILAGA 1

Beskrivning av beräkningsmetod för solvärmesystem

Allmänt

Wahlings Installationsutveckling AB har i anslutning till projektet utvecklat ett datorprogram för dimensionering av solvärmesystem för tappvarmvatten med mikrodator.

Om ortens temperaturer och soldata, solfångarnas prestanda samt värmebehovet timme för timme är registrerade i datorn kan erforderlig ackumulatorvolym beräknas för att få 100 % solenergitäckning den dimensionerande dagen. Härvid ansätts valfria solfångarytor.

För projektet har medelmolniga dagar i juni valts som dimensioneringsfall för solvärmeanläggningen.

Inmatning av erforderliga grunddata:
(Se även flödesschemat)

- Registrera ortens latitud, longitud, tidsmeridian, datum, sann medelsoltid, solfångarens orientering, solfångarens lutning.
- Ange solfångarytan, temperaturhöjning på solvärmevattnet i solfångaren, uteluftens medeltemperatur, uteluftens temperaturamplitud, tidpunkt för maximal utetemperatur.
- Ansätt en tankvolym.

Dimensionering av ackumulatortank med mikrodatorn:

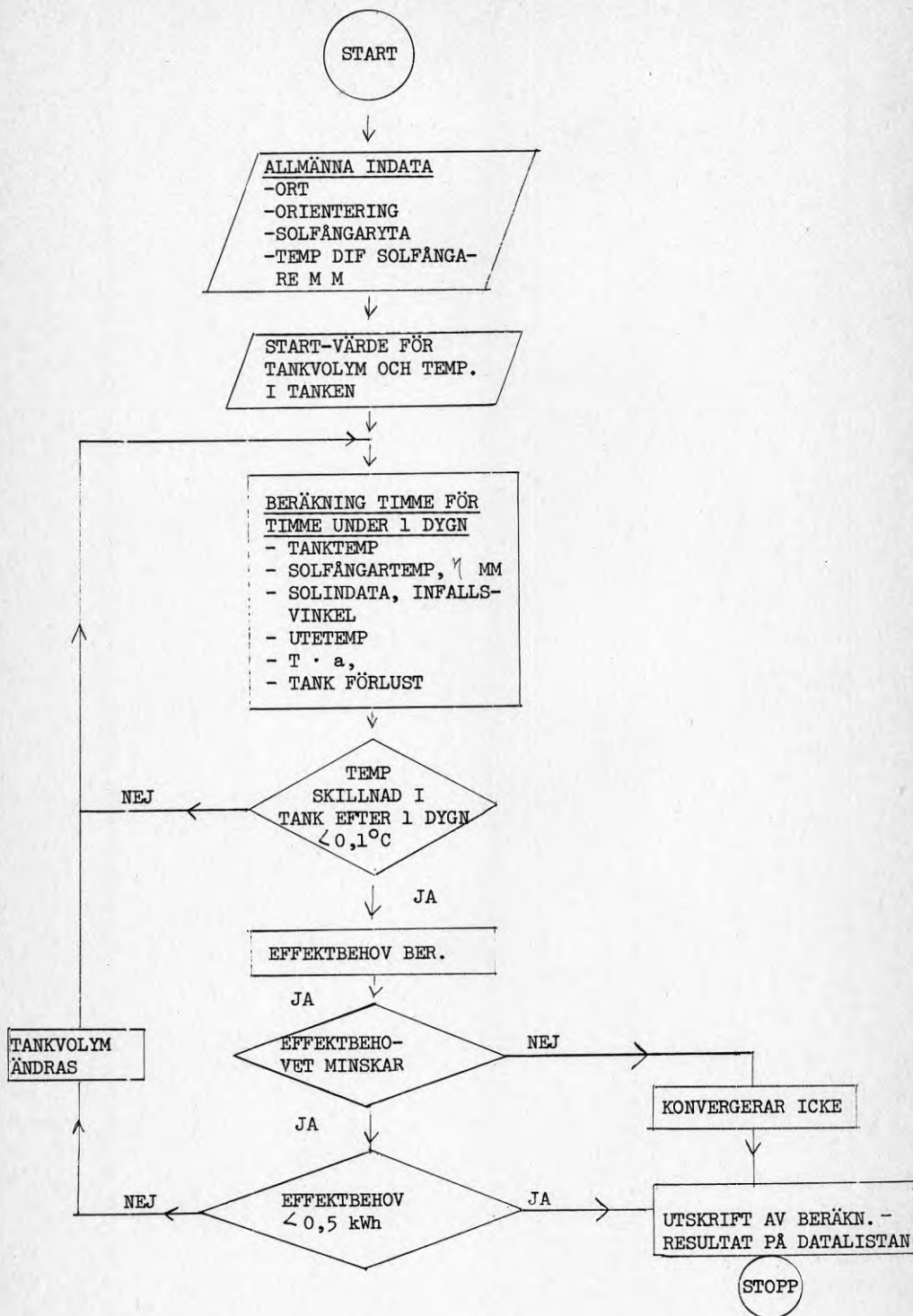
- Temperaturen i ackumulatortanken beräknas vid insvängt förlopp.
- Behovet av tillskottsenergi beräknas.
- Om behovet av tillskottsenergi är större än 0,5 kWh/dygn ändras tankvolymen och beräkningen görs om.
- Då villkoret för maximalt behov av tillskottsenergi är uppfyllt utskrivs på datalistan den beräknade ackumulatorvolymen och temperatur och energiflöden timme för timme.

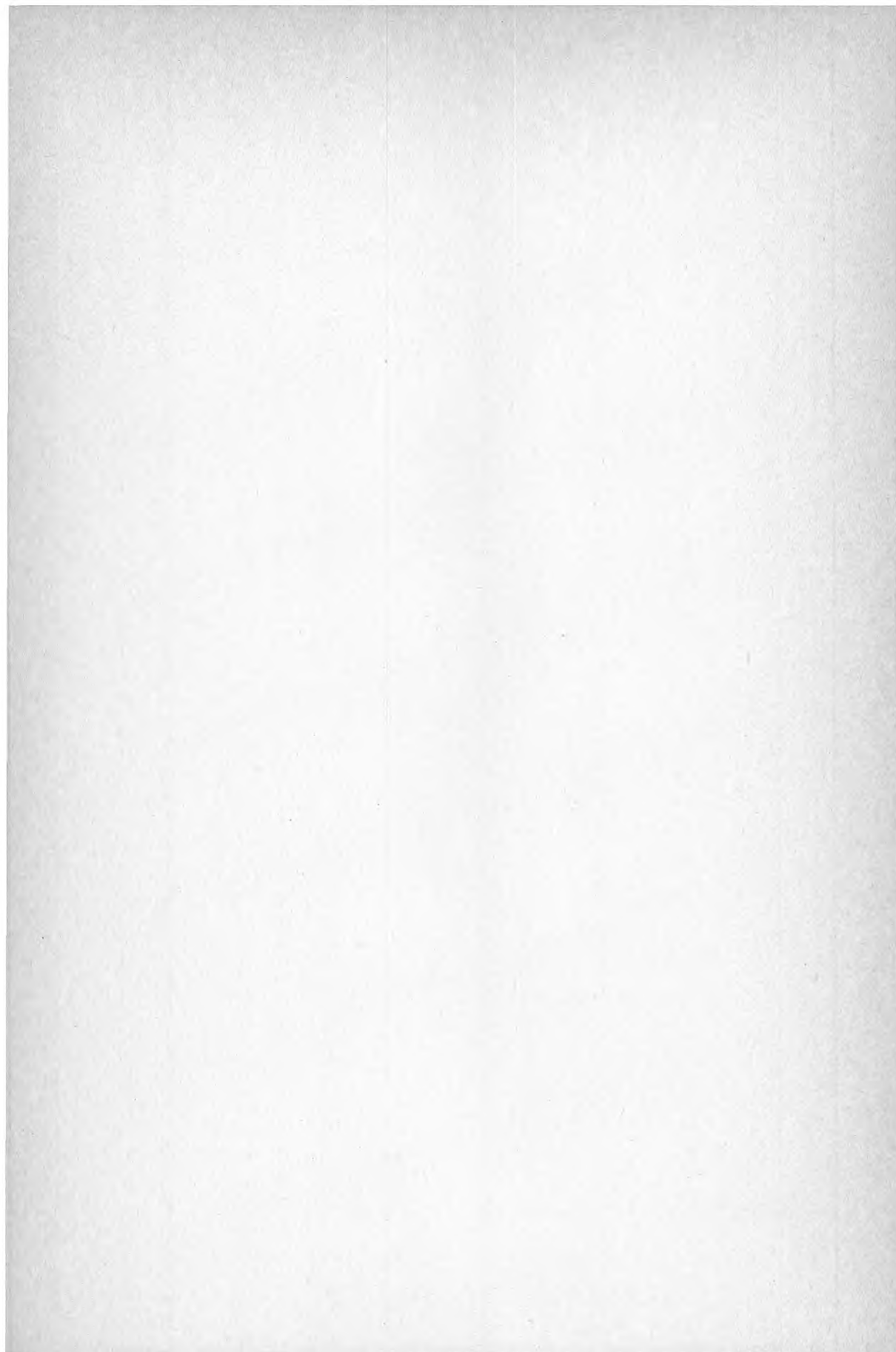
Då dimensioneringen av solfångaryta och ackumulator är klar kan solvärmemottagningen övriga delar av året beräknas efter inmatning av motsvarande soldata och temperaturer.

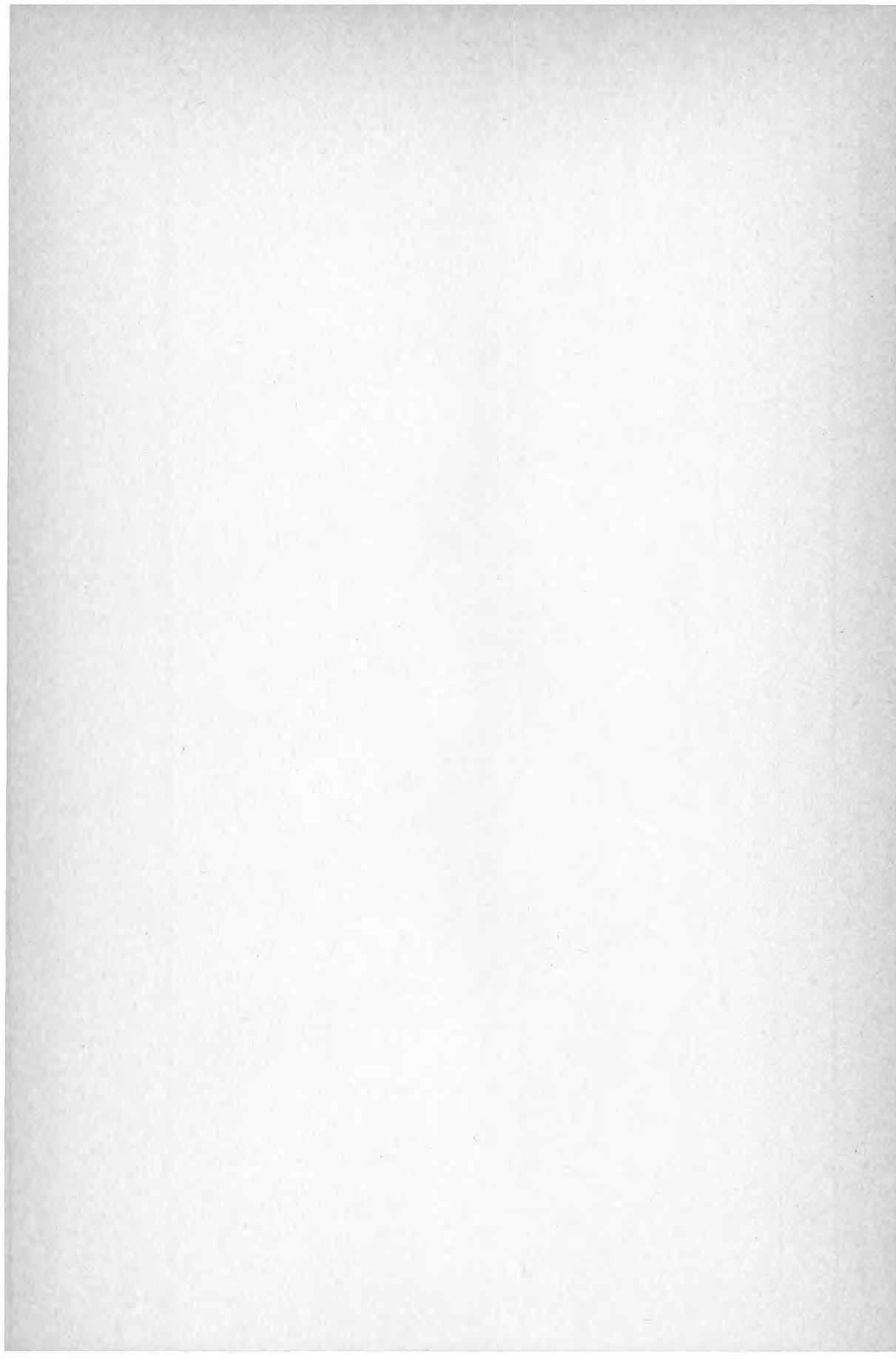
Övrigt

- Programmet tar hänsyn till skiktning genom att temperaturen i ackumulatorns utlopp beräknas ligga 10°C under dess medeltemperatur. Med hänsyn till ett temperaturfall över värmeväxlaren på ca 5°C väljs solfångarnas ingående vattentemperatur till 5°C under medeltemperaturen i ackumulatorm.
- Programmet beräknar solens infallsvinklar mot solfångarna liksom transmissions- och absorptionsfaktorerna som funktion av solens infallsvinklar.
- Programmet beräknar värmeförlusterna från ackumulatorm vid en omgivningstemperatur på $+20^{\circ}\text{C}$ och ett k-värde på $0,3 \text{ W/m}^2\text{C}$.
- Flödet i solfångarkretsen antas som en förenkling regleras så att temperaturhöjningen alltid blir 15°C i solfångarna.
- Programmet beräknar utetemperaturer för angiven medeltemperatur, amplitud och tidpunkt för maximal temperatur enligt en cosinus-kurva.

FLÖDESSCHEMA FÖR ACKUMULATORDIMENSIONERING







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780236-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings Installations-
utveckling AB, Danderyd.**

R140: 1980

ISBN 91-540-3374-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700240

Abonnemangsgrupp:

W. Installationer

Distribution:

**Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 20 kr exkl moms