



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

R26:1983

**Solvärme med värmepump
som komplement till en
oljeeldad värmecentral
i Göteborg**

**Rune Buresten
Ingemar Gunnarsson**

K
Adr

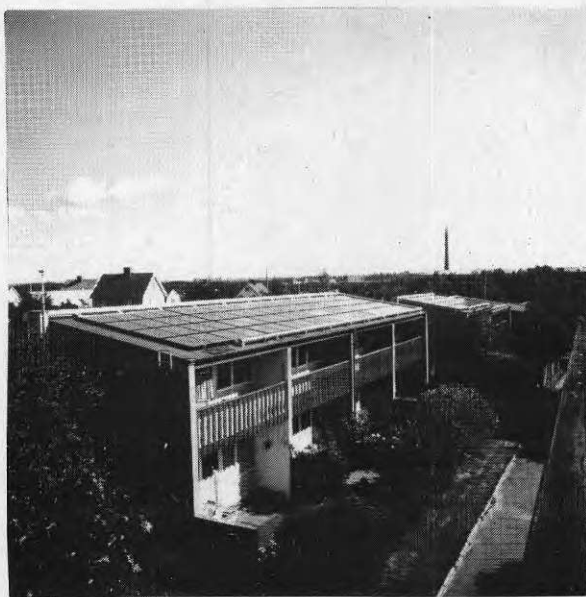
INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Ämne	Plac Ser

Byggforskningsrådet

R26:1983

SOLVÄRME MED VÄRMEPUMP SOM KOMPLEMENT TILL EN
OLJEELDAD VÄRMECENTRAL I GÖTEBORG

Rune Buresten
Ingemar Gunnarsson



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790520-9 och 800617-0 från Statens råd för
byggnadsforskning till AB Göteborgshem.

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

R26:1983

ISBN 91-540-3891-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

BETECKNINGAR	5
1 INLEDNING	6
2 SAMMANFATTNING	7
3 FUNKTION OCH DIMENSIONERING	10
3.1 Allmänt	10
3.2 Funktion	10
3.3 Solfångaryta - dimensionering	13
3.4 Ackumulatorvolym - dimensionering	15
3.5 Värmepump - dimensionering	15
4 TEKNISK UTFORMNING	17
4.1 Allmänt	17
4.2 Solfångarsystem	17
4.2.1 Kollektorer	17
4.2.2 Montage	18
4.2.3 Cirkulationssystem	19
4.2.4 Frysskyddsvätska	19
4.3 Solenergilager - ackumulator 1	20
4.4 Värmepump	20
4.5 Övriga komponenter	20
4.5.1 Värmeväxlare 1	20
4.5.2 Värmeväxlare 2	21
4.5.3 Tappvarmvattenackumulator	21
4.5.4 Pumpar	21
4.5.5 Reglersystem - funktion	22
5 DATORSIMULERING	25
5.1 Allmänt	25
5.2 TRNSYS - en kort beskrivning	25
5.2.1 Allmän uppbyggnad	25
5.2.2 Indata	26
5.3 Simuleringens syfte	28
5.4 Resultat och utvärdering	28
5.4.1 Allmänt	28
5.4.2 Temperaturförlopp	32
5.4.3 Nyttiggjord solvärme - försörjningsgrad	34

5.5	Erfarenheter av TRNSYS-programmet	37
6	UPPHANDLING - BYGGNATION	39
6.1	Projektets skeden	39
6.2	Anbudsunderlag	39
6.3	Upphandling	41
6.4	Byggnation	41
6.5	Kostnadssammanställning och ekonomisk utvärdering	43
6.5.1	Experimentbyggande	43
6.5.2	Kostnadssammanställning	44
6.5.3	Besparingspotential	44
6.5.4	Preliminära energikostnader	47
6.5.5	Återbetalningstid	49
7	MÄTNING OCH UTVÄRDERING	51
7.1	Organisation och arbetsfördelning	51
7.2	Utvärderingsprogrammets huvuddelar	51
7.3	Mätteknik	52
7.3.1	Mätsystem	52
7.3.2	Analoga mätstorheter	53
7.3.3	Digitala mätstorheter	53
7.3.4	Mätdatabehandling	54
7.3.5	Teoretiska beräkningar	56
7.4	Energiekonomisk utvärdering	57
7.4.1	Värderingsmodell	57
7.4.2	Kostnadsberäkningar	58
	REFERENSER	59

BILAGEFÖRTECKNING

- Bil 1 - Flödesschema
- Bil 2 - Tidplan entreprenad
- Bil 3 - Fotografier på den färdiga anläggningen

BETECKNINGAR

I utredningen användes följande beteckningar och förkortningar:

P	Effekt
S	Solenergi - solstrålning
Q	Vattenburen energi
E	Elenergi
F	Vätskeflöde
A	Area
V	Volym
I	Solintensitet
Cp	Värmekapacitet
t	Tid
T	Temperatur
ΔT	Temperaturdifferens
VVX	Värmeväxlare
VVB	Varmvattenberedare
P	Cirkulationspump
VP	Värmepump
FM	Flödesmätare
TM	Temperaturmätare
TG	Temperaturgivare
RC	Reglercentral
HR	Hjälpklä
RV	Reglerventil
EM	El-energimätare
RC	Reglercentral
HR	Hjälpklä
RV	Reglerventil

1 INLEDNING

Denna rapport utgör en fortsättning och komplettering av Byggeforskningsrådets rapport R53:1979 "Solvärme som komplement till oljeeldad värmecentral". Mot denna bakgrund bör rapporterna betraktas som en sammanhängande enhet. I den fortsatta redovisningen kommer därför upprepade hänvisningar att göras till ovan nämnda rapport. Denna kommer för korthets skull att benämnas "R53".

I R53 planerades en solvärmeanläggning med en total solfångaryta av 400 m² för ett av AB Göteborgshem förvaltad radhusområde beläget i stadsdelen Högsbo i Göteborg. Anläggningen var då avsedd att utnyttjas för både uppvärmning och tappvarmvattenberedning. De i R53 presenterade ekonomiska kalkylerna pekar emellertid på relativt höga investeringskostnader och därav följande långa återbetalningstider.

I denna rapport presenteras en omarbetad och nedbantad solvärmeanläggning, som har dimensionerats enbart för tappvarmvattenberedning under icke eldningsssäsong då värmeanläggningen normalt är avstängd. Avsikten har varit att om möjligt kunna minska återbetalningstiderna och därmed kunna förbättra lönsamheten.

I R53 och denna rapport har beräkningarna utförts med ett beräkningsprogram kallat SOLARCON avsett för programmerbara bordskalkylatorer. Sedan våren 1979 har institutionen för byggnadsteknik vid KTH i Stockholm tillgång till ett datorprogram kallat TRNSYS. I denna rapport redovisas även beräkningar gjorda med detta simuleringsprogram, som utförts i samarbete med institutionen för byggnadsteknik vid KTH i Stockholm. Avsikten är att detaljstudera solvärmeanläggningens funktion men också att testa TRNSYS och göra en jämförelse med SOLARCON.

2 SAMMANFATTNING

I Byggeforskningsrådets rapport R53:1979 "Solvärme som komplement till oljeeldad värmecentral" presenteras en planerad solvärmeanläggning i stadsdelen Högsbo, Göteborg, med en total solfångaryta av 400 m². Anläggningen var avsedd att utnyttjas både för uppvärmning under vissa delar av höst och vår och tappvarmvattenberedning. I denna rapport presenteras en omarbetad och nedbantad solvärmeanläggning, som har dimensionerats för enbart tappvarmvattenberedning under icke eldningssäsong (15/5-15/9) då värmeanläggningen normalt är avstängd. Anläggningen är dessutom avsedd att leverera basenergi för tappvarmvattenberedning under resten av året.

För att klara de uppställda kraven erfordras en solfångaryta av 200 m². Kollektorerna är huvudsakligen riktade mot söder med en lutning av 10°. Denna lutning är anpassad till de befintliga taken och har valts av framför allt estetiska skäl. Den erhållna solenergin ackumuleras i en väl isolerad vattentank med en nyttig volym av 20 m³. Ackumulatorn skall klara korttidslagring, dvs vid fulladdat tillstånd innehålla energi för något eller några dygns tappvarmvattenförbrukning.

För att solkollektorerna skall kunna arbeta med så hög verkningsgrad som möjligt eftersträvas låg temperaturnivå på värmebäraren (vattnet). Genom att utnyttja en värmepump med en kondensoreffekt av ca 70 kW kan även låga temperaturnivåer utnyttjas för tappvarmvattenberedning.

Den ovan skisserade anläggningen har testats med ett simuleringsprogram kallat TRNSYS, som finns tillgängligt vid Institutionen för Byggnadsteknik vid KTH i Stockholm. Vid simuleringen har bl a energiflöden, temperaturförlopp och drifttider studerats.

Erfarenheterna från användningen av TRNSYS är i stort sett positiva. Framför allt är TRNSYS mycket flexibelt för användning vid olika typer av solvärmesystem och vad det gäller möjligheter att studera olika intressanta variabler i systemet. Emellertid bör påpekas, att det krävs relativt omfattande förberedelser före "körning" och att det kan vara svårt att ta fram erforderliga indata för en meningsfull simulering.

Byggnationen skedde under våren 1981 med start i januari och slutbesiktning 810521. Anläggningen kunde efter några veckors inkörning tas i drift. Samtidigt startade mätningar för den kommande utvärderingen av anläggningens drift.

De slutliga kostnaderna för projektet fördelar sig mellan olika fack enligt följande tabell (prisnivå januari 1981).

Arbete och material	Kostnad inkl moms (kkr)	Kostnadsandel (%)
A. Byggnad inkl schaktning	153,5	16
B. Solfångarsystem inkl kollektorer och rörarbeten	297,7	37
C. Rörarbeten i apparatrum inkl VVB, VVX och reglerutrustning	210,8	22
D. Ackumulator 1 på plats	107,2	11
E. Värmepump på plats	95,9	10
F. Elarbeten	44,2	4
	965,7	100

Den höga investeringskostnaden kan delvis förklaras av de "normalt" förekommande fördyringarna vid experimentbyggande.

Anläggningens beräknade energiproduktion framgår av följande tabell:

	Totalt	Olja	Sol	E1 (VP)
Energiproduktion (MWh/år)	1 000*)	840	120	40
% av total energiproduktion	100	84	12	4

*) Beräknad med nuvarande oljeförbrukning per normalår samt en årsmedelverkningsgrad av 60 %

Den preliminära besparingen (oljebesparing - elkostnad) har beräknats till ca 40 000 kr/år.

Mätningar av energiflöden, temperaturer, solinstrålning m m påbörjades i samband med driftstarten juni 1981. Efter mätperiodens avslutande (1 - 2 år) skall en noggrann utvärdering av resultaten göras av Institutionen för installationsteknik vid CTH. Utvärderingen omfattar en energiteknisk och en energiekonomisk del, vilka kommer att presenteras i rapportform.

3 FUNKTION OCH DIMENSIONERING

3.1 Allmänt

I rapport R53 dras slutsatsen, att man med en nedbantad solvärmeanläggning enbart avsedd för tappvarmvattenberedning skulle kunna minska återbetalningstiden och därmed få en bättre lönsamhet i projektet. Med detta som utgångspunkt har i samråd mellan BFR och Göteborgshem en omarbetning av den planerade anläggningen utförts så att den både funktionsmässigt och dimensionsmässigt anpassats till att klara tappvarmvattenberedningen under icke eldningssäsong.

3.2 Funktion

Anläggningens funktionsprincip och huvudkomponenter framgår av energiflödesdiagrammet i fig 1 och följande kortfattade beskrivning:

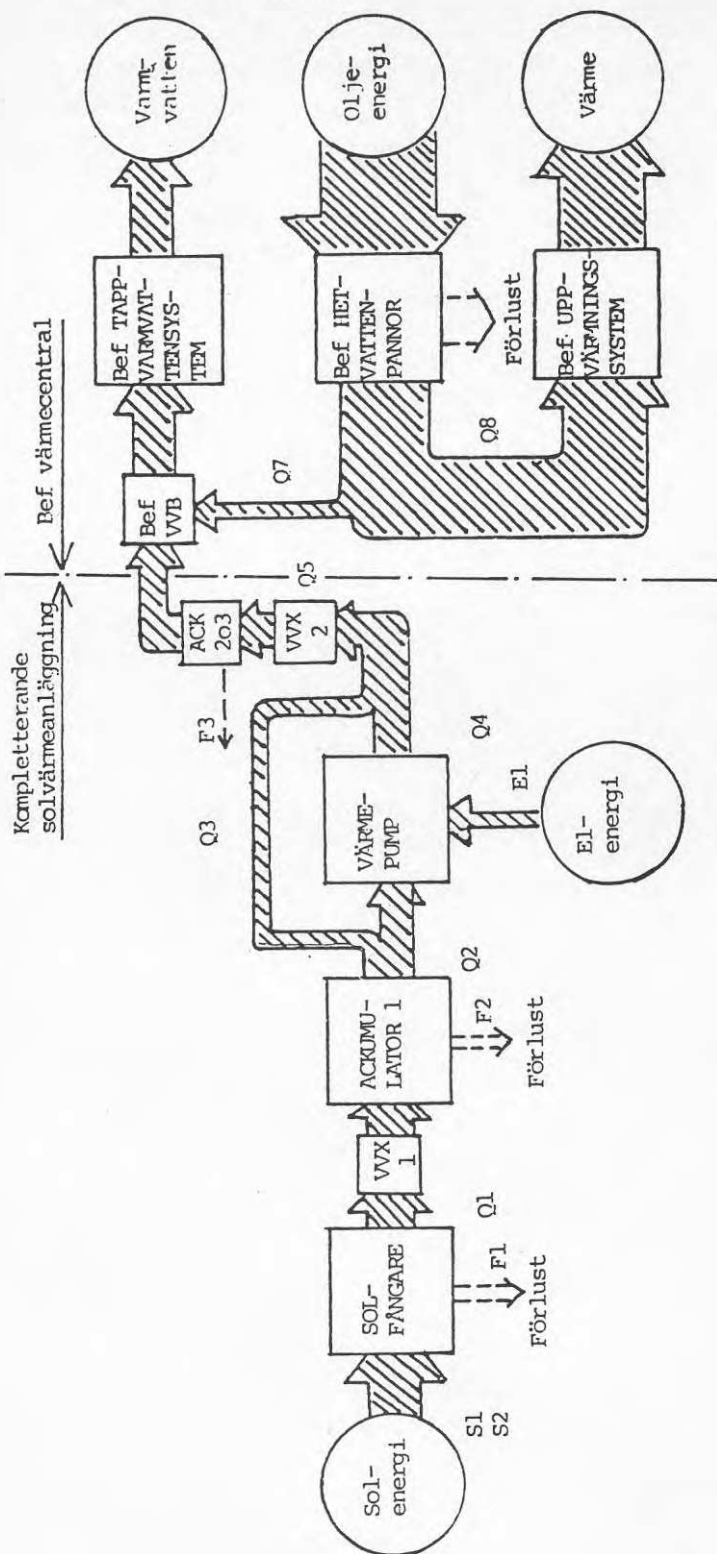
- Glykolblandat vatten cirkuleras i ett slutet system genom ett antal vattenkylda, enkelglasade solfångare. Efter temperaturstegring i solfångarna återförs det till VVX1 där värme avges.
- Solenergin lagras i en isolerad vattentank (ackumulatortank 1) av stål genom att kallt vatten från dess botten kyler VVX1 och återförs i uppvärmt tillstånd till tanken. Ackumulatortankens uppgift är att lagra energi från soliga till mulna dagar.
- Vid tappvarmvattenbehov tas lagrad solenergi från ackumulator 1 för varmvattenberedning i VVX2. Detta kan ske på två i princip olika sätt.

Alt 1 - Om temperaturen i ackumulator 1 är tillräckligt hög tas vatten direkt från ackumulatortorns topp till VVX2 för att i avkylt tillstånd återföras.

Alt 2 - Om temperaturen ej är tillräcklig tas vatten från ackumulatorn till förångaren på en vatten/vatten-värmepump. Kondensorsidan producerar värme för tappvarmvattenberedning i VVX2.

- Tappvarmvatten lagras i varmvattenberedare av konventionell typ för att klara behovet vid störtlappning.

Figur 1 - Energiflödesdiagram för Tolvskillingsgatans värmecentral inklusive kompletterande sol- 12
värmeanläggning



3.3 Solfångaryta - dimensionering

Solfångarytan måste i detta fall anpassas till den prognostiserade tappvarmvattenförbrukningen för området. Då inga mätningar avseende tappvarmvattenförbrukningens varaktighet har kunnat göras för området har förbrukningen efter litteraturstudier (se BFR-rapport R83-1978) fastställts till 4 500 kWh/lgh och år, vilket för vårt område (53 lgh) motsvarar ca 20 000 kWh/mån.

Den i R53 gjorda beräkningen av erforderlig solfångare gjordes med för markmonterade solfångare med en lutning av 45° och riktade mot söder. Denna lösning har ifrågasatts av bl a följande skäl:

- estetiska skäl
- risk för åverkan
- alltför stora markområden erfordras (kollektorerna får ej skugga varandra) med ett utbrett distributionssystem som följd

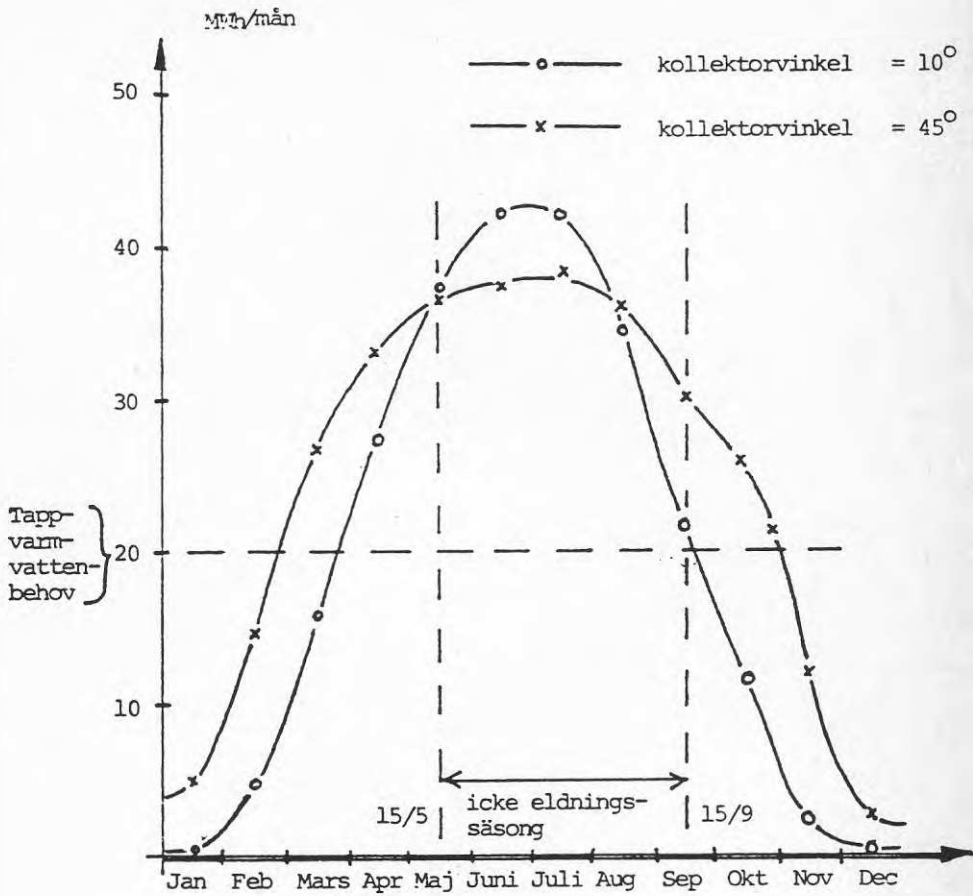
Ett ur dessa aspekter godtagbart alternativ var att placera solfångarna utan stativ direkt på taken till radhus och panncentral. Detta innebär att solfångarna får en lutning av 10° med huvuddelen riktad mot söder.

Med de ovan angivna förutsättningarna har databeräkningar utförts, med SOLARCON-programmet, av den under ett normalår nyttiggjorda solenergin vid lågtemperaturdrift (15°C).

I fig 2 åskådliggörs den nyttiggjorda energin med 200 m² solfångare vid både 10 och 45 graders lutning.

Lutningen 10° ger som synes hög solinstrålning under sommarmånaderna medan övriga delar av året, med låg solvinkel, ger litet bidrag.

Figur 2 - Nyttiggjord solenergi vid olika kollektorvinklar efter beräkningar utförda med SOLARCON beräkningsprogram



Med målsättningen att klara tappvarmvattenberedningen under eldningssäsongen (15 maj - 15 september) med solvärme erfordras alltså enligt fig 2 en solfångaryta av ca 200 m². Observera att eldningssäsongen är förskjuten ca en månad i förhållande till soltillgången, som fördelar sig symmetriskt runt månadsskiftet juni - juli.

3.4 Ackumulatorvolym - dimensionering

Målsättningen är att i ackumulatorn skall kunna lagra solvärme för 2 - 3 dygns tappvarmvattenförbrukning, vilket erfarenhetsmässigt är tillräckligt med hänsyn till klimatförhållandena i Göteborg. För att uppfylla detta krav utnyttjas en vattenfylld ståltank av volymen 20 m³. Med en temperaturdifferens mellan +80°C och +5°C blir den tillgängliga ackumulatorkapaciteten:

$$V \times C_p \times \Delta T = 20\ 000\ \text{l} \times 1,2 \times 10^3\ \text{kWh/l } ^\circ\text{C} \times 75^\circ\text{C} \\ = 1\ 800\ \text{kWh}$$

Detta innebär, att en fulladdad ackumulatortank innehåller tillräckligt med energi för tre dagars förbrukning.

3.5 Värmepump - dimensionering

Under ett medeldygn förbrukas $\frac{20\ 000}{30}$ kWh/dygn = 650 kWh/dygn för tappvarmvattenberedning.

Värmepumpen skall klara att leverera all erforderlig energimängd även under dygn med mycket hög förbrukning. Då kan förbrukningen förväntas stiga till ca 1 000 kWh/dygn.

En värmepump med en värmeeffekt (kondensoreffekt) av ca 70 kW har valts.

Värmepumpens effekt kunde ej exakt anpassas till dimensioneringsförutsättningarna, då lämplig storlek ej fanns tillgänglig, vilket har medfört en viss överdimensionering.

$$t \times P = 20 \text{ h/dygn} \times 70 \text{ kW} = 1\,300 \text{ kWh} > 1\,000 \text{ kWh}$$

Med andra ord klarar värmepumpen även tillfälliga förbrukningstoppar.

4 TEKNISK UTFORMNING

4.1 Allmänt

Val av komponenter och övrig teknisk utformning har skett efter de riktlinjer som redovisas i R53. Vissa förändringar och kompletteringar har emellertid gjorts beträffande anläggningens storlek och funktion.

4.2 Solfångarsystem

4.2.1 Kollektorer

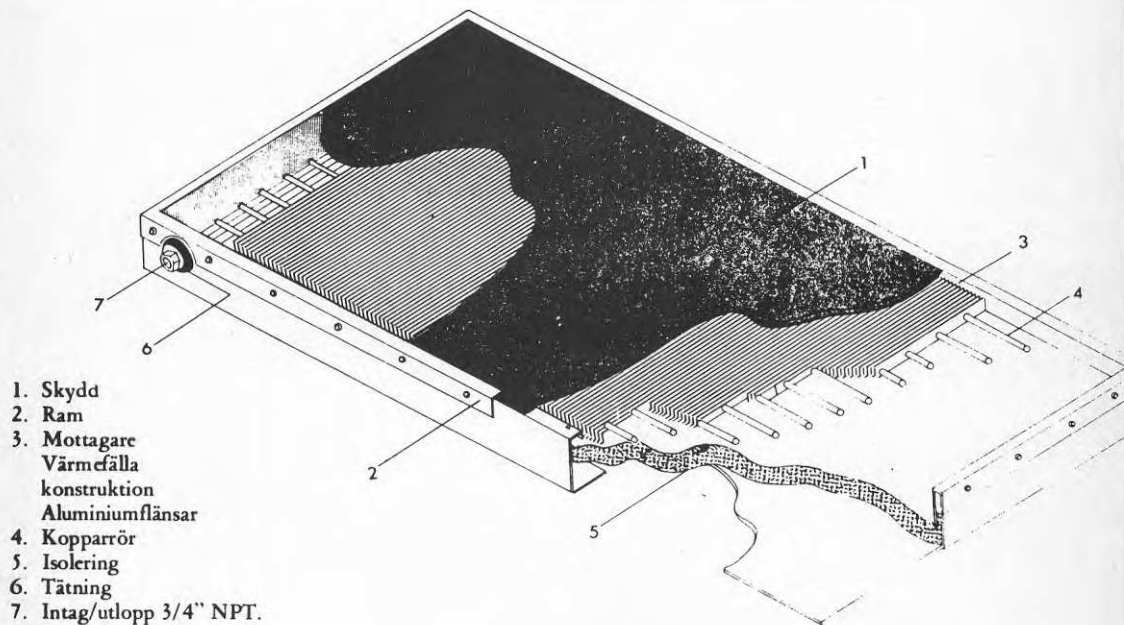
Anläggningen försörjs med solenergi från sammanlagt 108 st solfångare (kollektorer) om vardera $1,86 \text{ m}^2$ effektiv yta, vilket tillsammans ger en yta av ca 200 m^2 .

Kollektorerna är av fabrikat Lordan. Utseende och uppbyggnad framgår av fig 3. Konstruktionen kan beskrivas enligt följande:

1. Höljet är i lackerad varmgalvad stålplåt
2. Glasningen består av en enkelskiva av 3 mm glas
3. Absorbatorn består av aluminiumflänsar med genomgående rör av koppar
4. Isoleringen består av isosyanat (ca 22 mm tjock). På båda sidor är isoleringen täckt av en reflekterande aluminiumfolie.

Figur 3

LORDAN HEAT TRAP[®] ABSORBER



4.2.2 Montage

Solkollektorerna placeras på byggnadernas tak (se avsnitt 3.2). För detta ändamål utnyttjas panncentra-

len och två närliggande radhus. Samtliga hus har ett högt och fritt läge, varför avskärmningen av solen blir försumbar.

Av estetiska och praktiska skäl måste kollektorerna monteras med samma lutning som taket. Radhusens tak lutar med 10° rakt mot söder medan panncentralens lutar med 10° rakt mot väster. Denna mindre lutning innebär att solenergileveransen minskas, framför allt under höst och vår (se fig 2). Eftersom anläggningen först och främst skall leverera solenergi under sommarmånaderna får den minskade vinkeln emellertid liten betydelse.

De berörda hustaken är av råspont belagda med takpapp. För att kunna fördela lasten och undvika läckage genom pappen har stor omsorg lagts vid utförandet av fästordningarna.

4.2.3 Cirkulationssystem

Kollektorernas ansluts med en kulvert i mark mellan radhus och solvärmecentral. I övrigt är ledningarna förlagda på tak med isolering och regnvattentät plåtbeklädnad. Kollektorerna ansluts gruppvis med fyra seriekopplade kollektorer i varje grupp. De olika grupperna är parallellkopplade. Strypventilerna i cirkulationssystemet möjliggör efter inreglering en jämn fördelning av flödet mellan de olika kollektorerna.

4.2.4 Frysskyddsvätska

I solkollektorkretsen utnyttjas en blandning av 35 volymprocent etylenglykol och 65 volymprocent vatten med följande egenskaper:

- fryspunkt	-21°C
- värmekapacitet	3,56 kJ/kg °C
- specifik vikt	1,045 kg/dm ³

Beträffande fryspunkten har man under åtminstone 5 graders ytterligare temperatursänkning en begränsad utfrysning av fast substans i en fortfarande vätskeformig huvuddel, varför sprängverkan uppstår vid ännu lägre temperatur.

Under längre perioders stagnation i systemet kan en viss separation av glykol- och vattenfaserna uppkomma med ökad frysrisk som följd. Av denna anledning har en utrustning installerats för tvångscirkulation av glykolvattnet en gång per dygn oavsett om anläggningen varit i drift eller ej.

4.3 Solenergilager - ackumulator 1

Akkumulator 1 är en ståltank med 200 mm isolering. Den nyttiga volymen är ca 20 m³ (höjd 3 m, diameter 3 m).

4.4 Värmepump

Värmepumpen är en av STAL Refrigerations standard aggregat av typ VDV-4 med köldmedium freon R12. Aggregatet är uppbyggt med kondensator, förångare och kompressor i en kompakt enhet. Effektreglering sker i tre effektsteg. Aggregatet har en kondensoreffekt av 70 kW vid kondenseringstemperaturen 60°C och förångningstemperaturen 10°C. Medelvärmefaktorn har beräknats till ca 3,5.

4.5 Övriga komponenter

4.5.1 Värmeväxlare 1

VVX1 är en plattvärmeväxlare av AGA-CTC:s tillverkning typ UC-216J-36, dvs den har 36 plattor. Den är dimensionerad för en överförbar effekt av ca 70 kW vid temperaturerna 15/7°C på primär- och 5/13°C på sekundärsidan (se fig 3).

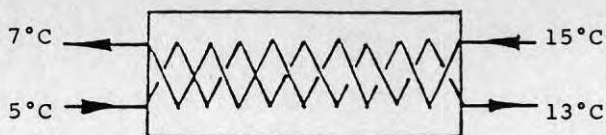


Fig 4 - Dimensionerande temperaturer VWX1

4.5.2 Värmeväxlare nr 2

VWX2, som utnyttjas för beredning av tappvarmvatten, är en tubvärmeväxlare av AGA-CTC:s tillverkning typ SKR28-1,5 VS. Den är dimensionerad för en överförbar effekt av ca 85 kW vid temperaturerna 55/40°C på primärsidan (manteln) och 5/45°C på sekundärsidan (tubsidan).

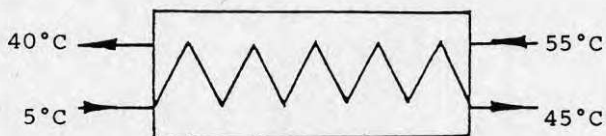


Fig 5 - Dimensionerande temperaturer VWX2

4.5.3 Tappvattenackumulator

Varmvattnet lagras i två ackumulatorer, nr 2 och 3. Dessa utgöres av två förrådstankar av standardtyp AGA-CTC 17s-2500.

4.5.4 Pumpar

I tabell 1 nedan framgår data för de cirkulationspumpar som utnyttjas i anläggningen.

Tabell 1 - pumpdata

Pump	Flödeskrets	Flöde l/s	Trycksteg- ring (kPa)
P1	Solfångarkrets	2,8	150
P2	Akkumulatorkrets	2,8	40
P3	Förångarkrets	2,0	30
P4	Kondensorkrets	1,4	50
P5	Akkumulatorkrets 2	0,5	30
P6	Frostkyddscirkula- tion/påfyllning	0,5/2	100/30

4.5.5 Reglersystem - funktion

Anläggningen styrs och regleras av ett antal självständigt arbetande reglercentraler, som är uppbyggda med konventionell elektronik. Nedan följer funktionsbeskrivning för de olika systemen.

Solfångarkrets

Startvillkor:

P1 startar om $t_3 + \Delta t_a > t_1$ eller $t_5 + \Delta t_a > t_1$

MV1 öppnar om $t_3 + \Delta t_a > t_1$

MV2 öppnar om $t_5 + \Delta t_a > t_2$

Driftvillkor (inträder när starttiden ca 1,5 min gått till ända):

P1 går om $t_6 + \Delta t_b > t_2$ eller $t_4 + \Delta t_b > t_2$

MV1 förblir öppen om $t_4 + \Delta t_b > t_2$

MV2 förblir öppen om $t_6 + \Delta t_b > t_2$

Övriga villkor:

P2 startar alltid ca 20 s efter P1 startar
P2 stannar alltid när P1 stannar

Temperaturdifferensen Δt_a och Δt_b kan injusteras
manuellt till ett för anläggningen optimalt värde.

Värmeuttag ur ackumulator 1

Den i ackumulatortanken tillgängliga energin utnyttjas
för beredning av tappvarmvatten.

Det till VVX2 levererade vattnets temperatur konstant-
hålles vid ca 55°C. Följande två i princip olika
driftfall kan särskiljas:

- a) Då temperaturen vid temperaturgivare TG3 (ackumula-
tortankens utlopp) är större än vid 55°C (retur
från VVX2) styres ventilmotor RV1 via temperatur-
givare TG5 och reglercentral RC2 till en utgående
temperatur av 55°C.
- b) När temperaturen vid TG3 är mindre än 55°C och
TG10 kallar på värme omkopplas ventilmotor RV1 via
reglercentral RC3 och hjälprelä HR och stänger för
intag från ackumulatortanken (RV1). Samtidigt
startar värmepumpens kompressor och cirkulations-
pump P3. I detta fall levereras all energi via en
temperaturstegring i värmepumpen. Temperaturgivare
TG6 styr framledningstemperaturen till värmepum-
pens förångare via reglercentral RC4 och ventilmot-
or RV2 till max 30°C.

Varmvattenberedning

Akkumulatorer 2 och 3 laddas genom att pump P5 cirku-
lerar vattnet genom VVX2. P5 styrs för konstanthåll-

ning ackumulatortemperaturen med en givare TG10, som placeras i ackumulatortankens botten.

Det av VVX2 värmda varmvattnet leds via den befintliga varmvattenberedaren, där det vid behov även eftervärmas. Temperaturgivare TG9 styr via reglercentral RC6 och ventilmotorerna RV6 och RV3 för att hålla inställd temperatur. Detta åstadkommes genom att i första hand reglera RV5 att ta varmvatten via befintlig VVB. Om temperaturen ej kan hållas övergår regleringen till RV6, som då börjar att öppna. Samtidigt som RV6 lämnar ändläget startas den panna, som valts med pannautomatiken.

5 DATORSIMULERING

5.1 Allmänt

Datorprogram för simulering av solvärmesystem är ett kraftfullt verktyg vid projektering och utvärdering av solvärmesystem. Det är dessutom ett värdefullt hjälpmedel för att öka förståelsen och känslan för systemens dynamiska funktion.

Bristen på lättillgängliga simuleringsprogram har utgjort ett stort problem för många projektgrupper och alldeles för få datorberäkningar har utförts inom solvärmeområdet i Sverige.

TRNSYS är namnet på en datormodell för simulering av solhus. Den har utvecklats vid The Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA, och finns sedan våren 1979 vid institutionen för Byggnadsteknik, KTH i Stockholm.

5.2 TRNSYS - en kort beskrivning

5.2.1 Allmän uppbyggnad

TRNSYS-modellen består egentligen av flera mindre modeller, som var och en simulerar funktionen hos någon eller några komponenter i en solvärmearläggning. Modellerade komponenter är t ex plan solfångare, värmewäxlare, skiktad energilagringstank m m.

Det solenergisystem, som skall simuleras, definieras av de ingående komponenterna. Mängden olika komponenter och möjligheten att använda flera komponenter av samma sort gör modellen mycket flexibel. Allt från ett enkelt system med t ex en solfångare, en tank och en pump till ett helt hus med ett komplicerat värmesystem kan simuleras.

Den enskilda komponenten definieras av tre sorters värden, nämligen parameter, "input"- och "outputvärden". Parametervärden är tidsoberoende värden som t ex solfångararea, tankvolym, densiteter osv. "Inputvärden" varierar med tiden, t ex flöden och temperaturer.

"Outputvärdena" utgör resultatet av beräkningarna i varje komponent (submodell) vid olika tidpunkter.

Hela systemet knyts sedan ihop genom att ett "outputvärde" från en komponent utgör "inputvärde" till en annan komponent. Information från en komponent (t ex flödet genom en pump) förs därigenom vidare till nästa komponent (t ex flödet genom solfångaren) på samma sätt som information transporteras i det fysiska systemets ledningar.

Simuleringen utföres genom att ekvationerna för respektive komponent löses i tur och ordning vid ett stort antal på varandra följande tidpunkter. Tidsstegets längd (tidsintervall mellan varje tidpunkt) väljes m h t typ av system så att snabb konvergens och godtagbar noggrannhet kan uppnås samtidigt som beräkningarnas omfattning kan hållas nere.

5.2.2 Indata

Indata till simuleringsprogrammet kan indelas i tre typer:

1. Meteorologiska data
2. Förbrukningsdata
3. Komponenternas parametervärden

Vid körning på institutionen för Byggnadsteknik användes de väderdata som SMHI uppmätte 1971 vid stationerna i Stockholm, Malmö och Umeå. Meteorologiska data finns för varje timma under hela året.

Förbrukningsdata bygger på en förbrukningsprofil för tappvarmvatten som visar tappvarmvattenförbrukningen under en normaldag. Denna normaldag gäller samtliga dagar under året utan hänsyn till de årliga variationerna. Den teoretiskt framtagna förbrukningsprofilen, som framgår av fig 5 nedan, har hämtats från Byggsforskningsrapport R83:1978 och anpassats till förbrukningen vid Tolvskillingsgatan.

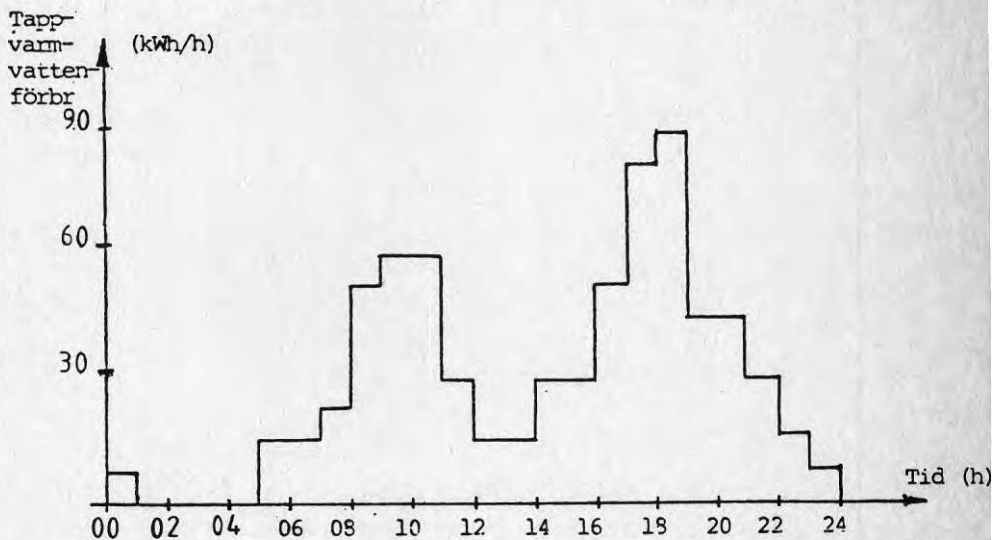


Fig 6 - Teoretisk förbrukningsprofil för tappvarmvatten

Komponenternas prestanda definieras genom parametervärden, som ingår i indata till programmet. Som exempel kan nämnas, att en solkollektor definieras av arean, geometrisk-effektfaktor, vätskans specifika värme, absorbatorns absorptionsfaktor, energiförlustfaktor samt glasningens transmissionsfaktor.

Det är nödvändigt att känna till parametervärdena för respektive komponent ganska väl för att erhålla ett noggrant resultat vid simuleringen.

5.3 Simuleringens syfte

Syftet med simuleringen av solvärmeanläggningen på Högsbohöjd är framför allt följande:

- a) att studera energiflöden, temperaturer och drifttider för att få ett grepp om solvärmesystemets dynamiska funktion
- b) att studera temperaturförlopp i ackumuleringstankarna 1, 2 och 3 under olika perioder av året
- c) att summera energiflöden och bestämma huruvida den planerade anläggningen är rätt dimensionerad och kan producera tillräckligt med energi för tappvarmvattenproduktion under icke eldnings-säsong. Dessutom skall det erhållna resultatet jämföras med tidigare gjorda beräkningar med beräkningsprogrammet för bordskalkylator (SOLARCON)
- d) att få erfarenhet av TRNSYS-programmet för att kunna bedöma dess användbarhet vid simulering av detta och liknande system

5.4 Resultat och utvärdering

5.4.1 Allmänt

Simuleringen har utförts med ett tidsteg av 15 minuter (0,25 h) för beräkningarna. Beräkningarna avsåg att gälla ett helt år från 1 januari till 31 december. Emellertid avbröts simuleringen under mitten av september på grund av begränsning i tillgänglig beräkningstid. Det erhållna materialet bedömes emellertid tillräckligt för att uppfylla de med simuleringen uppställda syftena.

Resultatet av de gjorda beräkningarna redovisas nedan i tabell- och diagramform.

Beteckningar för de i tabell 2 angivna energiflödena är hämtade från fig 1 (avsnitt 3.2).

	Q ₁ (kWh/mån)	Q ₂ (kWh/mån)	F ₁ (kWh/mån)	Q ₂ -Q ₃ (kWh/mån)	E ₁ (kWh/mån)	Q ₅ (kWh/mån)	Q ₇ (kWh/mån)	F ₂ (kWh/mån)	t _{vp} (h)	T ₁₃ (°C)	T ₁₁ (°C)	T _{ute} (°C)
Jan	1 120	1 000	- 40	1 010	490	1 500	15 500	- 20	23	8,7	10,0	- 0,9
Febr	1 950	1 910	- 30	1 920	940	2 860	12 390	10	44	9,0	10,0	- 1,4
Mars	5 000	4 980	- 40	4 990	2 330	7 310	9 740	70	110	8,7	10,3	- 2,1
April	10 260	10 350	- 10	10 450	4 420	14 870	3 020	190	203	11,8	19,1	3,4
Maj	14 130	13 180	100	13 500	5 190	18 690	450	260	231	26,8	33,3	11,5
Juni	13 690	13 690	130	13 390	5 060	18 450	0	260	224	31,4	38,9	15,0
Juli	14 330	14 040	130	13 780	5 230	19 010	20	280	232	30,9	38,1	18,0
Aug	13 180	13 520	90	14 120	5 440	19 560	30	280	243	24,7	30,8	16,7

Beteckningar:

- Q₁ Energiflöde från solkollektorer till ackumulator-
tortank 1
- Q₂ Energiflöde från ackumulator tank 1
- F₂ Energiförlust från ackumulator tank 1
- Q₂-Q₃ Energiflöde till värmepump
- E₁ El-energi till värmepump
- Q₅ Energiflöde från värmepump (kondensorvärme)

- Q₇ Tillfatsenergi från bef panncentral
- F₃ Energiförlust från ackumulator tankar 2 och 3
- t_{vp} Drifttid för värmepump
- T₁₃ Medeltemperatur i botten av ackumulator 1
- T₁₁ Medeltemperatur i toppen av ackumulator 1
- T_{ute} Medeltemperatur utomhus (Stockholm 1971)

Tabell 2 - Energiflöden, medeltemperaturer och drift-
tid enligt simulering med TRNSYS

Följande kommentarer kan göras till tabell 2:

- Den tillgodogjorda mängden solenergi (Q_7) är under januari mycket obetydlig, ca 1 000 kWh, men under sommarmånaderna juni, juli och augusti ligger den runt 14 000 kWh, vilket visar sig vara tillräckligt.
- Q_2 överensstämmer väl med Q_1 . Variationerna kan hänföras till vattentankens ackumuleringskapacitet.
- Förlusterna ur ackumulator 1 (F_2) är försumbara till övriga energiflöden. (Negativa värden betyder värmestillskott.)
- Största delen av all varmvattenberedning sker via värmepumpen ty $(Q_2 - Q_3) \simeq Q_2$.
- Elenergiförbrukningen för kompressorn (E_1) varierar från 490 till 5 440 kWh/mån. Samtidigt som det från värmepumpen levererade kondensorvärmets (Q_5) varierar mellan 1 500 och 19 560 kWh/mån. Medelvärmefaktorn under perioden blir $E_1/Q = 3,5$
- Tillsatsenergin (Q_7) varierar från 15 550 kWh under januari till 0 i juni. Under slutet av maj och under juni, juli samt augusti är tillsatsenergin försumbar.
- Förluster från varmvattenackumulatorerna (F_3) är större än från ackumulator 1 men trots allt försumbara.
- T_{13} och T_{11} är lägre än avsett. Temperaturen i tanken går sällan över 55°C , vilket också återspeglas i långa drifttider för värmepumpen under sommartid.

5.4.2 Temperaturförlopp

I samband med projekteringen har vissa temperaturnivåer förutsatts i solvärmesystemet. Speciellt intressanta är de temperaturer, som kan uppnås i systemets ackumulatortankar och hur dessa varierar under året. För att avgöra hur pass realistiska våra antaganden varit har vi i samband med simuleringen speciellt studerat temperaturvariationerna i ackumulatortankarna under olika tider av året.

Fig 7 anger temperaturvariationerna i ackumulatortank 1 för både toppen och botten under första veckan i juli då solvärmertilgången kan förväntas vara som störst.

Följande kommentarer kan bl a göras till diagrammet:

- Temperaturerna följer dygnsrytmen ganska exakt.
- Temperaturdifferensen mellan T11 (toppen) och T13 (botten) varierar kraftigt från max 20°C (nattetid) till min ca 2°C (dagtid). Detta beror på att nattetid är både soltillgång och varmvattenförbrukning nära noll. Då stannar cirkulationspumparna och en temperaturgradient kan bildas. Dagtid pågår en relativt kraftig cirkulation, varför skiktningen blir liten.
- Trots att den studerade veckan borde vara en av de solrikaste under året är temperaturen i ackumulatorn ganska låg och överstiger endast vid två tillfällen 55°C. Detta skulle medföra långa drifttider för värmepumpen (se ovan) och mindre lagringskapacitet för ackumulatorn än beräknat. Emellertid kan man ifrågasätta om den simulerade förbrukningen överensstämmer med verkligheten. Det är troligt att den verkliga tappvarmvattenförbrukningen ligger något lägre under semestertid, varför högre temperaturnivåer skulle kunna uppnås.

Figur 7- Temperaturvariationer i akkumulatortank enligt TRNSYS-simulering

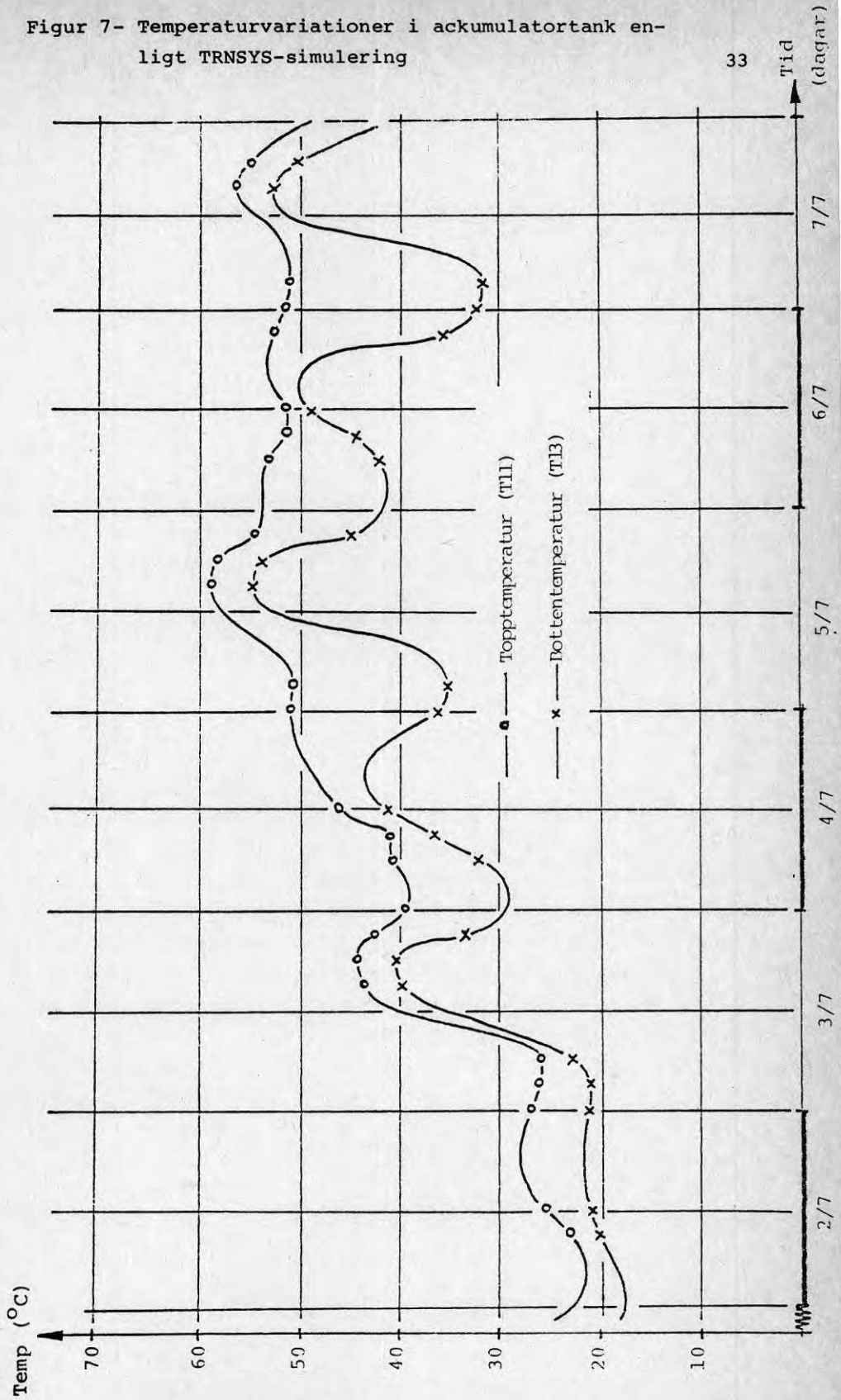


Fig 8 visar temperaturvariationerna i ackumulatorer 1, 2 och 3 under fem dagar i mitten av september.

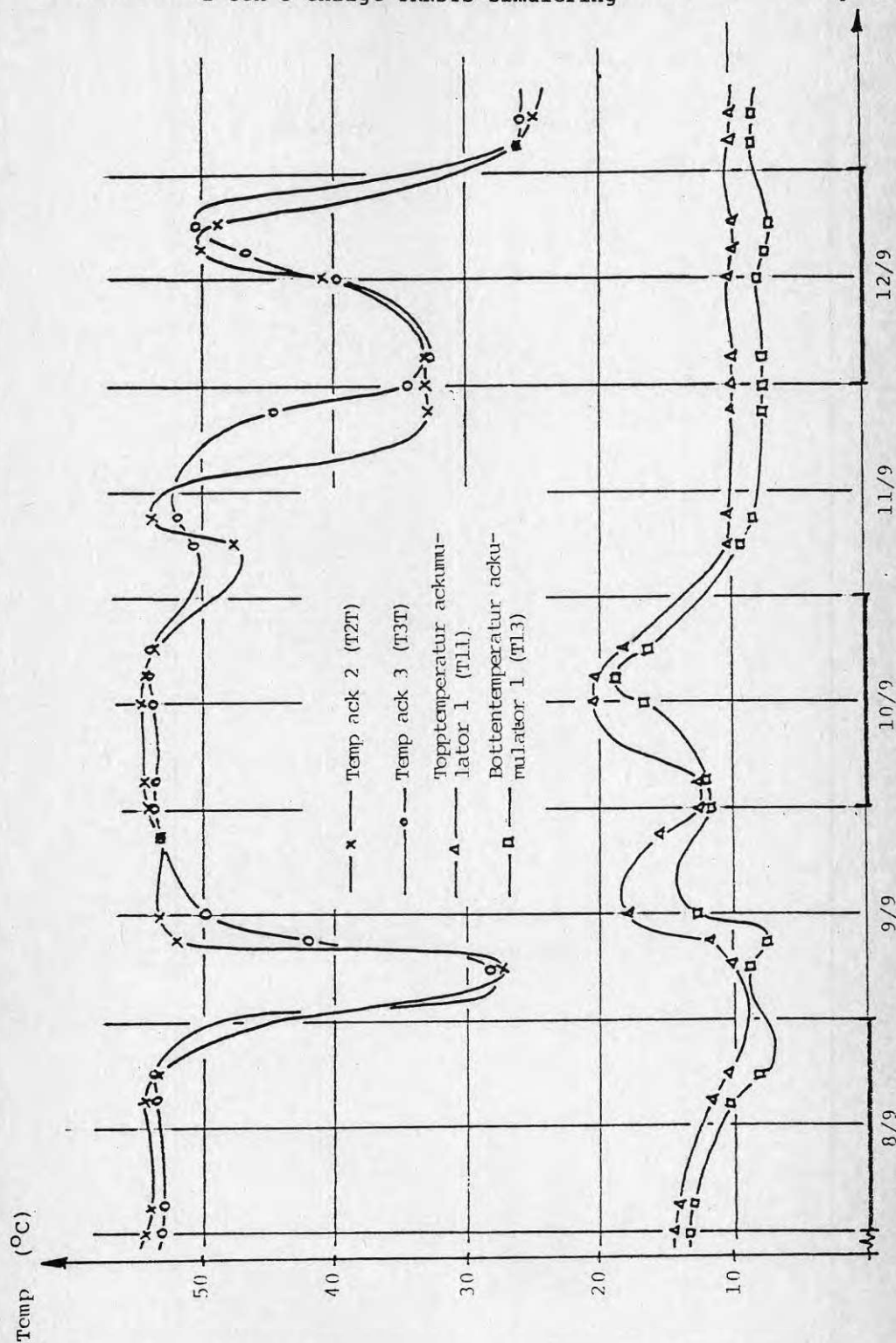
Följande kommentarer kan göras till diagrammet:

- Temperaturerna i varmvattenackumulatorerna ligger mycket högt, t o m högre än beräknat, men sjunker drastiskt så fort temperaturen i ackumulator 1 sjunker under det för värmepumpen acceptabla värdet 10°C .
- Temperaturnivån i ackumulator 4 ligger ganska lågt (mellan 10 och 20°C). Detta är emellertid fullt naturligt då den studerade perioden ligger just under den tid då solvärmertilgången kan förväntas bli otillräcklig för tappvarmvattenberedningen.
- Genom att studera kurvorna lite noggrannare kan man konstatera att de väl stämmer med förbrukningssidans dygnsvariationer.

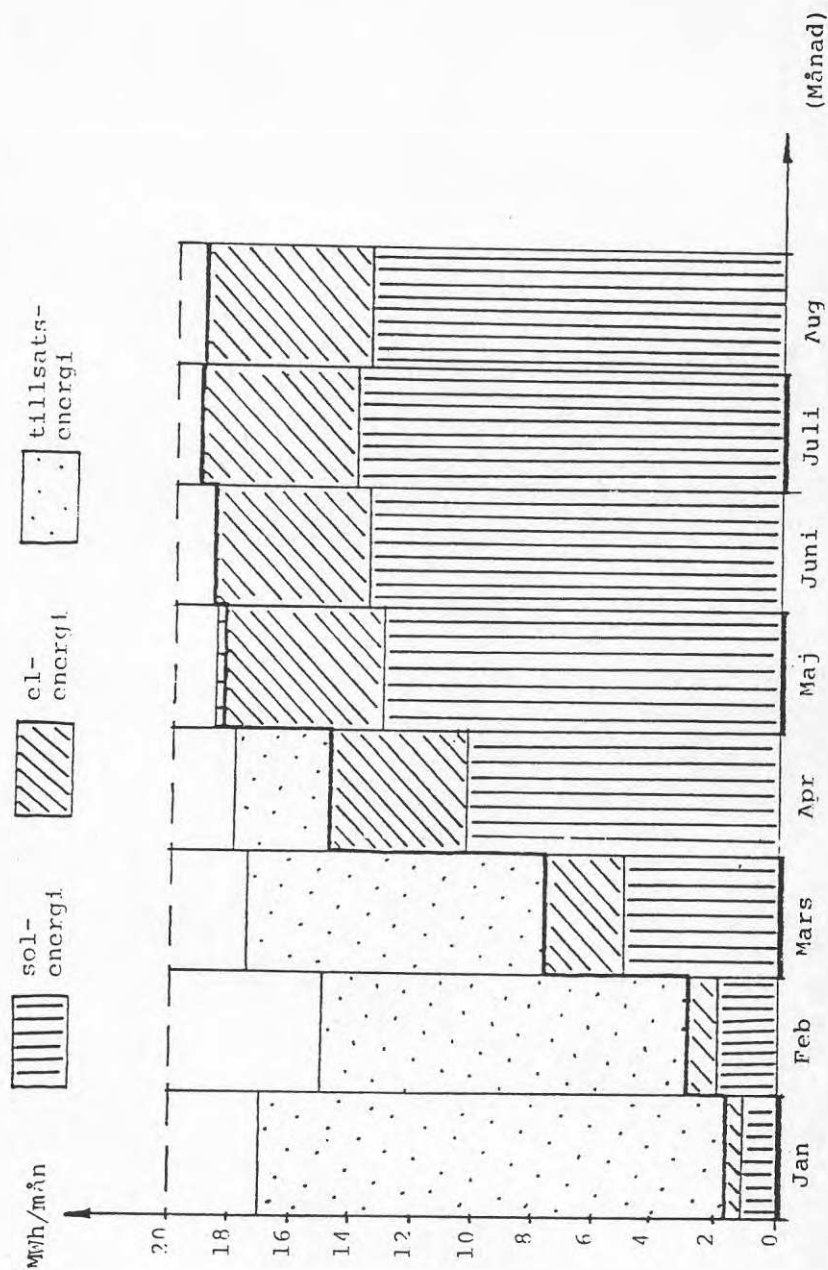
5.4.3 Nyttiggjord solvärme - försörjningsgrad

Beräkningar av nyttiggjord mängd solenergi vid en planerad solvärmeanläggning är alltid mycket osäker. I samband med dimensionering av solfångaryta samt upprättande av ekonomiska kalkyler har använts ett beräkningsprogram för bordskalkylatorer. För att kunna jämföra detta resultat med simuleringen i TRNSYS har fig 8 upprättats. Diagrammet visar nyttiggjord solenergi samt förbrukad el-energi i värmepumpen under årets åtta första månader.

Figur 8 - Temperaturvariationen i ackumulatorerna 1, 2 och 3 enligt TRNSYS-simulering



Figur 9 - Nyttiggjord solenergi respektive förbrukad el-energi och tillsatsenergi enligt TRNSYS-simulering



Följande kommentarer kan göras till diagrammet:

- Den vid TRNSYS-simuleringen nyttiggjorda solenergi-mängden är visserligen något mindre än den som uppnås vid beräkningar med SOLARCON, men avvikelsen är inte större än att den ligger inom felmarginalen för de båda programmen.
- Summan av Q2, E1 och Q7 (tillsatsenergi) varierar kraftigt och kommer endast under sommarmånaderna upp till 20 000 kWh/mån, som var det avsedda värdet. Dessa variationer har inte kunnat förklaras men kan ge en indikation av de osäkerheter i simuleringsprogrammet.

5.5 Erfarenheter av TRNSYS-programmet

Nedan uppräknas några negativa och positiva synpunkter utan tanke på ordningsföljd och prioritering.

Negativt:

- Det krävs relativt omfattande förberedelser före "körning". Dels måste man noga sätta sig in i hur programmet fungerar och dels måste den planerade anläggningen detaljprojekteras.
- Det kan vara svårt att ta fram parametrar för samtliga komponenter. Dels finns inte parametervärden tillgängliga för samtliga komponenter och dels kan en viss sortförbistring råda då TRNSYS från början är gjort i USA.
- Som ovan nämnts är man låst till väderdata för endast ett fåtal orter (Malmö, Stockholm och Umeå), vilket naturligtvis kan minska beräkningarnas exakt-
het.

- Det kan uppstå svårigheter när det gäller att anpassa den projekterade anläggningen till TRNSYS. I vissa fall är inte de färdiga subrutinerna i programmet tillräckliga för att representera de i solvärmesystemet ingående komponenterna. Då finns möjligheten att skriva nya subrutiner. Detta innebär emellertid mycket merarbete och ökar kostnaderna.
- Det bör observeras, att TRNSYS trots allt är en ganska grov beräkningsmodell. Det är nödvändigt att i framtiden försöka utvärdera hur "grov" modellen är.

Positivt:

- + TRNSYS uppbyggnad innebär stor frihet att studera olika systemval.
- + TRNSYS ger stora valmöjligheter när det gäller att studera olika intressanta variabler i systemet, t ex temperaturer, drifttider, flöden m m.
- + Intressanta data redovisas vid utskrift, lättåtkomligt både i tabell- och diagramform.
- + I samband med simuleringen och vid anpassning för datakörning tvingas projektören att noga tänka igenom hur anläggningen skall fungera och vilka krav man skall ställa på ingående komponenter.

Sammanfattningsvis kan sägas, att erfarenheterna av TRNSYS är goda, men det bör påpekas att en meningsfull användning av TRNSYS hade varit omöjlig utan sakkunnig hjälp och handledning från institutionen för Byggnadsteknik vid KTH i Stockholm. Vår förhoppning är att pågående utvecklingsarbete skall medföra att TRNSYS utvecklas både vad det gäller flexibilitet och exakthet.

6 UPPHANDLING - BYGGNATION

Nedan görs en detaljerad beskrivning över tillvägagångssättet vid upphandling och byggnation samt de erfarenheter som erhållits. Avsikten är att ge råd som underlättar arbetet vid framtida solvärmeprojekt.

6.1 Projektets skeden

Följande tidtabell har gällt för projektets genomförande:

791129	Färdigställande av anbudsunderlag
800131	Anbudstidens utgång
800327	Ansökan om energisparstöd (Länsbostadsnämnden)
800328	Ansökan om lån till experimentbyggande (BFR)
800910	Beslut om lån för experimentbyggande (BFR)
800917	Beslut om energisparstöd (Länsbostadsnämnden)
801205	Upphandling
810119	Byggstart
810521	Slutbesiktning

Efter 1 - 2 års mätningar skall en slutlig utvärdering av driftresultaten ske (se avsnitt 7).

Genomförandetiden är som synes mycket lång. Strävan måste vara att förkorta denna, varför vi under den fortsatta beskrivningen av projektet försöker peka på olika sätt att förkorta genomförandetiden vid framtida projekt av samma typ.

6.2 Anbudsunderlag

Anbudsunderlaget utformades som en rambeskrivning med följande huvudrubriker:

A ADMINISTRATIVA FÖRESKRIFTER

- A0 Allmän orientering
- A1 Upphandlingsföreskrifter
- A2 Entreprenadföreskrifter
- A3 Allmänna hjälpmedel
- A4 Allmänna arbeten

56 VÄRME

UTFÖRANDE- OCH FUNKTIONSKRAV
RAMBESKRIVNING

- I Rörledningar m m
- K8 Totalisolering av VVS-anläggningar
- R Cisterner, apparater för rening och behandling, pumpar och kompressorer, värme- och kyldon, kylaggregat
- U Styr- och övervakningsdon

BYGGNADSARBETEN

EL-ARBETEN

BILAGA 1 - Utdrag från rapport angående "Solvärme som komplement till oljeeldad värmecentral"

Av innehållsförteckningen framgår, att utdrag från rapporterna används i bilageform för att komplettera beskrivningsunderlaget.

Detta förfarande gav fördelen att direkt kunna utnyttja förstudien som förfrågningsunderlag utan detaljprojektering med ytterligare fördröjning som följd. Nackdelen var det ökade resursbehovet av kompletterande uppgifter och anvisningar på platsen i samband med byggnationen på grund av att underlaget inte var helt fullständigt på alla punkter.

6.3 Upphandling

Totalt erhöjls 4 st anbud för generalentreprenad. Priserna var mycket jämna. Avvikelsen mellan högsta och lägsta anbud var mindre än 5 %. Däremot var prisnivån högre än väntat.

AB Göteborgshem tog upp diskussioner med de tilltänkta entreprenörerna, varvid bl a en delning av entreprenaden övervägdes. Efter dessa diskussioner kunde totalkostnaden för projektet fastställas med tillräcklig noggrannhet för upprättande av ansökningshandlingar.

I enlighet med riktlinjerna från BFR utnyttjades i första hand normala låne- och bidragsmöjligheter, dvs energisparstöd från Länsbostadsnämnden i Göteborg.

Resterande medel söktes hos BFR som "lån för experimentbyggande".

Ansökningarna behandlades hos Länsbostadsnämnden och BFR parallellt. Ca 6 månader efter inlämnandet av ansökan beviljades de ansökta medlen i sin helhet.

Med tillgång till dessa medel kunde upphandlingen slutföras i december 1980. Entreprenaden upphandlades av AB Nordiska Värme i form av en generalentreprenad.

6.4 Byggnation

Byggstart skedde i januari 1981 och arbetet fortsked i stort sett efter den uppgjorda tidplanen (jfr bil 2).

Först utfördes schaktning för apparatrum och kulvertdragning mellan de olika byggnaderna. Tack vare en relativt mild vinter kunde detta utföras utan förse-ning.

Byggnaden uppfördes under februari, varefter installationsarbetena kunde påbörjas. Ackumulator 1, som prefabricerats på fabrik, lyftes in i apparatrummet, varefter byggarbetena kunde slutföras.

Under mars och april genomfördes större delen av rörarbetena i apparatrummet samt montage av solkollektorerna på radhustaken och panncentralen.

Under entreprenadens slutfas gjordes isolering av rör och tankar, målning av golv och väggar samt elarbeten. I samband med anslutning av värmepumpen till elnätet, måste bl a förstärkning av elundercentralen göras då denna hade mindre kapacitet än beräknat.

I samband med rördragning i apparatrummet installerades temperaturgivare och flödesmätare för mätvärdesinsamling. Elledningar från samtliga mätpunkter drogs till en gemensam plint i ett separat apparatskåp för mätinsamlingsutrustning. På detta vis kunde målningarna börja så snart anläggningen var färdigbyggd och mätatorn levererats.

Under entreprenadens gång hölls 2 st gemensamma byggmöten med beställare och generalentreprenör och samtliga underentreprenörer. Dessutom hölls regelbundna träffar på byggarbetsplatsen varje vecka, där beställare och entreprenörer tillsammans löste problem och oklarheter. Dessa möten var av största vikt då många detaljproblem återstod att lösa under byggnationen.

Anläggningen färdigställdes under slutet av maj och slutbesiktning utfördes 810521.

Så när som på vissa justeringar befanns installationerna vara mycket gediget utförda och anläggningen kunde tas i drift under första delen av juni.

Under de första veckornas drift märktes ett visst värmeuttag från de oljeeldade pannorna, trots att soltillgången var god. Genom en förändrad inkoppling av VVC-ledningen kunde denna olägenhet helt avhjälpas.

Enligt drifterfarenheter från andra solvärmeanläggning, bl a Ingelstad, uppstod frysskador i kollektorerna trots att glykolhalten i kollektorerna är tillräcklig. Detta beror på att glykol- och vattenfaserna separerar vid långvarig stagnation i systemet, varvid den separerade vattenfasen fryser och skador kan uppkomma.

För att avhjälpas detta problem installerades under hösten en utrustning för automatisk cirkulation och blandning av glykolvattnet. Denna utrustning utnyttjas även för påfyllning av vatten och glykol.

Samtliga arbeten var avslutade under november 1981.

Den färdiga anläggningens utseende framgår av bilder i bilaga 3.

6.5 Kostnadssammanställning och ekonomisk utvärdering

6.5.1 Experimentbyggande

Vid genomförande av experimentbyggnadsprojekt råder speciella förhållanden som gör att kostnaderna säkerligen blir högre än vid framtida produktion i större skala. Har man detta i minnet är kostnadssammanställning och utvärdering trots allt av stort värde. Det är viktigt att studera de olika kostnadsposterna och möjligheten förbilligande i framtiden. Denna besparingspotential är avgörande för om man i framtiden skall satsa på liknande anläggningar.

6.5.2 Kostnadssammanställning

De slutliga kostnaderna för projektet inklusive tillläggsarbeten fördelar sig mellan olika fack enligt följande tabell (prisnivå januari 1981).

Tabell 3 - Kostnadssammanställning

Arbete och material	Kostnad inkl moms (kr)	Kostnadsandel (%)
A. Byggnad inkl schaktning	153,5	16
B. Solfångarsystem inkl kollektorer och rörarbeten	297,7	37
C. Rörarbeten i apparatur inkl VVB, VVX och reglerutrustning	210,8	22
D. Ackumulator 1 på plats	107,2	11
E. Värmepump på plats	95,9	10
F. Elarbeten	44,2	4
	965,7	100

6.5.3 Besparingspotential

Nedan följer en närmare analys av de olika posterna och framtida besparingspotential.

Byggnad (A)

Tillbyggnaden, som rymmer i stort sett all nyinstallation förutom solfångare, är byggd i lättbetong och med plåttak och utan isolering. Den totala byggnadsvolymen är ca 170 m³ och golvytan är ca 45 m². Kostnaden är 153 500 kronor (eller ca 900 kr/m³), vilket motsvarar ca 16 % av totala entreprenadkostnaden.

Besparingar bör kunna göras genom att utnyttja en enklare och mindre byggnad av container typ (se nedan). Ackumulatortanken bör placeras utomhus på betongplatta med vattentät plåtbeklädnad. Byggnadskostnaden bör på detta sätt kunna minskas till ca 80 000:- kronor för en motsvarande anläggning.

Solfångarsystem (B)

I den totala kostnaden (ca 354 kkr) ingår följande delposter:

200 m ² solfångare monterade	207 kkr (ca 1 000 kr/m ²)
Kulvertledning mellan hus	68 "
Rördragning på tak inkl isolering	<u>79</u>
	354 kkr

Besparingspotentialen för solfångarna bedöms till max 30 %, bl a bör ledningsdragningarna kunna förenklas avsevärt genom seriekoppling av kollektorer.

Med ovanstående antagande kan kostnaden minskas till 235 000:- kronor.

Rörarbeten (C)

Rörarbeten i apparatrum är en tung post, 210 kkr eller 22 % av entreprenadsumman, som bör kunna minskas betydligt genom ett mer standardiserat sätt att bygga. Vårt förslag är att samtliga utrustningar prefabriceras och monteras på fabrik i en standardiserad "containerbyggnad". Denna container placeras lämpligen på betongplatta och anslutes med rörledningar till övrig utrustning (solfångare, ackumulator och varmvattensystem) på samma sätt som prefabricerade panncentraler.

Besparingen genom ovan skisserade förfarande gäller såväl rörarbeten som byggnad och är i detta skede svår att uppskatta. Vi antar att kostnaderna kan minskas med ca 60 %, dvs 125 000:- kronor för en motsvarande anläggning.

Akkumulator 1 på plats D

Akkumulator 1, som är i svetsad stålplåt, levererades förtillverkad och isolerades samt kläddes med plåt på platsen. Kostnaden för akkumulatorn är 107 000:- kronor, vilket motsvarar ca 11 % av totala entreprenadsumman eller ca 5 350:- kr/m³. Detta får betecknas som en allt för hög kostnad.

Förenklingar i samband med tillverkning och materialval för denna typ av värmeakkumulator måste åstadkommas. En kostnad av 3 000:- kr/m³ bör vara uppnåelig, dvs 60 000:- kronor för akkumulator på plats.

Värmepump på plats (E)

Värmepumpen är ett standardaggregat av typ vatten/vatten med ca 70 kW kondensoreffekt. Monterad på plats kostar den 95 900:- kronor, vilket motsvarar ca 10 % av entreprenadsumman. Prisskillnaden mellan olika fabrikat och typer av aggregat är ganska liten. Där emot kan vinster göras genom att minimera storleken med mycket långa gångtider som följd. Den kommande utvärderingen skall utvisa om det är möjligt att minska kondensoreffekten.

Vi förutsätter att en sådan besparing går att göra, varvid priset blir ca 70 000:- kronor vid en motsvarande anläggning.

Elarbeten (F)

Elarbeten har utförts på konventionellt sätt med förtillverkning av elskåp samt ledningsdragningar och inkoppling då alla övriga installationer var på plats. En viss fördyring uppstod emellertid i samband med ombyggnad av den befintliga undercentralen.

Kostnaden är 44 200:- kronor, vilket motsvarar drygt 4 % av entreprenadsumman. Besparingspotentialen bedöms till max 20 %, dvs kostnaden kan minskas till ca 35 000:- kronor för en ny anläggning i samma storlek.

6.5.3 Besparingspotential

Nedanstående tabell visar uppskattade kostnader för en solvärmearläggning av samma typ som vid Tolvskillingsgatan men med optimal dimensionering och konstruktion samt helt rationell tillverkning och byggnation.

A. Byggnad	80 000:-
B. Solfångarsystem	235 000:-
C. Rörarbeten m m	125 000:-
D. Ackumulator	60 000:-
E. Värmepump	70 000:-
F. Elarbeten	<u>35 000:-</u>
	605 000:-

Resultatet är att kostnaderna kan minskas med 35 - 40 % med ovanstående förutsatser.

6.5.4 Preliminära energikostnader

I fig 10 nedan illustreras hur tappvarmvattenbehovet tillgodoses av olika energislag (sol, el och olja). De i diagrammet redovisade värdena har framräknats med det ovan nämnda SOLARCON-programmet.

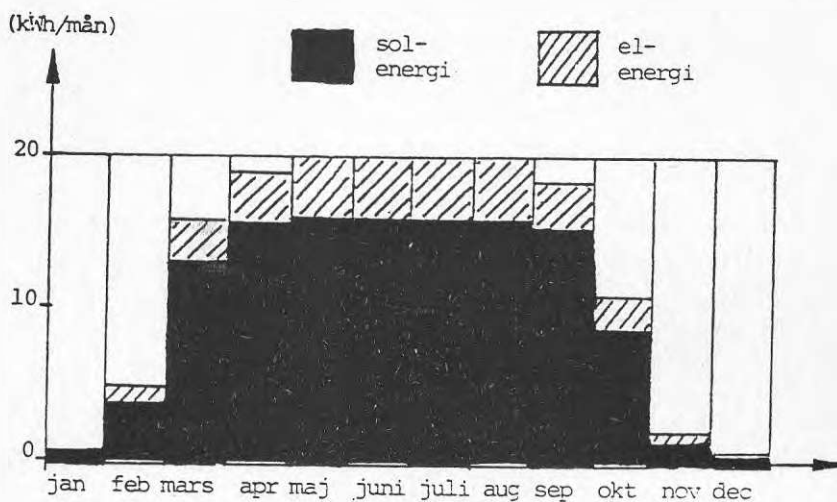


Fig 10 - tillgodogjord energimängd framtagen med beräkningsprogram SOLARCON

Genom att summera diagrammets månadsvärden för sol- och elenergi och relatera dem till totala energibehovet för radhusområdet (1 000 MWh/år) erhålles de i tabell 4 angivna värdena.

Tabell 4 kan för övrigt jämföras med tabell 6 i R53.

Tabell 4 - Producerad och förbrukad energi under ett normalår

	Totalt	Olja	Sol	El (VP)
Energiproduktion (MWh/år)	1 000*)	840	120	40
% av total ener- giproduktion	100	84	12	4

*) Beräknad med nuvarande oljeförbrukning per normalår samt en årsmedelverkningsgrad av 60 % (jfr R53)

Den prognostiserade oljeenergibesparingen är ca 160 MWh/år eller ca 27 m³ olja/år, det senare räknat med en årsmedelverkningsgrad för pannanläggningen av 60 %. Minskningen i oljekostnaderna blir 48 500 kr/år räknat med ett oljepris av 1 800 kr/m³. Drift av värmepumpen medför emellertid en ökad elkonsumtion och därmed driftkostnader. Elkonsumtionen beräknas uppgå till 40 MWh/år. Med ett elpris av 220 kr/MWh fås en kostnad av 8 800 kr/år (obs! "sommartaxa" bör kunna utnyttjas).

Den preliminära besparingen blir således:

Oljebesparing - elkostnad = 48 500 kr/år - 8 800 kr/år = 39 700 kr/år

6.5.5 Återbetalningstid

Under förutsättning att ovanstående driftresultat kan uppnås, vilket skall visas av den kommande utvärderingen (se avsnitt 7), fås följande återbetalningstider vid verklig kostnad samt vid optimal anläggning.

Tabell 5 - Investeringskostnader - återbetalningstid

	Tolvskil- lingsgatan	"Optimal anläggning"
Investeringskostnad	965 700	605 000
Återbetalningstid	24 år	15,2 år

Observera, att ovanstående beräkningar endast gäller vid beräknade driftresultat.

7 MÄTNING OCH UTVÄRDERING

7.1 Organisation och arbetsfördelning

Detta projekt ingår som en del i det omfattande experimentbyggnadsprogrammet inom energiområdet som finns i Sverige i dag. Utvärdering och uppföljning är mycket viktig för att tillgodogöra sig erfarenheter från detta program. I dag finns en organisation väl anpassad för denna uppgift.

Följande arbetsfördelning gäller vid detta projekt:

1. Fastställande av mätpunkter och upprättande av preliminärt utvärderingsprogram utfördes i samarbete mellan AB Göteborgshem, K-Konsult och Institutionen för installationsteknik CTH (ICTH).
2. Mätvärdesinsamling samt lagring och bearbetning av data utföres av Energitekniska mätcentralen vid CTH (MCTH).
3. Upprättande och genomförande av slutgiltigt utvärderingsprogram utföres av Institutionen för Installationsteknik vid CTH. I detta arbete ingår slutredovisning i form av en BFR-rapport.

Följande avsnitt kommer att behandla det utvärderingsprogram som är under utarbetande vid ICTH.

7.2 Utvärderingsprogrammets huvuddelar

Utvärderingsprogrammet består av två huvuddelar, dels en energiteknisk utvärdering och dels en energiekonomisk utvärdering. Man kan för dessa huvuddelar formulera ett antal huvudfrågor som är angelägna att få besvarade i projektet:

Energiteknisk utvärdering

1. Har anläggningens viktigare delsystem den förväntade värmetekniska funktionen?
2. Hur tillförlitliga är olika beräkningsmetoder och dimensioneringsdata?
3. Kan den värmetekniska funktionen väsentligt förbättras genom en annan dimensionering?
4. Vilken värmeteknisk funktion kan, som jämförelse, det enklast tänkbara (mest närliggande) anläggningssalternativet beräknas ha?

Energiekonomisk utvärdering

1. Vilket ekonomiska värde har det aktuella anläggningssystemet då hela brukstiden betraktas?
2. Vilket ekonomiska värde har solfångarsystemet i sig i en anläggning av aktuellt slag med värmepumpdrift för tappvarmvattenproduktion?
3. Vilket ekonomiska värde har den tekniskt sett mest korrekt uppbyggda anläggningen av akutellt slag om den tänks ingå i en stor serie av likadana anläggningar?

7.3 Mätteknik

7.3.1 Mätssystem

Mätssystemet är uppbyggt kring en bordsdator som styr mätningarna och lagrar mätdata. Till datorn är en mätpunktsäljare (scanner) med kapacitet för 24 analoga mätstorheter och en pulsräknare med kapacitet för 32 digitala mätstorheter kopplade. Ett skivminne för lagring av mätdata är också kopplat till datorn.

Solvärmeanläggningen har väl förberetts för mätning genom att givare och kablage installerats samtidigt med övrig utrustning. Därigenom har Mätcentralen på Chalmers (MCTH), som ansvarar för mätsystemet, kunnat direkt ansluta sin utrustning till färdiga kopplingsplintar. Mätpunkternas placering i systemkretsarna framgår av flödesschemat i bilaga 1.

De systemstorheter som mäts är temperatur, vätskeflöde, elenergi och drifttid. De klimatstorheter som mäts är global solinstrålningstäthet mot horisontalplanet samt utetemperatur. Mätningarna omfattar totalt 30 st mätpunkter varav 21 st ger temperaturer, 4 st ger vätskeflöden, 2 st ger elenergi, 2 st ger drifttider och en ger solinstrålning. Tabell 6 upptar alla mätpunkter och anger enheter och upplösningar hos mätstorheter samt den datareduktion som görs innan mätdata lagras. I det följande presenteras en del ytterligare uppgifter av rent mätteknisk art uppdelat på analoga respektive digitala mätstorheter.

7.3.2 Analoga mätstorheter

Temperatur mäts analogt med temperaturberoende motståndsgivare placerade i dykrör. Mätning görs varannan minut och medelvärdesbildning sker en gång per timme.

Solinstrålning mäts med en solarimeter monterad ovan takytan i anslutning till solfångarfältet på en av radhuslängorna.

7.3.3 Digitala mätstorheter

Vätskeflöden mäts med vinghjulsmätare vartill kontaktverk som avger pulser kopplats. Antalet pulser räknas timvis och omvandlas till vätskemängd per tidsenhet som registreras.

Elenergi till värmepumpen och till vätskepumpar mäts med kWh-mätare vari kontaktverk som avger pulser ingår. Antalet pulser räknas timvis och omvandlas till elenergimängder vilka registreras.

Drifftid dels för värmepumpen och dels för den vätskepump som sköter cirkulationen mellan ackumulator 1 och solfångarkretsen mäts med hjälp av pulståg med känd frekvens. Kontakter och reläer svarar för att pulståget leds till pulsräknaren då drifftid ska räknas. Båda drifftiderna registreras en gång per timma.

7.3.4 Mätdatabehandling

Förutom mätsystemet på platsen svarar MCTH även för överföring av mätdata till sitt eget minidatorsystem. Här sker i MCTH:s regi inläsning, lagring och en viss redovisning av mätdata. Redovisningen inskränker sig till tabellering av ett mindre urval av direkt mätta respektive beräknade storheter och är främst ett praktiskt hjälpmedel vid den fortlöpande driftkontrollen för anläggningen. Den ger också utvärderingsgruppen en möjlighet att översiktligt studera förlopp och välja intressantare sådana för detaljbearbetning.

Utvärderingsgruppen har tillgång till minidatorsystemet och MCTH:s datorkapacitet kommer att utnyttjas för utvärderingsarbetet. En del användarvänliga program för enkel bearbetning och grafisk presentation finns redan tillgängliga. Program för mer komplicerad bearbetning kommer att utformas av utvärderingsgruppen.

Tabell 6 - Mätstorheter med respektive beteckning, enhet, upplösning och datareduktion

Storhet	Bet	Enhet	Upplösning	Datareduktion
Temperatur utomhus	TO	°C	0,1°C	Timmedelvärde
Global solstrålningse- negi mot horisontalplanet	W _g	kWh	0,1 kWh	1) Summa/tim Över hela solfångar- arean 2) som 1) men endast då pumpen P2 går
Drifftid för sol- fångarkrets (pum- pen P2)	sol	h	0,01 h	Summa/timma
Antal starter för pumpen P2 mot sol- fångarkretsen	sol	-	1	Summa/timma
Värmemängd till ackumulator 1	Q1	kWh	0,1 kWh	Summa/timma
Vätsketemperaturer i ackumulator 1	T1-T5	°C	0,1°C	Timmedelvärde
Värmemängd från ackumulator 1	Q2	kWh	0,1 kWh	Summa/timma
Elenergi till värmepump	E1	kWh	0,1 kWh	Summa/timma
Drifftid för värmepump	vp	h	0,01 h	Summa/timma
Antal starter för värmepump	vp	-	1	Summa/timma
Värmemängd till VVX2 mot ackumu- lator 2 och 3	Q5	kWh	0,1 kWh	Summa/timma
Värmemängd från hetvattenpannor	Q7	kWh	0,1 kWh	Summa/timma
Elenergi till värtskepumpar	E2	kWh	0,1 kWh	Summa/timma
Vätsketemperaturer i ackumulator 2 o 3	T6-T9	°C	0,1°C	Timmedelvärde

Tabell 6 - Mätstorheter med respektive beteckning, enhet, upplösning och datareduktion

Storhet	Bet	Enhet	Upplösning	Datareduktion
Vätsketemperaturer för de båda solfångargrupporna frånlopp	T10, T11	°C	0,1°C	Timmedelvärde
Vätsketemperatur för hela solfångarfältets tilllopp	T12	°C	0,1°C	Timmedelvärde

7.3.5 Teoretiska beräkningar

Parallellt med den del av projektarbetet som enbart upptas av en renodlad mätteknisk utvärdering kommer ett teoretiskt beräkningsarbete att genomföras. Denna del av projektarbetet syftar till två saker:

1. Att undersöka hur noggranna beräkningsmässiga bestämningar av värmeteknisk funktion som är möjliga att göra för anläggningar av aktuellt slag. Arbetet skall klargöra om det är tillfyllest att använda enkla metoder eller om mer komplicerade datorbaserade metoder erfordras för ett nöjaktigt beräkningsresultat.

Som jämförelse till den förenklade beräkningsmetoden kommer en systemsimulering att genomföras med hjälp av det amerikanska datorprogrammet TRNSYS. Programmet, beskrivet i kap 5, har redan använts vid projekteringsarbetet.

2. Att göra värmetekniska bedömningar av system- och driftalternativ till befintlig anläggning.

7.4 Energiekonomisk utvärdering

En energiekonomisk utvärdering, antingen det gäller energiproduktion eller energibesparing kopplad till en studerad åtgärd, syftar till att väga resursuppföringar mot utfall i form av enregivinst.

Begreppet "besparingskostnad" förekommer ofta som kostnadsbegrepp i samband med energibesparande åtgärder.

7.4.1 Värderingsmodell

Man kan, när det som här är fallet gäller en åtgärd för energiproduktion, något modifiera kostnadsbegreppet "besparingskostnad" utan att för den skull ändra dess grundläggande innebörd.

Ett för beräkning av värmeproduktionskostnad, $K_{\text{värme}}$ lämpligt uttryck blir då:

$$K_{\text{värme}} = \frac{(\text{investering}) + P_1 x (\text{årligt underhåll}) + P_2 x (\text{årlig elförbrukning})}{P_2 x (\text{årlig värmeproduktion})}$$

där

$$P_1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^n}{\frac{r}{1+r}}$$

$$P'_1 = \frac{1 - \left(\frac{1+w}{1+r}\right)^n}{\frac{r+w}{1+r}}$$

$$P_2 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^n}{\frac{r-q}{1+r}}$$

r = kalkylränta (%/100)

w = elenergens årliga prisändring (%/100)

q = värmets (oljans) årliga prisändring (%/100)

n = brukstid (år)

För anläggningstyper av här aktuellt slag där ett betydande elbehov föreligger bör karaktärsskillnaden mellan värme och el kunna beaktas i värderingsmodellen. Jämförbarhet bör också finnas mellan kostnader beräknade för energibesparing och energiproduktion.

7.4.2 Kostnadsberäkningar

En kostnadsberäkning för anläggningen i befintlig utförande redovisas i avsnitt 6. Beräkningen har i sig sitt intresse om antaganden avseende energiprisändringar och kalkylränta varierar och kostnaderna jämförs med på likvärdigt sätt framtagna kostnader för andra åtgärder.

En i sammanhanget betydligt intressantare kostnadsjämförelse är den mellan anläggningen i befintligt utförande och andra anläggningsalternativ. En central frågeställning är här hur kostnadsbilden ser ut för anläggningsalternativ dimensionerade på annat sätt när det gäller huvuddelar som solfångarfält, värmepump och ackumuleringstankar. Man bör då ta hänsyn till vilket verkligt bidrag som de olika delarna ger till den totala värmeproduktionen och tillämpa ett marginalkostnadsresonemang.

Exempelvis bör man studera skillnaden mellan ett solvärmesystem med värmepump och en luft/vatten-värmepump.

Frågan som skall ställas är:

Är den marginalkostnad solfångarna innebär jämfört med enkla konvektorer motiverad m h t den ökade energitillgången?

8 REFERENSER

R83:1978 - Varmvattenberedning med hjälp av solenergi,
förutsättningar och kostnader
Folke Petersson, Lennart Ringblom

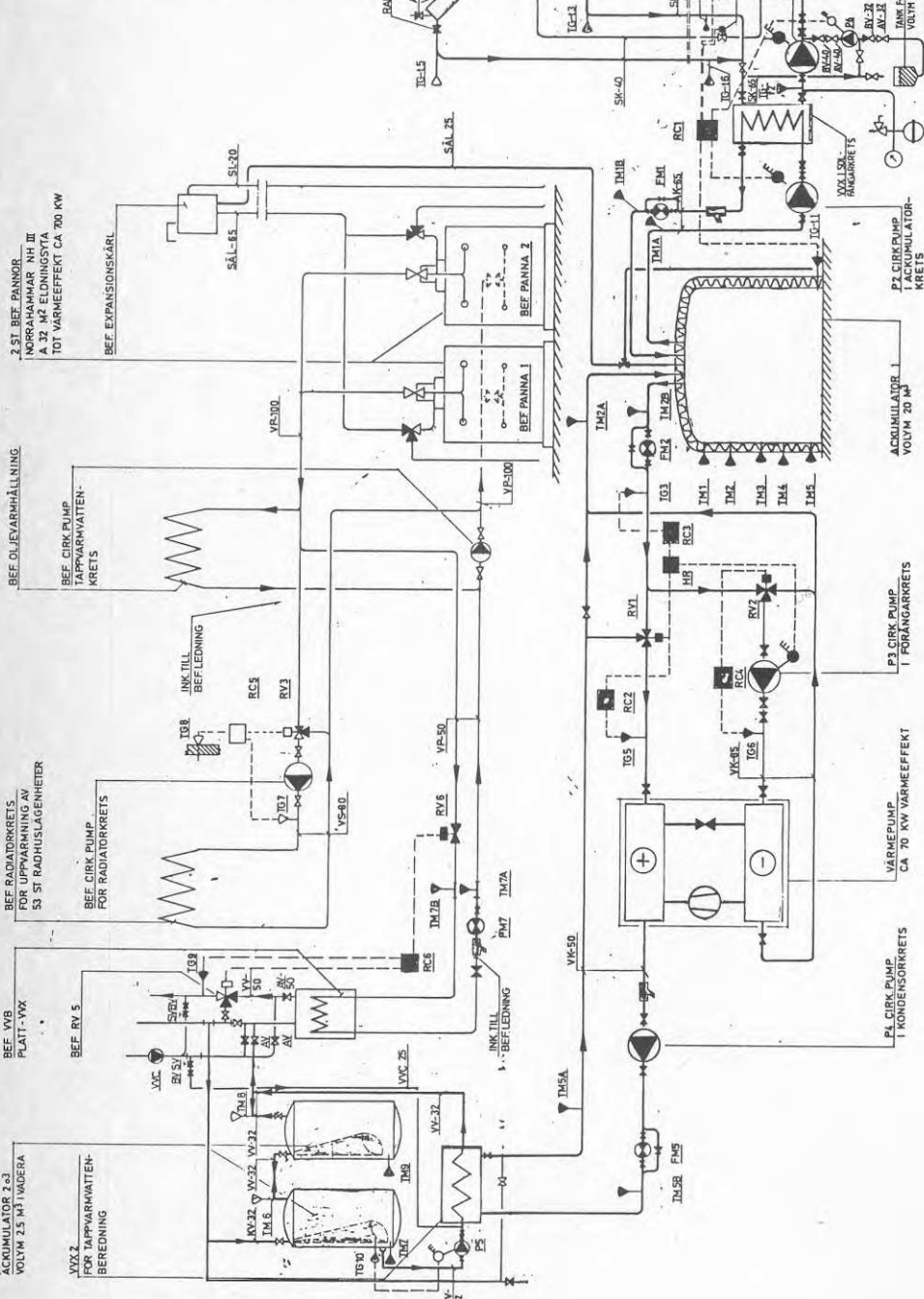
R53:1979 - Solvärme som komplement till oljeeldad vär-
mecentral
Rune Buresten m fl

Engineering experiment report 38

TRANSYS - Atransient Simulation Program, Solar energy
laboratory, University of Wisconsin - Madison

BILAGA 1

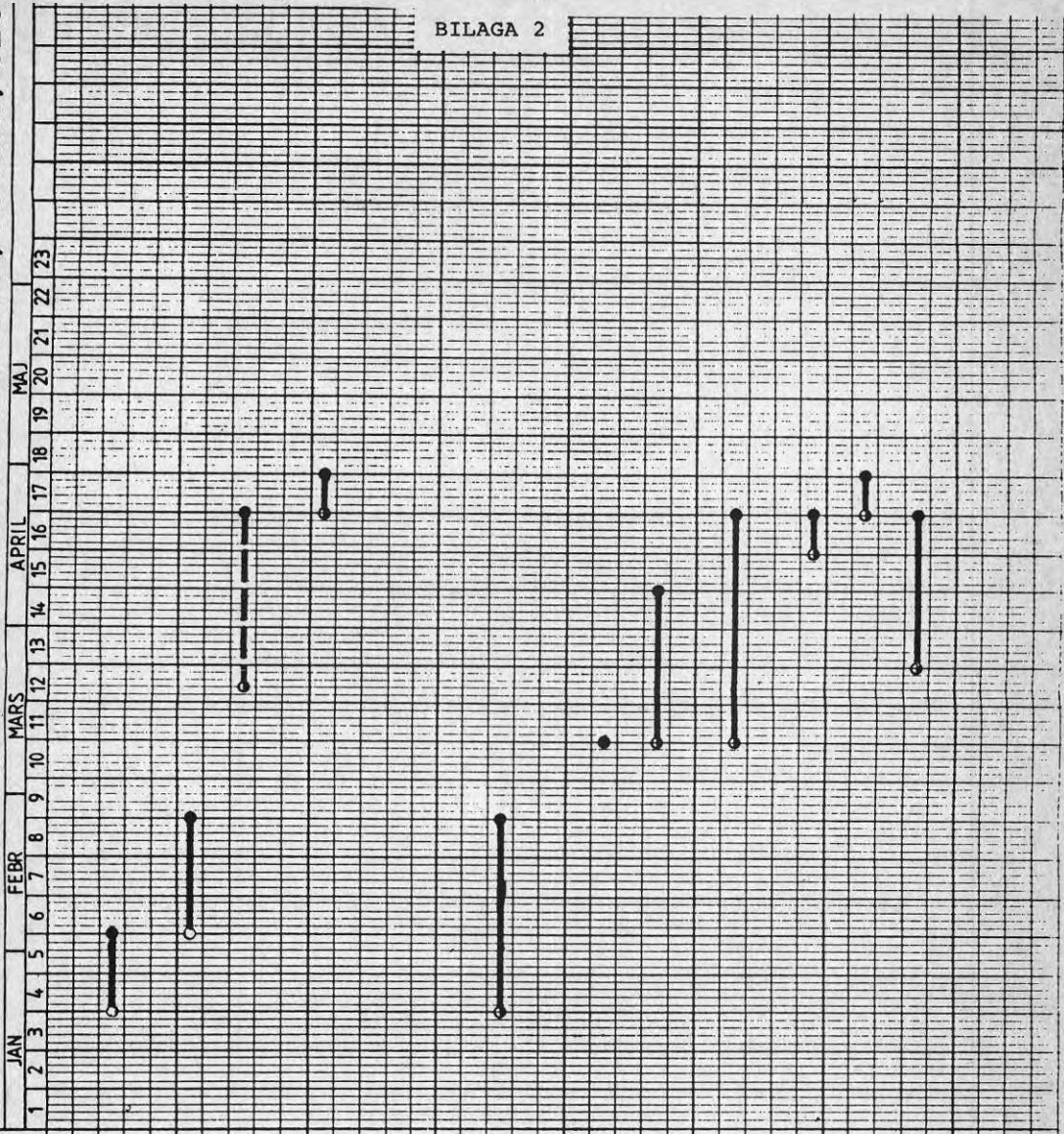
- 1. VÄRMEDLING
- 2. VÄRMEDLING
- 3. VÄRMEDLING
- 4. VÄRMEDLING
- 5. VÄRMEDLING
- 6. VÄRMEDLING
- 7. VÄRMEDLING
- 8. VÄRMEDLING
- 9. VÄRMEDLING
- 10. VÄRMEDLING
- 11. VÄRMEDLING
- 12. VÄRMEDLING
- 13. VÄRMEDLING
- 14. VÄRMEDLING
- 15. VÄRMEDLING
- 16. VÄRMEDLING
- 17. VÄRMEDLING
- 18. VÄRMEDLING
- 19. VÄRMEDLING
- 20. VÄRMEDLING
- 21. VÄRMEDLING
- 22. VÄRMEDLING
- 23. VÄRMEDLING
- 24. VÄRMEDLING
- 25. VÄRMEDLING
- 26. VÄRMEDLING
- 27. VÄRMEDLING
- 28. VÄRMEDLING
- 29. VÄRMEDLING
- 30. VÄRMEDLING
- 31. VÄRMEDLING
- 32. VÄRMEDLING
- 33. VÄRMEDLING
- 34. VÄRMEDLING
- 35. VÄRMEDLING
- 36. VÄRMEDLING
- 37. VÄRMEDLING
- 38. VÄRMEDLING
- 39. VÄRMEDLING
- 40. VÄRMEDLING
- 41. VÄRMEDLING
- 42. VÄRMEDLING
- 43. VÄRMEDLING
- 44. VÄRMEDLING
- 45. VÄRMEDLING
- 46. VÄRMEDLING
- 47. VÄRMEDLING
- 48. VÄRMEDLING
- 49. VÄRMEDLING
- 50. VÄRMEDLING
- 51. VÄRMEDLING
- 52. VÄRMEDLING
- 53. VÄRMEDLING
- 54. VÄRMEDLING
- 55. VÄRMEDLING
- 56. VÄRMEDLING
- 57. VÄRMEDLING
- 58. VÄRMEDLING
- 59. VÄRMEDLING
- 60. VÄRMEDLING
- 61. VÄRMEDLING
- 62. VÄRMEDLING
- 63. VÄRMEDLING
- 64. VÄRMEDLING
- 65. VÄRMEDLING
- 66. VÄRMEDLING
- 67. VÄRMEDLING
- 68. VÄRMEDLING
- 69. VÄRMEDLING
- 70. VÄRMEDLING
- 71. VÄRMEDLING
- 72. VÄRMEDLING
- 73. VÄRMEDLING
- 74. VÄRMEDLING
- 75. VÄRMEDLING
- 76. VÄRMEDLING
- 77. VÄRMEDLING
- 78. VÄRMEDLING
- 79. VÄRMEDLING
- 80. VÄRMEDLING
- 81. VÄRMEDLING
- 82. VÄRMEDLING
- 83. VÄRMEDLING
- 84. VÄRMEDLING
- 85. VÄRMEDLING
- 86. VÄRMEDLING
- 87. VÄRMEDLING
- 88. VÄRMEDLING
- 89. VÄRMEDLING
- 90. VÄRMEDLING
- 91. VÄRMEDLING
- 92. VÄRMEDLING
- 93. VÄRMEDLING
- 94. VÄRMEDLING
- 95. VÄRMEDLING
- 96. VÄRMEDLING
- 97. VÄRMEDLING
- 98. VÄRMEDLING
- 99. VÄRMEDLING
- 100. VÄRMEDLING



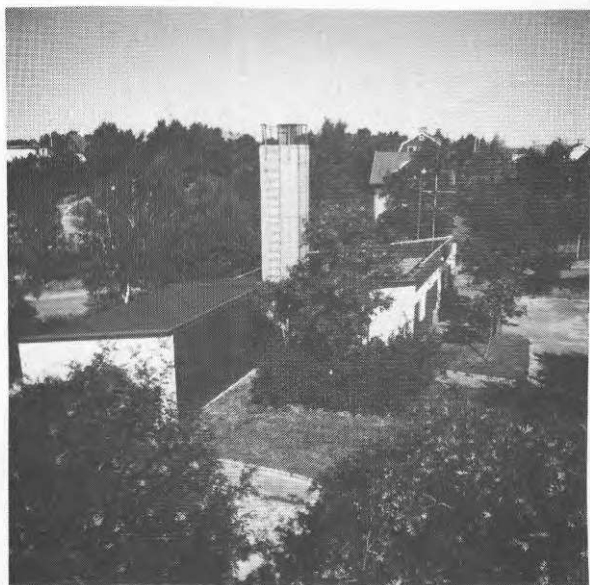
REOSULT
 AB GÖTEBORGSHEM
 SQUÄRNE VID BEF. WÄRMECENTRAL
 FLOÛSSSCHEMA
 VS-4 A

TIDPLAN FÖR SOLVÄRMEANL., TOLVSKILLINGSG., HÖGSBO, GBG

NVS	13-3998	IA
81 01 14		
AKTIVITET		
1 BYGGNADSARBETEN		
2		
3 SCHAKTNING FÖR OCH GIUTNING		
4 AV GRUNDPLATTA		
5		
6 VÄGGAR OCH TAK		
7		
8 IGENSÄTTNING AV TRANSPORTOPP-		
9 ING, KOMPLETTERINGSARBETEN		
10		
11 SLUTSTÄDNING		
12		
13		
14		
15		
16 RÖRARBETEN		
17		
18 KULVERT OCH RÖR PÅ GAVEL.		
19 SAMLINGSRÖR FÖR SOLKOLLEKTO-		
20 RER.		
21		
22 LEV. AV AKKUMULATOR NR 1		
23		
24 MONTAGE AV SOLKOLLEKTORER INK.		
25 ISOLERING AV RÖR		
26		
27 RÖRDRAGNING I BEF. OCH TILL-		
28 BYGGD PANNCENTRAL		
29		
30 RÖRISOLERING		
31		
32 INJUSTERING		
33		
34 EL-ARBETEN I BEF. OCH TILL-		
35 BYGGD PANNCENTRAL		
36		
37		
38		
39		



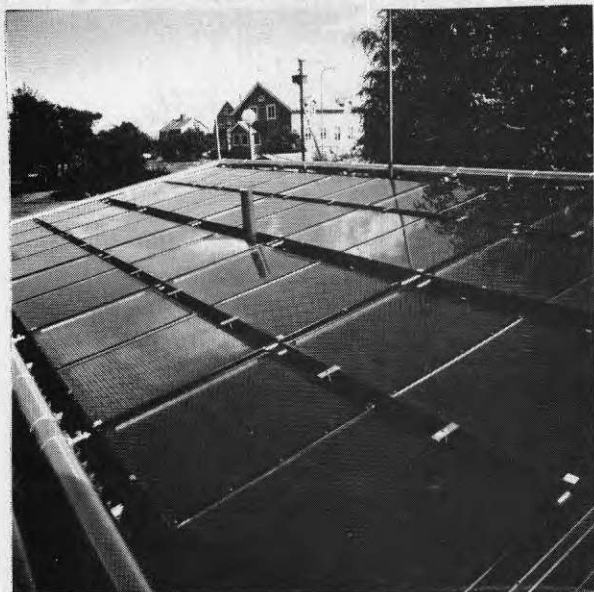
BILAGA 3



1. Värmecentralen vid Tolvskillingsgatan. I förgrunden syns den tillbyggnad som inrymmer solvärmeanläggningens apparatrum



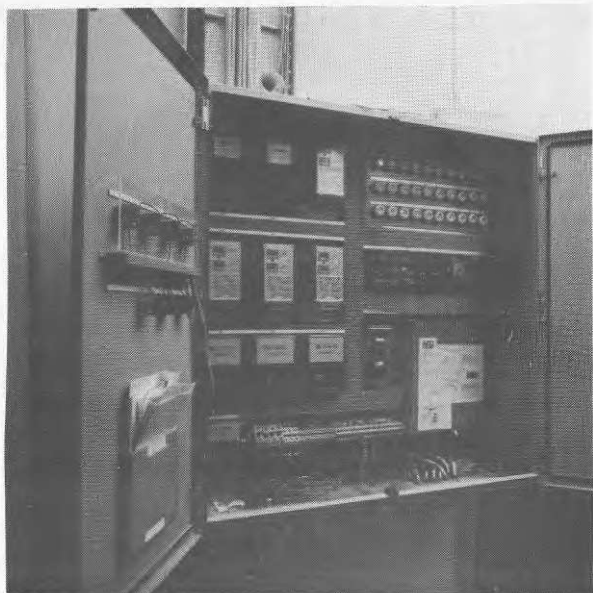
2. Solfångare monterade på de befintliga radhusens tak



3. Solfångare monterade på värmecentralens tak. Observera att kollektorerna är sammankopplade i grupper om fyra



4. Interiör i apparaturum. I mitten syns bl a värmepumpen och på sidorna skymtar ackumulatortankarna



5. Elskåp med bl a konventionell reglerutrustning och en specialkonstruerad dito för solfångardelen



6. Apparatskåp med mätinsamlingsutrustning och bildskärm för avläsning av aktuella värden

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790520-9 och 800617-0 från Statens råd för
byggnadsforskning till AB Göteborgshem.**

R26:1983

ISBN 91-540-3891-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700726

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 25 kr exkl moms