



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.



Solvärme för industribyggnad i Kungsbacka

Mätresultat och utvärdering

Lars Jensen

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-0872
Plac	<i>ser</i>

*K
9/12*

R50:1981

SOLVÄRME FÖR INDUSTRIBYGGNAD I KUNGSBACKA

Mätresultat och utvärdering

Lars Jensen

Denna rapport hänför sig till forskninganslag 771357-5 från
Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för
byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola.

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

R50:1981

ISBN 91-540-3481-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 153130

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	5
	SAMMANFATTNING.....	7
2	FÖRSÖKSPROJEKT.....	11
	Byggnaden.....	11
	Värme- och ventilationssystemet.....	12
	Solfångaresystemet.....	13
	Värmemagasinet.....	14
	Maskiner och belysning.....	14
3	FÖRSÖKSUTRUSTNING.....	20
	Mätpunkter.....	20
	Modifiering av vattenmätarna.....	21
	Solarimeterintegrator.....	22
	Remotestation.....	22
	Mätdatainsamlingsproblem och fel.....	22
4	BERÄKNAD ENERGIBALANS.....	26
	B1 Hela byggnaden ursprungligt förslag.....	26
	B2 Maskin och lagerhallen ursprungligt förslag.....	26
	B3 Maskin och lagerhall genomfört förslag.....	27
	S1 Solfångaresystem, ursprungligt förslag.....	29
	S2 Solfångaresystem, utfört förslag.....	29
	Kombination B1-S1.....	30
	Kombination B2-S1.....	31
	Kombination B3-S2.....	32
	Solfångaresystemets årsvärmeproduktion.....	33
	Skuggningens inverkan.....	34
5	DRIFTHISTORIA 1979.....	45
	Några kommentarer.....	46
6	DRIFTSHISTORIA.....	56

7	SOLFÅNGARESYSTEMETS VERKNINGSGRAD.....	64
	Solfångaremodeller.....	64
	Skuggning.....	66
	Flödesobalans.....	68
	Experimentell solfångaremodell.....	70
	Enkel felanalys.....	72
8	STYRNING AV SOLVÄRMESYSTEM.....	83
	Analys av starter och stopp.....	83
	Start och stopp av solvärmesystem.....	85
	Styrutrustningar för solfångaresystem.....	90
	Slutsatser.....	92
9	FORTSATT FORSKNING.....	97
	Syfte och metodik.....	97
	Ändrat styr-, regler- och mätsätt.....	99
10	SLUTSATSER.....	101
11	REFERENSER.....	103

1 INLEDNING

Denna rapport dokumenterar utvärdering av mätningar på en solvärmeanläggning för en industribyggnad. Solvärmeanläggningen används för förvärmning av tappvarmvatten och för värmning av ventilationsluft till en stor maskin- och lagerhall. I kapitel 2 beskrivs försöksobjektet.

Använda mätpunkter och använd mätutrustning dokumenteras i kapitel 3. Databesamling har skett med en remotestation ansluten till mätcentralen vid LTH.

Byggnadens beräknade energibalans går igenom i kapitel 4. Solvärmeanläggningen har kombinerats dels med hela byggnaden och enbart maskin- och lagerhallen. Det senare alternativet har kommit till utförande, vilket innebär att solvärmeanläggningens kapacitet endast utnyttjas obetydligt. Maskin- och lagerhallen kan till övervägande delen värmas med maskinvärme.

Mätresultaten redovisas i kapitel 5 och 6 för större delen av 1979 resp större delen av första halvåret 1980. Mätningarna har avslutats vid halvårsskiftet 1980.

Solfångaresystemets uppmätta och beräknade verkningsgrad jämförs särskilt i kapitel 7.

I kapitel 8 behandlas styrning av solvärmesystem. Det är inte så enkelt att styra solvärmesystem som det kan se ut att vara. Den uppmätta temperaturen i solkollektorns översta (ej solbelyst) del kan vara ganska missvisande.

En givare placerad i själva den solbelysta delen ger en enklare styrning med en stor startdifferens och en liten driftsdifferens. Förhållandet mellan differenserna är en funktion av flödet. I samma kapitel görs en översikt för fem olika fabriks differens-temperatur-reglercentraler. Inställningsmöjligheterna är genomgående begränsade.

Några av erfarenheterna från detta och andra forskningsprojekt är att

en del mindre tilläggfunktioner hade underlättat arbetet och gett ett bättre resultat. Några av dessa synpunkter behandlas i kapitel 9, som också inriktats mot fortsatt forskning kring solvärmeanläggningen.

En uppsummering av de viktigaste slutsatserna görs i kapitel 10.

Denna rapport får ses som ett försök att med en begränsad arbetsinsats utvärdera de gjorda mätningarna. Arbetet har främst inriktats på solfångaresystemets värmeproduktion och verkningsgrad. Vindens inverkan har inte studerats. Utvärdering av solfångaresystemet har inte gjorts allt för långtgående, eftersom solinstrålningsmätning har tidvis varit felaktig. Energibalansen för maskin- och lagerhallen har också utvärderats. Uppmätning av flödesbalans i solfångaresystemet har inte skett och skiktningen i tanken har heller inte undersökts.

Författaren erhöll projektet när den ursprunglige projektledaren drog sig ur projektet. Detta inträffade i slutet av 1979. Under våren 1980 påbörjade civilingenjör Svengunnar Tiljander bearbetningen parallellt med de pågående mätningarna.

På grund av stor arbetsbelastning så har det inte varit möjligt för författaren att genomföra slutrapportering förrän under slutet av 1980.

SAMMANFATTNING

1 INLEDNING

Denna rapport dokumenterar utvärdering av mätningar på en solvärmeanläggning för en industribyggnad. Solvärmeanläggningen används för förvärmning av tappvarmvatten och för värmning av ventilationsluft till en stor maskin- och lagerhall.

2 FÖRSÖKSOBJEKT

Försöksobjektet är en industribyggnad, som vid en utökning av maskin- och lagerhall också har försetts med en solvärmeanläggning. Maskin- och lagerhallen uppvärms genom övertempererad tilluft från ett enda ventilationsaggregat. Luftflödet är ca 17000 m³/h. Av detta är alltid minst 2200 m³/h uteluft under arbetstid annars enbart returluft vid varmhållning vintertid. Antalet luftväxlingar blir 0.2/h. Några radiatorer eller rörslangor finns inte.

Tilluften värms i följande sekvens; 1) inblandning av frånluft, 2) uppvärmning med värmebatteri med solvärme och 3) tillsatsvärme med elbatteri, max 64 kW. Ventilationssystemet är normalt i drift under endast arbetstid. Sommartid kan ventilationssystemet gå dygnet runt för att kyla ut maskin- och lagerhallen. Någon klimatkyla för maskin- och lagerhallen finns ej. Använd maskin- och belysningseffekt på omkring 70 kW.

I syfte att minska värmeförlusterna och förbättra arbetsmiljön vid in- och uttransport av lastpallar med gods så byggdes en rullbana i form av en sluss mellan maskin- och lagerhallen och lastkajen.

Solfångaren består av 336 plana englas solfångare av Teknoterms fabrikat. Bredd och längd är 500 mm resp 2000 mm. Solfångaresystemet är ett dränerande system. Flödet är 0.39 dm³/min, m².

Solkollektorerna har placerats lodrät i fyra bankar på tillbyggnadens tak. Varje bank innehåller 12 grupper om 7 moduler. Varje grupp är försedd med en strypventil och matning sker diagonalt underifrån. Grupperna har placerats i två nivåer. En solfångarebank får därför minimimåtten längd 21 m och höjd 4 m. Byggnaden är orienterad så att solfångarnas normal avviker från söder 20° åt öster. Avståndet mellan bankarna är 12 m. De tre bakre bankarna skuggas av framförvarande bank under 20°C .

Värmemagasinet består av en liggande cylindrisk vattentank på 42.5 m^3 med en diameter på 3.3 m och en längd på 5.2 m. Tankens värmekapacitet är $50\text{ kWh}/^{\circ}\text{C}$. Isolertjockleken är 20 cm.

3 BERÄKNAD ENERGIBALANS

Maskin- och lagerhallens energibalans har beräknats (se TAB.3.1). Siffrorna visar att solvärmeanläggningens kapacitet endast utnyttjas obetydligt. Maskin- och lagerhallen kan till övervägande delen värmas med maskinvärme.

Av solvärmeproduktionen på beräknade 93.4 MWh så utnyttjas 2 MWh. Observera att solvärmeproduktionen förutsätter att tanktemperaturen är 25°C varje morgon. Det är också uppenbart att en mindre felräkning kan göra solvärmesystemet helt överflödigt.

TAB.3.1 Beräknad energibalans för utfört förslag

Månad	Värmebehov MWh	Solvärme MWh	Maskin- värme MWh	Utnyttjad solvärme MWh	Nödvändigt tillskott MWh
J	16.4	1.6	15.4	1.0	0.0
F	16.4	4.6	15.4	1.0	0.0
M	14.8	7.7	15.4	0.0	0.0
A	10.9	9.2	15.4	0.0	0.0
M	7.0	12.3	15.4	0.0	0.0
J	3.9	12.5	15.4	0.0	0.0
J	(2.3	13.6	0.0	0.0	-)
A	2.3	13.0	15.4	0.0	0.0
S	5.5	10.7	15.4	0.0	0.0
O	8.6	6.4	15.4	0.0	0.0
N	11.7	2.0	15.4	0.0	0.0
D	14.0	0.6	15.4	0.0	0.0
TOTALT	113.8	93.4	170.0	2.0	0.0

4 SKUGGNINGENS INVERKAN

Beräkning av solfångaresystemets verkningsgrad med och utan hänsyn till skuggning har beräknats för några olika fall. Skuggningsandelen har beräknats för ett flertal fall till 25-75%.

Skuggning medför inte att utbytet reduceras i proportion till skuggningen. En liten skuggning kan minska utbytet till noll. Gränsfallet är att verkningsgraden i de solbelysta solkollektorerna är något mindre än skuggningsandelen. Ett solvärmesystem med solkollektorer i olika bankar, som skuggas olika bör kunna köras individuellt.

Solfångarens verkningsgrad för skuggad och oskuggad bank och för hela systemet (en oskuggad och tre skuggade har beräknats för ett flertal fall. Totalverkningsgraden är i flera fall endast 30-50% av den oskuggade verkningsgraden.

5 MÄTNINGAR OCH MATRESULTAT

Mätningarna har omfattat större delen av 1979 resp större delen av första halvåret 1980. Mätningarna har avslutats vid halvårsskiftet 1980. Datainsamling har skett med en remotestation ansluten till mätcentralen vid LTH. Mättekniska problem har främst varit misslyckade uppringningar. Solinstrålningsmätningar har tidvis varit felaktiga.

Solfångaresystemet har endast varit i drift vid 27 tillfällen under 1979 med start i början av maj och vid 13 tillfällen under tre månader våren 1980. Solvärmeproduktionen har endast varit 8 MWh för 1979 och 2 MWh för 1980. De bästa uppmätta dygnsvärdena för solvärmeproduktion ligger något under de beräknade för klara dagar. Skillnaden är något större för 1980 än 1979.

Verkningsgraden har kontrollerats för ett flertal timmar under våren 1980 och även här ligger de uppmätta värdena under de beräknade med utgångspunkt från testdata från Statens provningsanstalt. Skillnaden kan bero på flödesobalans inom de grupper som har sju solkollektorer i varje grupp. Detta kommer att utredas närmare i en senare rapport.

Solfångaresystemet frös sönder under våren 1979. Orsaken till denna frysning synes vara att rörledningarna hade för lite fall. Detta innebär att systemet inte kom att dräneras som var avsett. De vattenmätare som monterades för varje solfångaregrupp har av entreprenören monterats horisontellt uppe på taket, vilket också bidragit till den dåliga dräneringen. Dessa mätare togs bort vid reparationen, som slutfördes i mitten av maj. Glykol har tillsatts senare.

6 STYRNING AV SOLFANGARESYSTEMET

Styrning av solfångaresystem ser ut att vara en enkel uppgift, men vad den i en av solkollektorerna placerade givaren mäter för en temperatur har stor betydelse. Temperaturen blir ett mellanting av solkollektorns och omgivningens temperatur i ett dränerat system. Detta innebär att startdifferensen minskar med ökande tanktemperatur (blivande inloppstemperatur). Startdifferensen blir negativ för höga tanktemperaturer. Detta medför att system för långtidslagring kan helt misslyckas att lagra mer solvärme vid höga tanktemperaturer. Start sker alltså endast vid höga instrålningar eller inte alls. Det finns också ett arbetsområde vid låga tanktemperaturer som medför starter som ger dåligt utbyte med påföljd att systemet stoppas.

En annan slutsats är att inställningsmöjligheterna på de styrcentraler som finns för solvärmesystem är för begränsade.

Start av ett solfångaresystem bör ske med en solbelyst givare i en solkollektormodul. Stopp bör ske med en givare i returledningen för solfångaremoduler. Detta för att kontrollera totala utbytet som kan påverkas starkt av skuggning.

2. FÖRSÖKSOBJEKT

Försöksobjektet är en industribyggnad, som vid en utökning av maskin- och lagerhall också har försetts med en solvärmeanläggning. Byggnaden, ventilations- och värmesystemet, solfångaresystemet och värmelagrings-systemet beskrivs i de följande avsnitten. Uppvärmning av maskin- och lagerhallen och varmvattenberedning sker delvis med solvärme.

Forskningsprojektet behandlar endast maskin- och lagerhallens och solfångaresystemets värmebalans. Energibalansen för kontorsdelen i den äldre byggnaden behandlas ej, eftersom solvärmesystemet endast försörjer maskin- och lagerhallen. Ett litet undantag är förvärmning av varmvatten för hela byggnaden.

Byggnaden

Den aktuella byggnaden består av en äldre byggnad som innehåller kontor och en maskin- och lagerhall. Kontorsdelen är i två plan och är lika stor volymmässigt som den gamla maskin- och lagerhallen.

Maskin- och lagerhallen har utökats nästan tre gånger yt- och volymmässigt genom en tillbyggnad längs den äldre byggnadens ena långsida. En planritning för arkitektens förslag ges i FIG.2.1.

Arkitektens förslag följdes ej helt. Pausrummet på östsidan slopades och ersattes med ett mindre fönster. Värmelagret placerades ovanför expeditiionslokalen och inte utanför byggnaden. Tilltänkta takfönster slopades också.

Det ursprungliga förslaget omfattade 440 m^2 solfångaryta och en lagringstank på 50 m^3 . Solfångarna var placerade i fem bankar varav en slopades. Samtidigt minskades tankvolymen till 42.5 m^3 . Solfångarytan minskades dessutom från 88 m^2 till 84 m^2 per bank.

I syfte att minska värmeförlusterna och förbättra arbetsmiljön vid in- och uttransport av lastpallar med gods så byggdes en rullbana i form av

en sluss mellan maskin- och lagerhallen och lastkajen. Det kan påpekas att under arbetstid när slussen skall användas så har man knappast något uppvärmningsbehov på grund av tillskottsvärme från maskiner, belysning, fläktar och personal.

Ventilations- och värmesystemet

Maskin- och lagerhallen uppvärms genom övertempererad tilluft från ett enda ventilationsaggregat. Luftflödet är ca $17000 \text{ m}^3/\text{h}$. Av detta är alltid minst $2200 \text{ m}^3/\text{h}$ uteluft under arbetstid annars enbart returluft vid varmhållning vintertid. Några radiatorer eller rörslingar finns inte.

Uteluftsmängden är bestämd enligt SBN 75. Hallvolymen är omkring 10040 m^3 och antalet personer som vistas i hallen är 20. Luftvolymen per person blir då 502 m^3 . På grund av den stora luftvolymen per person gäller begränsningen $0.35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$. Maskin- och lagerhallens golvyta är omkring 1700 m^2 , vilket ger ett luftflöde på $0.595 \text{ m}^3/\text{s}$ eller $2140 \text{ m}^3/\text{h}$.

Antalet luftväxlingar blir $0.2/\text{h}$.

Elektriska eftervärmebatterier finns för expeditjonslokal på 0.9 kW och för handplockningslokal i befintlig kontorsdel på 2.1 kW .

Kontorsdelen värms med elradiatorer och ventileras med ventilationsaggregat som erhö11 värmeåtervinning samtidigt som tillbyggnaden gjordes.

Uppvärmningen av tilluften till maskin- och lagerhallen sker i följande sekvens

1. Inblandning av frånluft
2. Uppvärmning med värmebatteri med solvärme
3. Tillsatsvärme med elbatteri, max 64 kW

Ventilationssystemet är normalt i drift under endast arbetstid. Sommartid kan ventilationssystemet gå dygnet runt för att kyla ut maskin- och lagerhallen. Någon klimatkyla för maskin- och lagerhallen finns ej.

Solfångaresystemet

Solfångaren består av 336 plana solfångare av Teknoterms fabrikat. Bredd och längd är 500 mm resp 2000 mm. Glasningen utgörs av ett 6 mm enkelglas.

Solkollektorerna har placerats lodrät i fyra bankar på tillbyggnadens tak. Varje bank innehåller 12 grupper om 7 moduler. Varje grupp är försedd med en strypventil och matning sker diagonalt underifrån. Grupperna har placerats i två nivåer. En solfångarebank får därför minimimåttens längd 21 m och höjd 4 m. Byggnaden är orienterad så att solfångarnas normal avviker från söder 20° åt öster.

Det finns inga närliggande byggnader som kan skugga solfångarna. Avståndet mellan bankarna är 12 m, vilket medför att de tre bakre solfångarna skuggas av de framförvarande. Solhöjden över 20° ger ingen skuggning. Skuggningsandelen har beräknats och återges i FIG.4.1

Solfångaresystemet är ett dränerat system. Fyllningstiden är 8 minuter för solfångarna och 2 minuter för rörsystemet vid ett beräknat flöde på $0.25 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$. Solfångaresystemet startas när en temperatur mätt på det övre samlingsröret är 5°C högre än tankens bottentemperatur. Solfångaretemperaturen mäts i den första oskuggade banken.

När temperaturskillnaden blir för liten så stoppas pumpen och solfångaresystemet dräneras. Värmemagasinet, vattentanken, tjänstgör som dräneringskärl. Dräneringen underlättas genom att den första banken är luftad via tanken.

Totalflödet dimensionerades till $84 \text{ dm}^3/\text{min}$ vid ett dynamiskt tryckfall på 1600 mm och ett statiskt tryckfall på 6000 mm som tillkommer vid start (dränerat rörsystem). Det verkliga flödet är större, totalt $132 \text{ dm}^3/\text{min}$, vilket blir $0.386 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$ mot ursprungliga $0.25 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$. Pumpmotoreffekten är på 1.1 kW.

Värmemagasinet

Värmemagasinet består av en liggande cylindrisk vattentank på 42.5 m^3 med en diameter på 3.3 m och en längd på 5.2 m. Tankens värmekapacitet är $50 \text{ kWh}/^\circ\text{C}$. Isolertjockleken är 20 cm. Tankens isolering har värmekonduktansen $20 \text{ W}/^\circ\text{C}$. Vid en övertemperatur på $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i förhållande till omgivningen så blir den avgivna effekten 400 W.

Tankens tidskonstant kan enkelt beräknas till omkring 2500 timmar. Under fyra månader förloras $2/3$ av värmeinnehållet till omgivningen om ingen tillförsel eller bortförsl av energi sker.

Solfångaresystemet står i direkt förbindelse med tanken (ingen värmeväxling). Tanken är ej helt fylld och kan därför användas som expansionskärl och dräneringskärl för solfångaresystemet. Värme tas för att förvärma tappvatten och för att värma ventilationsluften till maskin- och lagerhallen.

Tankvolymen är inte särskilt stor i förhållande till beräknat flöde på $5040 \text{ dm}^3/\text{h}$, vilket ger en omsättningstid på omkring 8 timmar. Det uppmätta flödet visade sig vara omkring $7900 \text{ dm}^3/\text{h}$. Det tar alltså endast 5 timmar att cirkulera hela tankens vattenmängd genom solfångarna.

Maskiner och belysning

Företaget sysslar bl a med hantering av trycksaker. Man förser dem med tilltryck, paketerar dem etc. Det finns därför i lokalen ett antal ganska effektkrävande och därmed värmeavgivande maskiner. Flera maskiner svetsar plastfilm kring trycksaker och därefter krymps plastfilmen med hög temperatur i en liten tunnelugn. Svetsningen sker vid omkring $150 \text{ }^\circ\text{C}$ och krympningen vid omkring $250 \text{ }^\circ\text{C}$. För tre av de mest värmekrävande och värmeavgivande maskinerna finns utsugningshuvor, som skall bortföra maskinvärmen från maskin- och lagerhallen. Nedan ges en sammanställning för befintliga maskiner

Maskintyp	Effekt kW	Antal	Samman- lagring %	Beräknad effekt kW
Adresseringsmaskin	3	2	80	4.8
Krypugn	16	1	80	12.8
Krypugn	12	3	80	28.8
Ibladning	2	2	30	0.6
Påtrycksmaskin	3	3	80	7.2
Kuverteringsmaskin	3	2	80	4.8
Plastkuvertering	2	1	80	1.6
TOTALT				60.6
Belysning	12		100	12.0

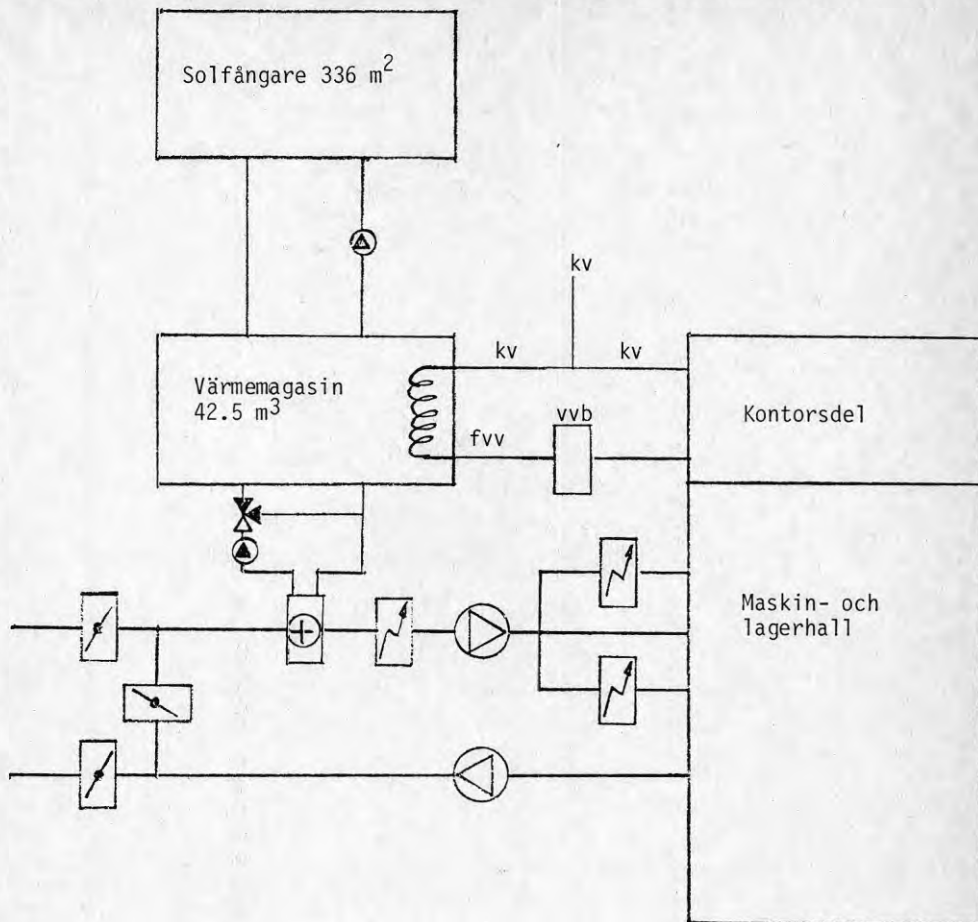
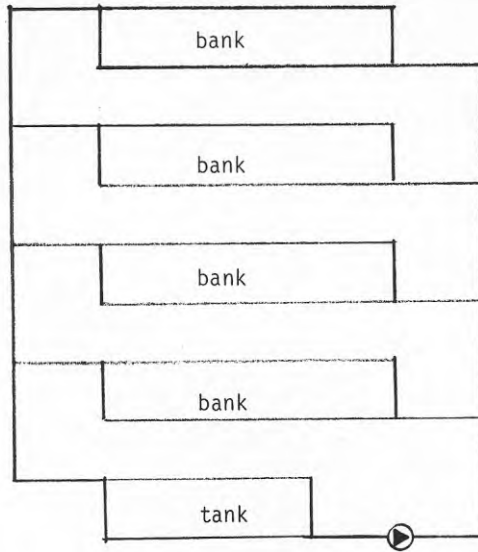
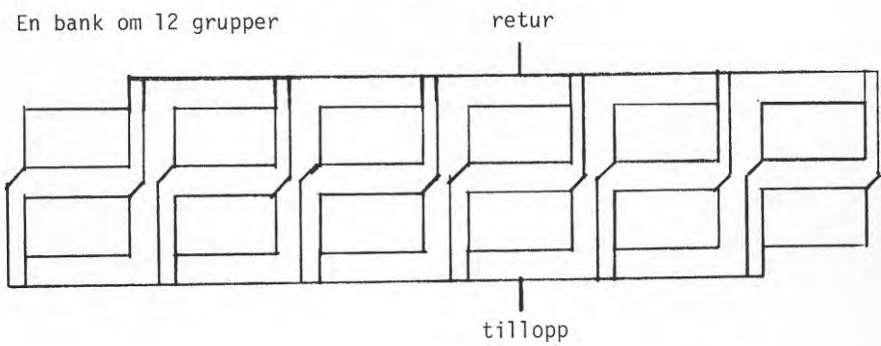


FIG.2.2 Principskiss för inkoppling av solvärme till aktuell industribyggnad.

Solfångerssystem om 4 bankar



En bank om 12 grupper



En grupp om 7 moduler

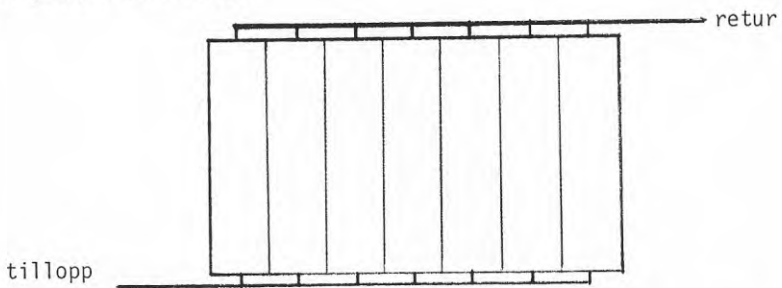


FIG 2.3 Principschema för solfångaresystemet, en bank och en grupp.

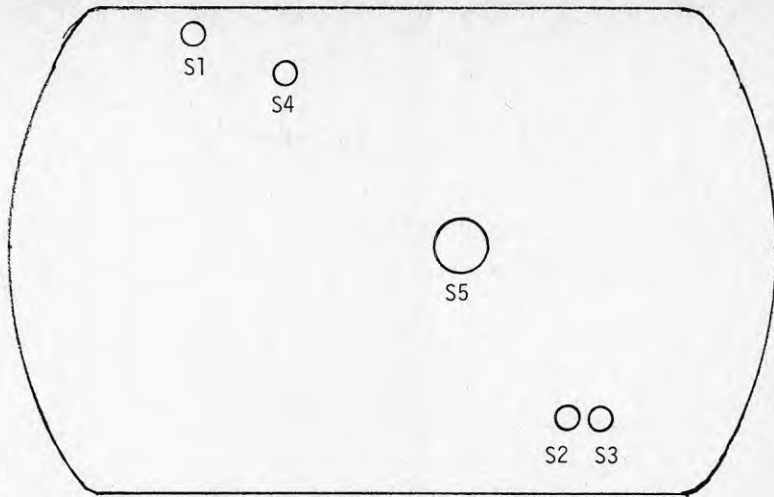


FIG 2.4 Värmelagret - vattentanken med de viktigaste anslutningarna

- S1 från solfångare
- S2 till "
- S3 från värmebatteri ventilation
- S4 till " "
- S5 anslutningsstos för förvärmningsbatteri(CTC 32) för tappvarmvatten

Skala 1:40

3 FÖRSÖKSUTRUSTNING

Mätpunkter

Ett flertal givare av olika typ har installerats för att bestämma tillbyggnadens och solfångaresystemets energibalans. De olika givarna har anslutits till remotestation och nedan anges kanalnummer och mätenhet inom parentes.

Vattenmätare

V1	Värmebatteri ventilation	(3)	1 dm ³ /puls
V2	Solfångare	(4)	10 dm ³ /puls
V3	Tappvarmvatten	(5)	1 dm ³ /puls

Energimätare (vatten)

E1	Värmebatteri ventilation	(15)	1/9 kWh/puls
E2	Solfångare	(16)	1/9 kWh/puls
E3	Tappvarmvatten	(17)	1/10 kWh/puls

Energimätare (elkraft maskinhall)

E4	Maskiner	(12)	1 kWh/puls
E5	Fläktar tillsatsvärme ventilation	(13)	1 kWh/puls
E6	Belysning	(14)	1 kWh/puls

Lufttemperaturer

T1	Mätutrustning	(21)	°C
T2	Tilluft maskin	(22)	°C
T3	Lokalluft lager högt	(23)	°C
T4	Lokalluft lager mellan	(24)	°C
T5	Lokalluft lager lågt	(25)	°C
T6	Mättrummet	(26)	°C
T7	Uteluft i uteluftskanal	(27)	°C
T8	Tilluft efter blandning	(28)	°C
T9	Tilluft efter värmebatteri	(29)	°C
T10	Tilluft efter elbatteri	(30)	°C

T11	Frånluft	(31)	°C
T12	Uteluft på taket	(32)	°C
T13	Lokalluft manuell plockning	(33)	°C
T16	Frånluft efter utsug från maskiner	(36)	°C

Vattentemperaturer

T20	Tank överst	(40)	°C
T21	Tank näst överst	(41)	°C
T22	Tank näst nederst	(42)	°C
T23	Tank nederst	(43)	°C
T24	Solfångare tillopp	(44)	°C
T25	Solfångare retur	(45)	°C
T26	Tappvarmvatten före tank	(46)	°C
T27	Tappvarmvatten efter tank	(47)	°C
T28	Värmebatteri tillopp	(48)	°C
T29	Värmebatteri retur	(49)	°C

Klimatdata

SM	Solinstrålning mot horisontell yta	(10)	0.05 Wh/m ² , puls
VM	Vindmätare	(11)	m/s

Modifiering av vattenmätarna

Vattenmätarna hade vid leveransen ingen elektrisk signal ut. För att klara av detta problem finns möjligheten att montera ett mekaniskt kontaktverk. Vi valde emellertid en annan metod enligt följande. På vattenmätarens turbinaxel monterades en mässingsskiva med fyra slitsar och grensle över denna skiva sattes sedan en läsgaffel, så att vattenmätarens rotation kunde kännas av optiskt. Den elektronik som behövs för att driva läsgaffeln kunde byggas upp på en liten hållare, som monterades inne i integreringsverket och som fick sin ström från detta. Integreringsverken skall enligt specifikationerna ha en puls/25 l vatten. Förutom beräkning av energimängderna med hjälp av differens temperaturer

sker också en ren division med 4 på vattenmängden. Ut från integreringsverket kommer alltså en puls/kWh och en puls/100 l vatten. Det visade sig att vattenmätarnas turbinhjul gjorde 9 varv/100 l vatten utom tappvarmvattenmätaren som gjorde 10 varv/100 l. Upplösningen ökades ytterligare med en faktor genom att utnyttja en omkopplingsmöjlighet i själva integreringsverket. Upplösningen blir då 9x4, dvs 1 kWh ger 36 pulser. När detta skrivs så har kontroller visat att solvärmemätare endast har en upplösning på 9 ggr, dvs 1 kWh ger 9 pulser. Den interna multiplikationen med fyra gäller enbart själva räkneverket och inte pulsutgången som är kopplad till remotestationen.

Solarimeterintegrator

Solarimetern ger en spänning proportionell mot den momentana totalstrålningseffekten. För att ge en meningsfull information måste effekten integreras under exempelvis en timme. Det enklaste sättet att uppnå detta är att med hjälp av en spänning/frekvensomvandlare göra ett pulståg med en frekvens proportionell mot strålningseffekten och sedan räkna antalet pulser under en timme.

Remotestation

Datainsamling sker med en remotestation ansluten via telenätet till mätcentralen vid LTH. Uppringning och avläsning sker en gång per timme. Analog mät signaler är momentanvärden t ex alla temperaturer. Energier och flöden mäts med summerande mätare som avger pulser. Pulserna räknas av remotestationen med programvara. Efter varje avläsning sker nollställning. Varje avläsning tar mindre än en minut.

Mätdatainsamlingsproblem och fel

Ett stort problem med datainsamlingen har varit misslyckade uppringningar. Antalet misslyckade uppringningar har ibland varit flera per vecka. Vid nästa uppringning så visar alla ackumulerande mätare i stort

sett dubbelt. I vissa fall så går mätningarna då utanför talområdet.

Ett annat problem är förskjutningar av mätkanaler som kan vara svårt att kunna upptäcka.

Antalet insamlade data är omkring 1000 per dygn. Ett fel på en procent medför några tiotal felaktiga mätvärden per dygn, vilket är arbetskrävande att rätta.

Solarimetern har visat alldeles för stora värden under första halvåret 1980. De uppmätta värdena uppvisar även några oförklarliga morgon- och kvällstoppar (se FIG.3.2). Kontroll skall ske i Lund efter nedmontering.

Utvärdering har också försvärats genom att temperaturvärdena är momentana och att samplingsintervallet har varit 1 timme.

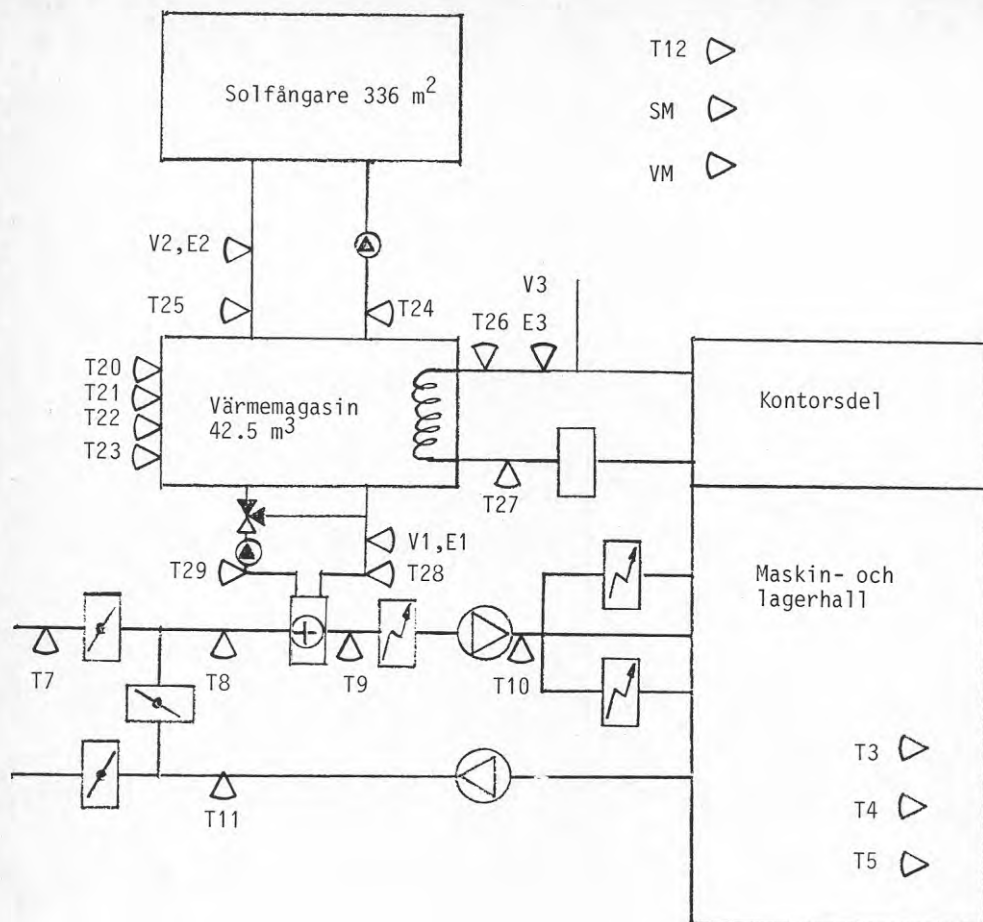


FIG.3.1 Principskiss för mätpunktspacering. Vattenmängds- och energimätare betecknas med V resp E. Temperaturgivare betecknas med T.

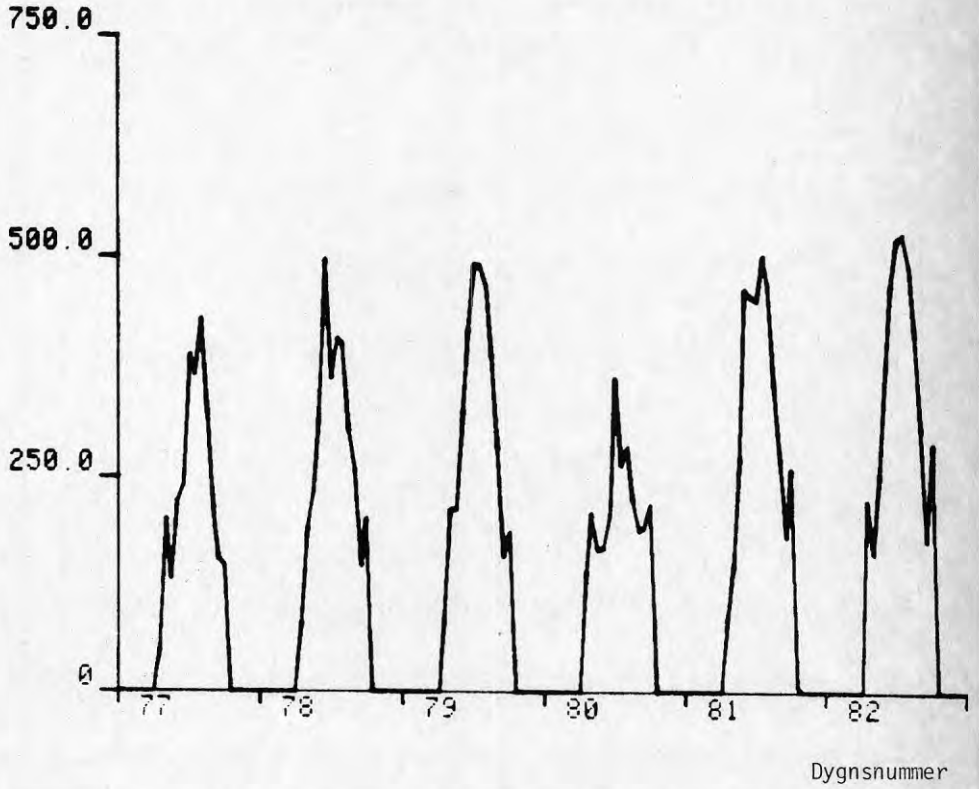
Solinstrålning Wh/m²

FIG.3.2 Uppmätt solinstrålning mot horisontell yta, 17-22 mars 1980.

4 BERÄKNAD ENERGIBALANS

I detta kapitel återges olika beräknade energibalanser för byggnaden eller olika delar av byggnaden och för olika solfångaresystem. I kapitlet ges också en sammanställning för solvärmeproduktion som funktion av olika lutningar, orienteringar, flöden, tankvolym och starttemperaturer. Beräkningarna har gjorts med Teknoterms datorprogram, som inte tar hänsyn till skuggning och reflektion.

Sist i kapitlet beräknas skuggningsandelen för några olika dygn i förhållande till midvinterfallet. De bakre bankarna skuggas tidvis mellan 25.75%. Den beräknade skuggningsandelen används för att beräkna insamlad solvärme för klara dagar. Skuggningen minskar utbytet mycket kraftigt kring midvinterfallet.

I fortsättningen används följande terminologi för byggnaden:

B1 Hela byggnaden ursprungligt förslag: Ursprunglig byggnad och ursprungligt förslag till tillbyggnad. I Olsson och Wiberg (1977) beskrivs dels den ursprungliga byggnadens energianvändning, som var totalt 280 MWh fördelat på 170 MWh för maskiner och 110 MWh för uppvärmning, ventilation och belysning. Värmebehovet har beräknats till 86 MWh för transmission och 149 MWh för ventilation. En rest på 45 MWh ventileras bort sommartid. I TAB.4.1 görs en sammanställning av hela värmebehovet efter att ventilationsvärmebehovet halverats genom installation av värmeåtervinning för alternativ B1. Värmeöverskottet i tillbyggnaden sommartid har inte kunnat användas för den ursprungliga byggnaden (kontorsdelen).

B2 Maskin och lagerhallen ursprungligt förslag: Ursprunglig maskin- och lagerhall och ursprungligt förslag till tillbyggnad. Tillbyggnad innebär att den befintliga maskin- och lagerhallen utökas 250%. Utbyggnaden sker längs den befintliga maskin- och lagerhallens långa yttervägg, som tas bort. Värmebehovet har beräknats för det ursprungliga förslaget som innehåller både takfönster och växthus till följande värden för en innetemperatur av 20 °C och en luftväxling på 0.2 ggr/h. Värmebehovet redovisas i TAB.4.1 som alternativ B2.

B3 Maskin- och lagerhall genomfört förslag: Ursprunglig maskin- och lagerhall och genomfört förslag till tillbyggnad. VVS-konsulten har beräknat den nuvarande maskin- och lagerhallens specifika värmebehov för uppvärmning till $903 \text{ W/}^\circ\text{C}$ för transmission och $770 \text{ W/}^\circ\text{C}$ för ventilation (uteluftsflöde $2200 \text{ m}^3/\text{h}$). Värmebehovet beräknas samtidigt som soltillskottet försummas (se TAB.4.1). Ventilationen är 40 h per vecka. Det specifika värmebehovet blir då $1083 \text{ W/}^\circ\text{C}$ utslaget per vecka.

TAB.4.1 Beräknat värmebehov för byggnadsfallen B1, B2 och B3

Månad	Ute-temp $^\circ\text{C}$	B1 MWh	B2 MWh	B3 MWh
J	-1	41.9	17.9	16.4
F	-1	35.3	14.5	16.4
M	1	31.7	10.7	14.8
A	6	15.8	0.8	10.9
M	11	10.0	(-8.6)	7.0
J	15	5.0	(-14.2)	3.9
J	17	3.0	(-12.7)	2.3
A	17	3.0	(-9.8)	2.3
S	13	8.0	(-2.1)	5.5
O	9	18.5	6.5	8.6
N	5	27.9	11.9	11.7
D	2	35.9	15.9	14.0
TOTALT		236.2	78.2	113.8

TAB.4.2 Solvärmesystemets värmeproduktion för fall S1 och S2

Månad	Ute- temp °C	Använd korrigere- rings- faktor	S1	S2
			MWh/mån	MWh/mån
J	-1	0.8	1.7	1.6
F	-1	1.1	7.5	4.8
M	1	1.1	13.9	7.7
A	6	1	15.1	9.2
M	11	1	18.0	12.3
J	15	1	19.5	12.5
J	17	1	22.5	13.6
A	17	1	20.3	13.0
S	13	1.1	17.5	10.7
O	9	1.1	9.8	6.4
N	5	0.8	1.8	2.0
D	2	0.5	0.3	0.6
TOTALT			147.9	93.4

S1 Solfångaresystem, ursprungligt förslag:

ort	Stockholm
lutning	90 ⁰ (vertikalt)
avvikelse från söder	10 ⁰ (mot öster)
kollektoryta	440 m ²
flöde	1 dm ³ /min, m ²
tankvolym	50 m ³
starttemperatur	25 °C (varje dygn)

Med ett datorprogram från Teknoterm AB gjordes en körning för fallet ovan. De beräknade värdena korrigerades för en uppskattad skuggning och reflektion (se TAB.4.2).

S2 Solfångaresystem, utfört förslag:

ort	Göteborg
lutning	90 ⁰ (vertikalt)
avvikelse från söder	20 ⁰ (mot öster)
kollektoryta	336 m ²
flöde	0.25 dm ³ /min, m ²
tankvolym	40 m ³
starttemperatur	25 °C

Solfångaresystemet har minskats något och har beräknats med Teknoterms datorprogram med data enligt ovan. Korrektion har gjorts för skuggning på samma sätt som i TAB.4.2, men inte för reflektion. Några reflekterare har inte installerats.

Kombination B1-S1, TAB.4.3

Siffrorna i TAB.4.3 visar att av byggnadens totala värmebehov på 236.2 MWh så täcker solvärmesystemet 57.7 MWh. Större delen av solvärmeproduktionen på 147.9 MWh kan alltså inte utnyttjas. Överproduktionen är 90.2 MWh. Tankens lagringsförmåga är endast 4 MWh. Det förutsätts att maskinvärmets bara utnyttjas i maskin- och lagerhallen.

TAB.4.3 Beräknad energibalans för kombination B1-S1.

Månad	Värmebehov B1 MWh	Maskin- värme MWh	Solvärme S1 MWh	Utnyttjad solvärme MWh	Nödvändigt tillskott MWh
J	41.9	15.4	1.7	1.7	24.8
F	35.5	15.4	7.5	7.5	12.6
M	31.7	15.4	13.9	13.9	2.4
A	15.8	15.4	15.1	0.4	0
M	(10.0)	15.4	18.0	10.0	0
J	(5.0)	15.4	19.5	5.0	0
J	(3.0)	0.0	22.5	3.0	0
A	(3.0)	15.4	20.3	3.0	0
S	(8.0)	15.4	17.5	8.0	0
O	18.5	15.4	9.8	3.1	0
N	27.9	15.4	1.8	1.8	10.7
D	35.9	15.4	0.3	0.3	20.2
TOTALT	236.2	170.	147.9	57.7	70.7

Kombination B2-S1, TAB.4.4

Totalsiffrorna visar att solvärmesystemet kan producera 147.9 MWh om det laddas ur till 25 °C varje dygn, men endast 2 MWh utnyttjas av nytillbyggnaden för uppvärmning kring årsskiftet.

TAB.4.4 Beräknad energibalans för kombination B2-S1

Månad	Värmebehov B2 MWh	Solvärme S1 MWh	Maskin- värme MWh	Utnyttjad solvärme MWh	Nödvändigt tillskott MWh
J	17.2	1.7	15.4	1.7	0.8
F	14.5	7.5	15.4	0	-
M	10.7	13.9	15.4	0	-
A	0.8	15.1	15.4	0	-
M	0	18.0	15.4	0	-
J	0	19.5	15.4	0	-
J	0	22.5	0	0	-
A	0	20.3	15.4	0	-
S	0	17.5	15.4	0	-
O	6.5	9.8	15.4	0	-
N	11.9	1.8	15.4	0	-
D	15.9	0.3	15.4	0.3	0.2
TOTALT	78.2	147.9	170.	2.0	1.0

Kombination B3-S2, TAB.4.5

Av solvärmeproduktionen på beräknade 93.4 MWh så utnyttjas 2 MWh. Observera att solvärmeproduktionen förutsätter att tanktemperaturen är 25 °C varje morgon. Det är också uppenbart att en mindre felräkning kan göra solvärmesystemet helt överflödigt, om det enbart används för tillbyggnaden.

I det ursprungliga förslaget avsågs inte att tappvarmvattenberedning skulle ske med solfångaresystemet, men i den utförda anläggningen sker förvärmning av tappvarmvatten. En grov uppskattning av månadsförbrukning är 5 m³. Energibehovet per månad vid en temperaturhöjning av 50 °C blir 290 kWh. Årsenergibehovet blir 3.5 MWh.

Slutsatsen är att den beräknade energibalansen för tillbyggnaden - solvärmesystemet visar att solvärmesystemets möjliga produktion utnyttjas obetydligt.

TAB.4.5 Beräknad energibalans för kombination B3-S2

Månad	Värmebehov B3 MWh	Solvärme S2 MWh	Maskin- värme MWh	Utnyttjad solvärme MWh	Nödvändigt tillskott MWh
J	16.4	1.6	15.4	1.0	0.0
F	16.4	4.6	15.4	1.0	0.0
M	14.8	7.7	15.4	0.0	0.0
A	10.9	9.2	15.4	0.0	0.0
M	7.0	12.3	15.4	0.0	0.0
J	3.9	12.5	15.4	0.0	0.0
J	(2.3	13.6	0.0	0.0	-)
A	2.3	13.0	15.4	0.0	0.0
S	5.5	10.7	15.4	0.0	0.0
O	8.6	6.4	15.4	0.0	0.0
N	11.7	2.0	15.4	0.0	0.0
D	14.0	0.6	15.4	0.0	0.0
TOTALT	113.8	93.4	170.0	2.0	0.0

Solfångaresystemets årsvärmeproduktion

Solfångaresystemets värmeproduktion har beräknats för några olika lutningar, orienteringar, flöden, tankvolym och starttemperaturer. Beräkningarna har skett med Teknoterms egna datorprogram. Dessa program tar inte hänsyn till skuggning eller reflektion. Grunddata är om inget annat anges följande

lutning	90 ⁰ (vertikalt)
orientering	20 ⁰ (från söder mot öster)
yta	336 m ²
flöde	0.386 dm ³ /min,m ² (uppmätt)
tankvolym	40 m ³
starttemperatur	25 °C (urladdad varje dygn)

Starttemperatur varje dygn °C	Arsenergi MWh
25	100
30	85
35	72
40	60
45	50
50	41
55	32
60	24
Orientering, grader	
0	101
10	101
20	100
30	98
40	95
Lutning, grader	
90	100
80	115
70	128
60	138
Vattenflöde, dm ³ /min,m ²	
0.25	96
0.50	101
1.00	105
(0.386)	100)
Tankvolym, m ³	
10	68
20	87
40	100
80	108

Skuggningens inverkan

Beräkning av solfångaresystemets verkningsgrad med och utan hänsyn till skuggning har beräknats för några olika fall. Skuggningsandelen har beräknats för en något förenklad geometri (se FIG.4.1). Solfångareytan och den skuggande ytan är densamma. Längd 21 m, höjd 4 m, avstånd 12 m. De fyra parallella ytorna är orienterade 20° åt öster från söder. Den verkliga skuggande ytan är större än själva kollektorytan, vilket beror på den bärande ramen och rörsystemet.

Formler för solfångarens verkningsgrad och skuggningens inverkan behandlas i kapitel 7 och dessa har beteckningarna (7.5) resp (7.14). Formlerna, som beskriver solinstrålning (direkt och diffus) (4.5-8), har tagits från Brown och Isfält (1974).

Solkollektorernas verkningsgrad utan skuggning v_{os} har beräknats som

$$v_{os} = a + k(t_{om} - t_{in})/I \quad (4.1)$$

där

$$a = 0.72$$

$$k = 6.0 \text{ W/m}^2, ^{\circ}\text{C}$$

$$t_{om} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{in} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$I = \text{beräknad solinstrålning W/m}^2$$

eller

$$v_{os} = 0.72 + 150/I \quad (4.2)$$

Den totala verkningsgraden v_t med skuggningsandelen s för de tre bakre bankarna blir

$$v_t = v_{os} - 3 \text{ as}/4 \quad (4.3)$$

eller

$$v_t = v_{os} - 0.54 \text{ s} \quad (4.4)$$

Solinstrålningen har beräknats som

$$I = \cos i I_d + I_h/2 \quad (4.5)$$

där

I_d = direkt instrålning

I_h = diffus instrålning

i = infallsvinkel

Direkt instrålning I_d har beräknats för solhöjder b mindre än 0.261799 (radianer)

$$I_d = (((b_4 b + b_3) b + b_2) b + b_1) b \quad (4.6)$$

där

$$b_1 = 6714.56$$

$$b_2 = -31165.97$$

$$b_3 = 83437.14$$

$$b_4 = -88563.88$$

och för solhöjder b större än 0.261799 (radianer)

$$I_d = 1071. e^{-0.109/\sin b} \quad (4.7)$$

Diffus himmelsstrålning I_h har beräknats enligt

$$I_h = 113. (1 - e^{-2.86479b}) \quad (4.8)$$

De här angivna beräkningsuttrycken avser vinterfallet och givetvis klara dagar.

Den insamlade energin har beräknats för fem olika fall från midvinterfallet med en skillnad på 20 dygn. Beräkningen har skett för fallet klara dagar och med de tidigare redovisade formlerna för verkningsgrad och solinstrålning. Insamlad solenergi har beräknats för fallet med och

utan skuggning när motsvarande verkningsgrad varit positiv. I ett tredje fall så har insamlad solenergi beräknats för den skuggade verkningsgraden, när styrning sker efter den oskuggade verkningsgraden. Detta kan motsvara ett fall med olämplig styrning utan hänsyn till styrning. Dessa dygnssummor redovisas i TAB.4.6-8 för olika temperaturskillnad 25 °C, 35 °C och 45 °C mellan inloppstemperatur till solfångare och omgivning. Observera att temperaturskillnaden är konstant under hela dagen (tanken antas vara oändligt stor). Den aktuella tanken har en värmelagringskapacitet på omkring 50 kWh/°C, vilket medför att inloppstemperaturen kan ändras 10 °C och mer i vissa fall. En viss interpolation kan därför ske mellan värdena i TAB.4.6-8 för de olika inloppstemperaturerna.

I TAB.4.6-8 återges också Teknoterms värden interpolerade till samma tidpunkt. Dessa värden har beräknats med hänsyn till tankens begränsade lagringsförmåga, dvs inloppstemperaturen ändras under dagen. Dessa värden skall jämföras med de för det oskuggade fallet, då Teknoterms datorprogram inte tar hänsyn till skuggning. Ursprungsvärdena för insamlad solvärme under klara dagar mitt i månaden anges i TAB. 4.9 för några månader och olika inloppstemperaturer.

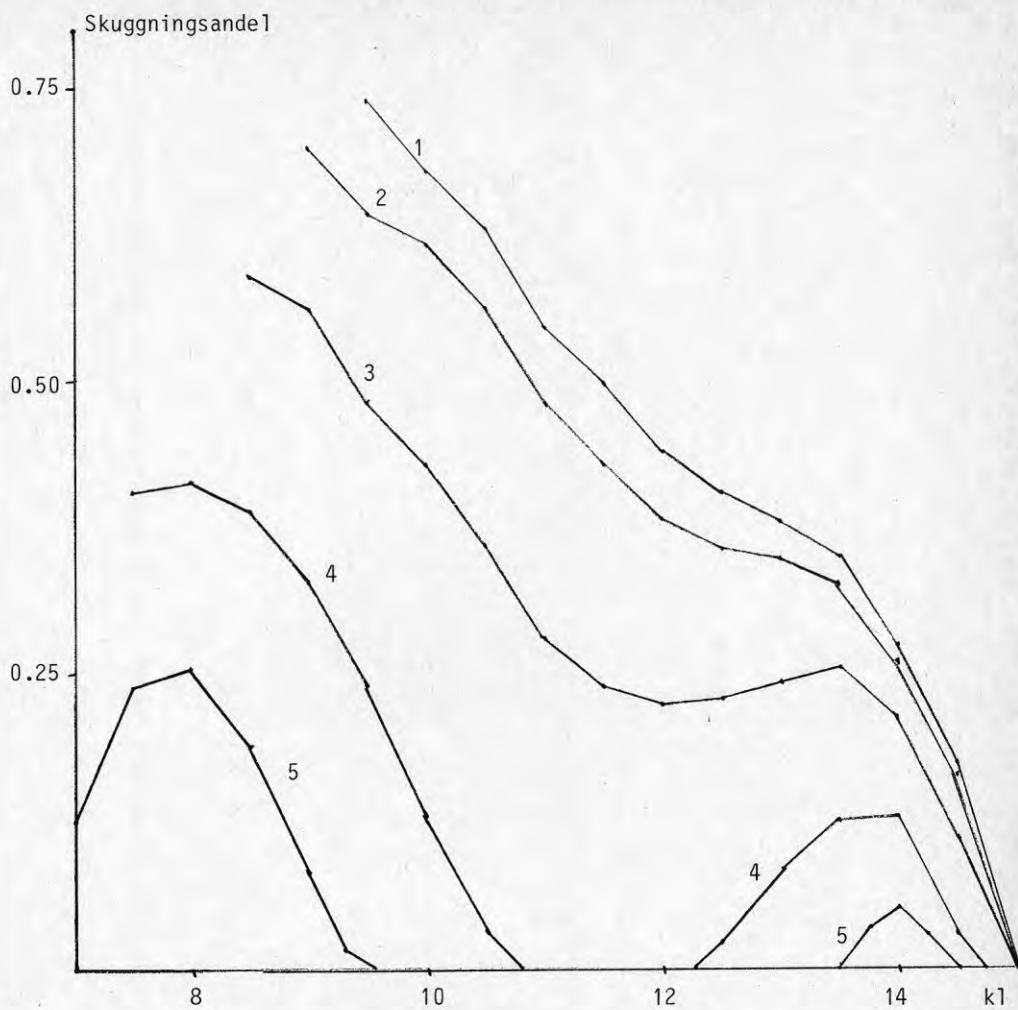


FIG.4.1 Skuggningsandel för en vertikal yta, längd 21 m, höjd 4 m, skuggad av en likadan yta på ett avstånd 12 m framför. Ytor-
nas normal är orienterad 20° från söder mot öster. Latitud 58° . Sann soltid. De fem kurvorna är följande:

- 1 midvinterfallet
- 2 midvinterfallet + 20 dygn
- 3 midvinterfallet + 40 dygn
- 4 midvinterfallet + 60 dygn
- 5 midvinterfallet + 80 dygn

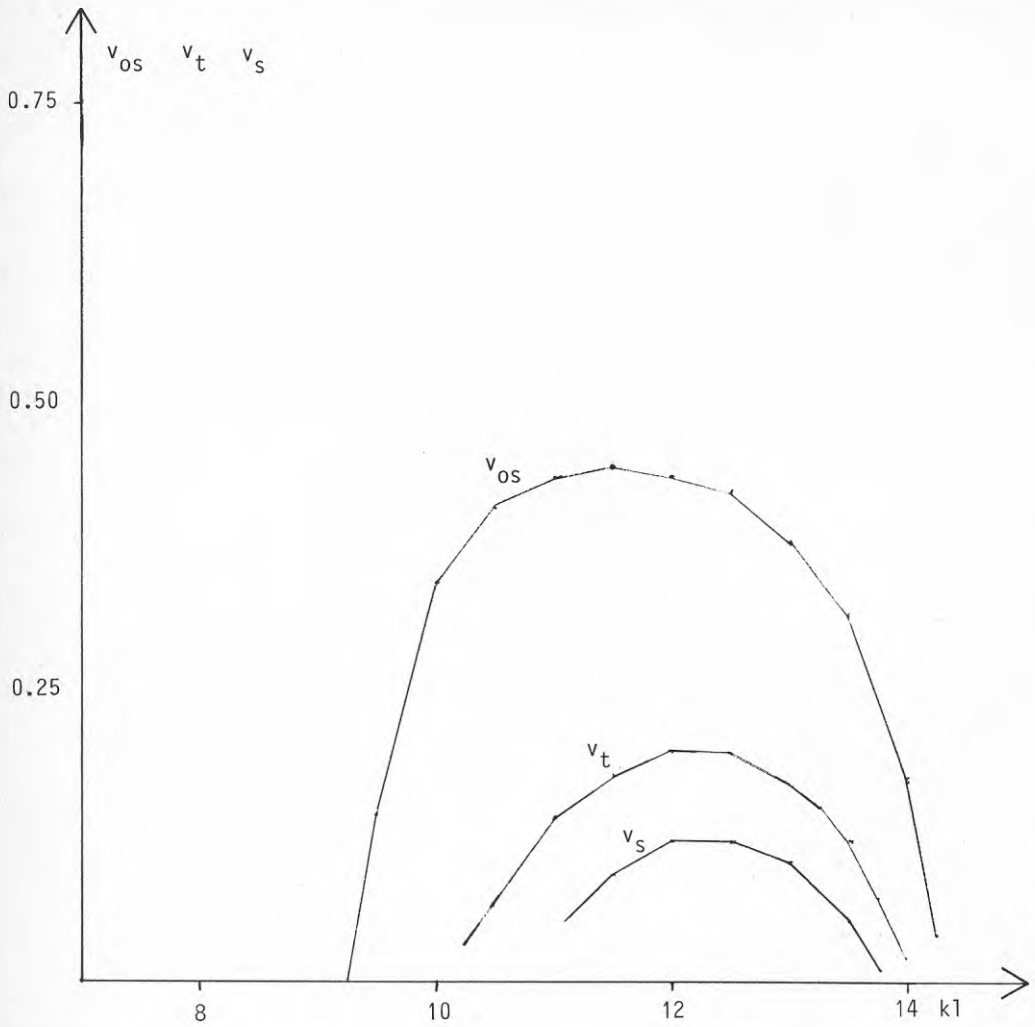


FIG.4.2 Verkningsgrad v_{0s} för oskuggad bank, v_s skuggad bank och v_t för en oskuggad och tre skuggade banker för midvinterfallet.

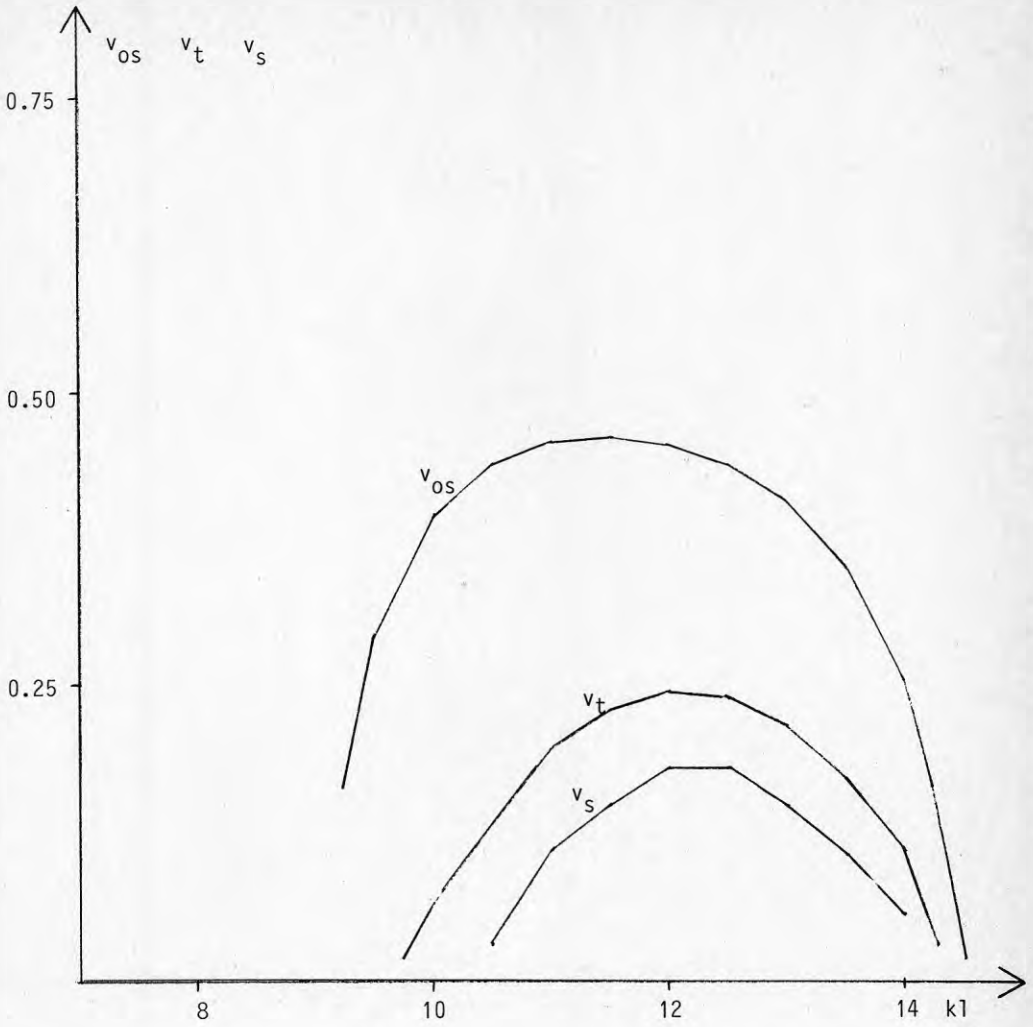


FIG.4.3 Verkningsgrad v_{0s} för oskuggad bank, v_s skuggad bank och v_t för en oskuggad och tre skuggade banker för midvinterfallet + 20 dygn.

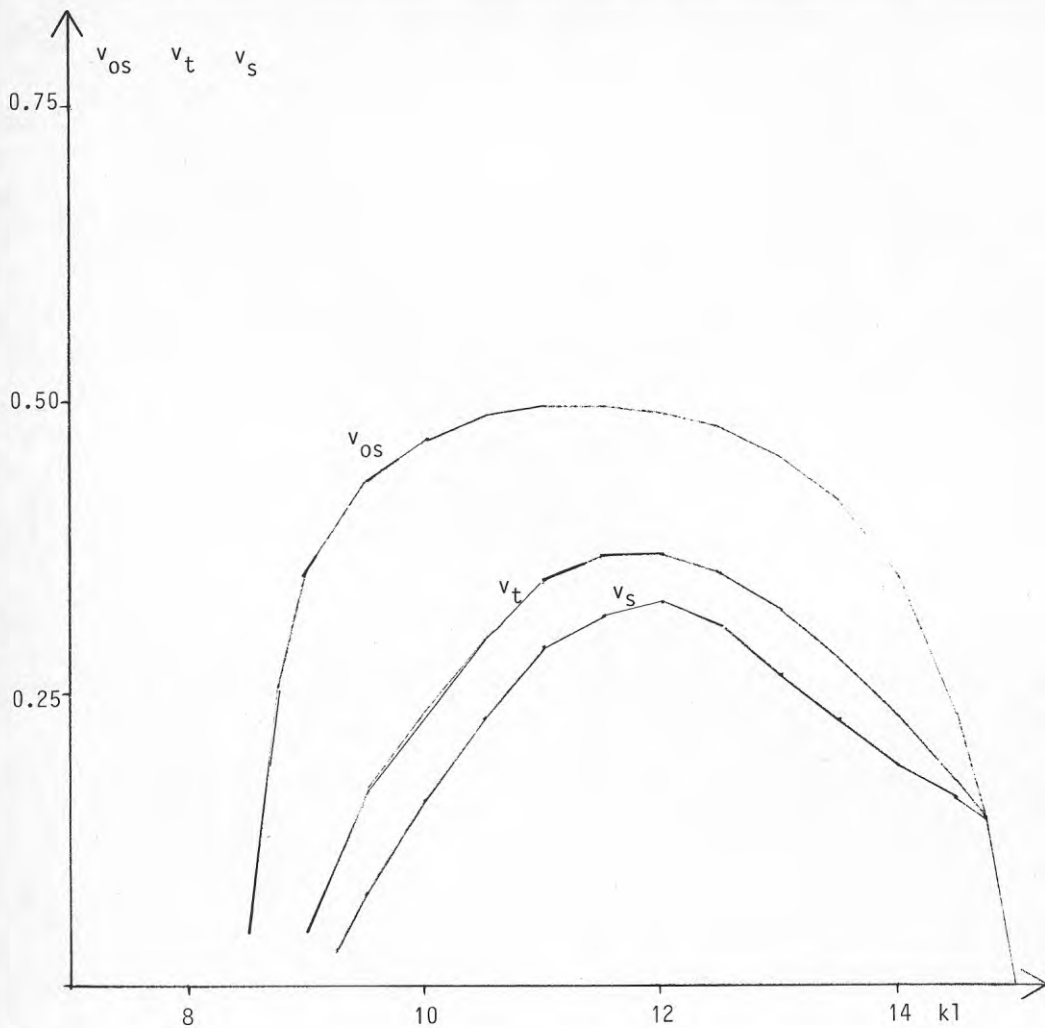


FIG.4.4 Verkningsgrad v_{os} för oskuggad bank, v_s skuggad bank och v_t för en oskuggad och tre skuggade banker för midvinterfallet + 40 dygn.

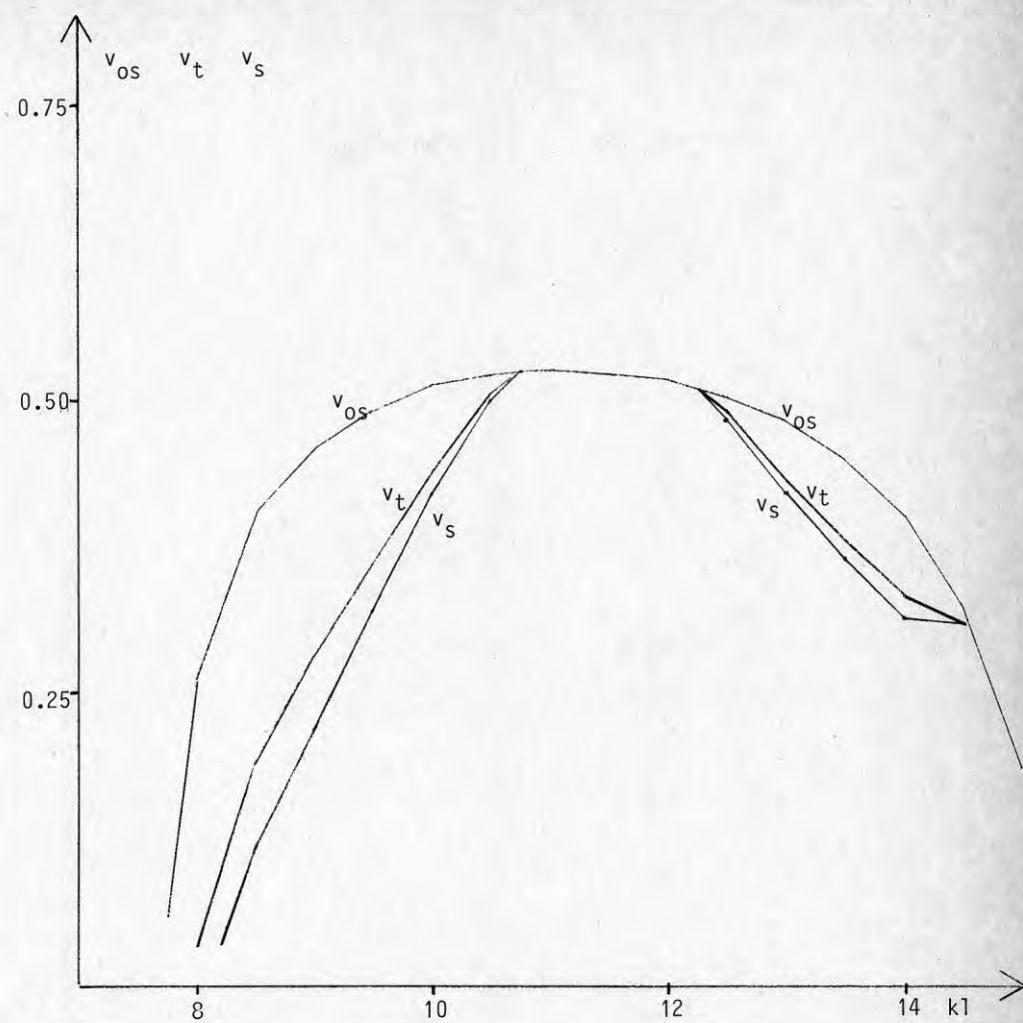


FIG.4.5 Verkningsgrad v_{0s} för oskuggad bank, v_s skuggad bank och v_t för en oskuggad och tre skuggade banker för midvinterfallet + 60 dygn.

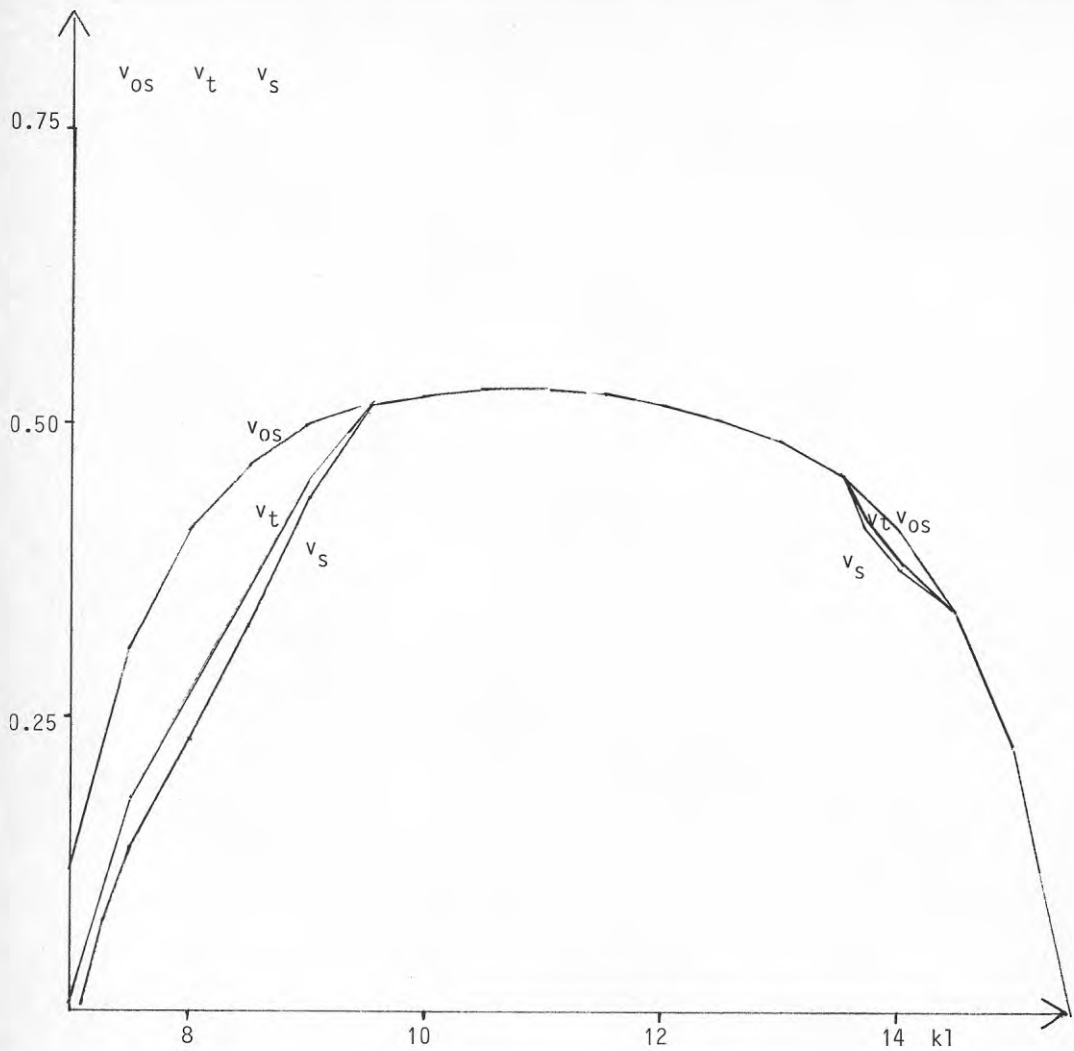


FIG.4.6 Verkningsgrad v_{0s} för oskuggad bank, v_s skuggad bank och v_t för en oskuggad och tre skuggade banker för midvinterfallet + 80 dygn.

TAB.4.6 Beräknad insamlad solenergi klara dagar (kWh) vid temperaturskillnad 25 °C. Dygn är midvinterfallet.

verkningsgrad styrning	oskuggad oskuggad	skuggad oskuggad	skuggad skuggad	Teknoterms värden
dygn				
0	264	76	86	280
20	326	127	135	310
40	488	300	307	430
60	647	583	586	560
80	786	748	749	660

TAB.4.7 Beräknad insamlad solenergi klara dagar (kWh) vid temperaturskillnad 35 °C. Dygn 0 är midvinterfallet.

verkningsgrad styrning	oskuggad oskuggad	skuggad oskuggad	skuggad skuggad	Teknoterms värden
dygn				
0	171	-3	23	200
20	223	37	55	230
40	363	181	192	320
60	526	439	444	450
80	622	585	587	530

TAB.4.8 Beräknad insamlad solenergi klara dagar (kWh) vid temperaturskillnad 45 °C. Dygn 0 är midvinterfallet.

verkningsgrad styrning	oskuggad oskuggad	skuggad oskuggad	skuggad skuggad	Teknoterms värden
dygn				
0	91	-61	0	120
20	133	-34	6	150
40	250	81	101	240
60	391	310	319	350
80	471	441	442	420

TAB.4.9 Beräknad insamlad solvärme under klara dagar (kWh) med Teknoterms datorprogram.

Månad	Ute-temp	Inloppstemperatur		
		25 °C	35 °C	45 °C
dec	2	270	190	118
jan	-1	319	233	155
febr	-1	537	434	326
mars	2	681	551	429

5 DRIFTSHISTORIA 1979

Detta kapitel har författats av Leif Andersson som var projektledare under 1978 och 1979. Sist har en del kommentarer gjorts av författaren.

Remotestation, elmätare och en del temperaturgivare monterades vid nyåret 1979. Senare under vintern monterades övriga mätgivare.

Solfångaresystemet frös emellertid sönder på ett tidigt stadium. Orsaken till denna frysning synes vara att rörledningarna hade för lite fall. Detta innebar att systemet inte kom att dräneras som var avsett. De vattenmätare som monterades för varje solfångargrupp har av entreprenören monterats horisontellt uppe på taket, vilket också bidragit till den dåliga dräneringen.

Efter reparationer sattes solfångaresystemet igång i mitten av maj och har sedan gått hela sommaren. Under perioden maj-november har solfångarautomatiken satt igång systemet sammanlagt 27 dagar. TAB.5.1 visar dag, antal timmar och tillförd energi. Totalt har systemet till tanken levererat 8132 kWh. Under denna tid har datainsamlingssystemet varit ur funktion ca 10 dagar sammanlagt, varför den korrekta siffran eventuellt kan vara något högre.

Det är mycket svårt att ur detta material dra några säkra slutsatser om verkningsgrader och liknande, eftersom materialet är så pass litet och de variabler som påverkar den uppsamlade energin är så många. I detta fall ligger temperaturen på solfångarens tillopp relativt högt under stor del av tiden, eftersom man aldrig aktivt tagit någon energi ur tanken. Detta gör givetvis att man får låg verkningsgrad. En annan faktor som kan sänka verkningsgraden är att samlingsrören från solfångarna varit oisolerade på grund av reparationen efter sönderfrysningen.

För att ge en allmän uppfattning om byggnaden i energihänseende visas några relevanta mätningar från vecka 50 (10-16 dec).

FIG.5.1 visar utetemperaturen. Den var som synes aldrig över 0° under hela perioden. Detta skall jämföras med medeltemperaturen för november

till mars, som är $+4.5^{\circ}$, $+1.8^{\circ}$, -0.9° , -1.2° och $+1.0^{\circ}$.

FIG.5.2 visar temperaturen ute i lagerlokalen i tre punkter över varandra, en nästan nere vid golvet, en 3 m upp och en nästan uppe under taket. Den lägre temperaturen i FIG.5.2 är temperaturen vid golvet.

FIG.5.3 och 5.4 visar elkraft till maskiner samt belysning. FIG.5.5 visar tillsatsvärme. I denna mätning ingår emellertid också fläktarna som är på 10 kW. Totaleffekten på maskiner, belysning och fläktar är alltså ca 80 kW som är inkopplade 8-9 tim/dag under 5 dagar/vecka.

Under hösten har ingen energi över huvud taget gått från tanken till värmebatteriet. Den elektriska tillsatsvärmens som FIG.5.5 indikerar, dvs den lilla topp som ligger över fläktarnas konstanta effekt, beror på att två kontorsutrymmen i anslutning till maskinhallen är försedda med eftervärmare på tilluften. Dessa eftervärmare är på 1 och 2 kW och styrs direkt av rumstermostater i de aktuella utrymmena. Totalt har dessa eftervärmare under veckan dragit 60 kWh. FIG.5.6 visar temperaturen i denna lokal.

I övrigt har ingen tillsatsvärme, varken från solfångare eller elbatteri varit inkopplad under denna vecka. Eftersom det var en från temperatursynpunkt sett relativt ogynnsam period, måste slutsatsen bli att byggnaden med nuvarande användning egentligen inte har något behov av sitt solfångaresystem.

Några kommentarer

Under nästan 180 dagar så har solfångaresystemet kunnat tillföra tanken 8132 kWh, vilket blir endast 24.2 kWh per m^2 solfångareyta. Det låga värdet beror främst på att tappvarmvattenbehovet och uppvärmningsbehovet är lågt. De erhållna värdena skall också jämföras med tankens lagringsförmåga som är 1 MWh vid en temperaturskillnad på 20°C . Tanken kan högst lagra 4 MWh nyttig värme. Siffrorna i kapitel 4 visar att solfångaresystemet skulle kunna samla in 100 MWh om tanken var urladdad varje morgon till 25°C . Drifttiden för solfångaresystemet har varit om-

kring 120 timmar.

Hur effektivt är solfångaresystemet?

I TAB.5.2 görs en jämförelse mellan beräknad och insamlad solvärme under klara dagar för några dagar i maj, juni och juli. Starttemperaturen är inloppstemperaturen under den första timmen som cirkulationen är igång. De uppmätta värdena ligger något över de beräknade kring månads-skiftet maj/juni. En förklaring är att utetemperaturen är mycket hög under de tre dagarna 31 maj, 1 och 2 juni; nämligen 25, 30 resp 30 °C.

En ökning av omgivningstemperaturen med 1 °C medför att förlusterna minskar med omkring 2 kWh per timme för de 336 m² solfångareyta. Skillnad mellan de aktuella och de i beräkningarna använda utetemperaturerna är omkring 10-15 °C och drifttiden är 5 timmar, vilket ger en minskad förlust på 100-150 kWh. Skillnaden är i de tre fallen 92, 118 och 136 kWh, vilket stämmer bra.

Slutsatsen från dessa värdena är att solfångaresystemets funktion stämmer väl med gjorda beräkningar för klara dagar.

Någon bearbetning av hur den uppmätta solenergin har utnyttjats har ej gjorts. Solvärme kan delas upp i följande poster

förluster från tank till lokal	E_f
upp- eller urladdning av tank	E_t
förvärmning varmvatten	E_{vvb}
värme till ventilation	$E_{v vx}$

En grov uppskattning av förlusterna är att anta en temperaturskillnad i genomsnitt på 20 °C mellan tank och lokal. Förlusten under 200 dagar kan då beräknas till

$$E_f = 200 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 20 \text{ Wh} = 1920 \text{ kWh}$$

Under december och januari kan förlusterna delvis tillgodogöras som

tillskott i uppvärmningen.

Under de 200 dagarna så har tanken laddats upp från omkring 20 °C till 35 °C vilket ger ett ökat värmeinnehåll på 750 kWh.

Tappvarmvattenmängden uppskattas till 30 dm³/h under arbetstid och antalet arbetsdagar har satts till 140. Förvärmningen antas i genomsnitt vara 30 °C. Värmeåtgång för förvärmning av tappvarmvatten blir då

$$E_{vvb} = 140 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 30 \cdot 4190 \text{ J}$$

$$E_{vvb} = 1170 \text{ kWh}$$

De fyra energiposterna är alltså

$$E_f = 1920 \text{ kWh}$$

$$E_t = 750 \text{ kWh}$$

$$E_{vvb} = 1170 \text{ kWh}$$

$$E_{vvx} = 4292 \text{ kWh}$$

$$E_{tot} = 8132 \text{ kWh}$$

Eftersom systemets kapacitet utnyttjas dåligt, så blir förlustposten stor i förhållande till övriga poster. Förlustposten är oberoende av systemets utnyttjningsgrad.

TAB.5.1 Insamlad solvärme under 1979 maj-november

Dag	Drifttid tim	Solvärme kWh
11 maj	7	816
12 maj	8	704
16 maj	6	612
31 maj	6	672
1 juni	6	548
2 juni	6	516
4 juni	4	192
5 juni	4	986
16 juni	2	92
19 juni	5	360
20 juni	5	336
12 juli	5	276
13 juli	6	404
1 aug	4	124
17 aug	5	180
18 aug	3	200
20 aug	6	200
7 sept	5	220
15 sept	2	104
16 sept	4	240
29 sept	3	128
22 okt	4	244
23 okt	4	192
26 okt	5	196
7 nov	3	80
9 nov	2	44
21 nov	4	68
TOTALT	124	8132

TAB.5.2 Uppmätt och beräknad solvärme för några klara dagar under 1979

Dag	Solvärme,mätt kWh	Starttemp °C	Solvärme,beräknad kWh
11 maj	816	16	830
12 maj	704	23	730
16 maj	612	28	670
31 maj	672	34	580
1 juni	548	44	430
2 juni	516	49	380
19 juni	360	45	440
20 juni	336	50	370
13 juli	404	46	480

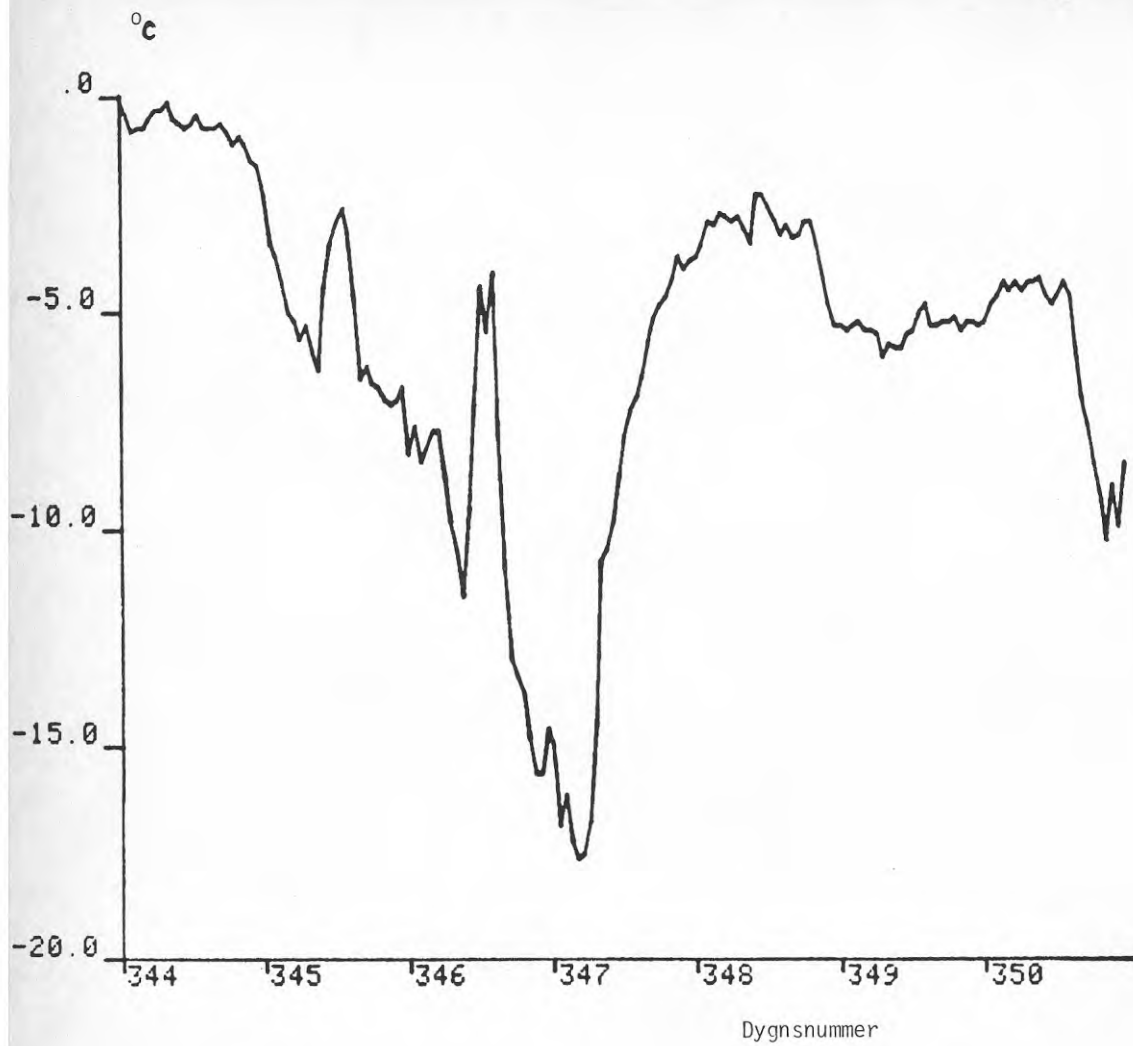


FIG.5.1 Utetemperatur 10-16 december 1979.

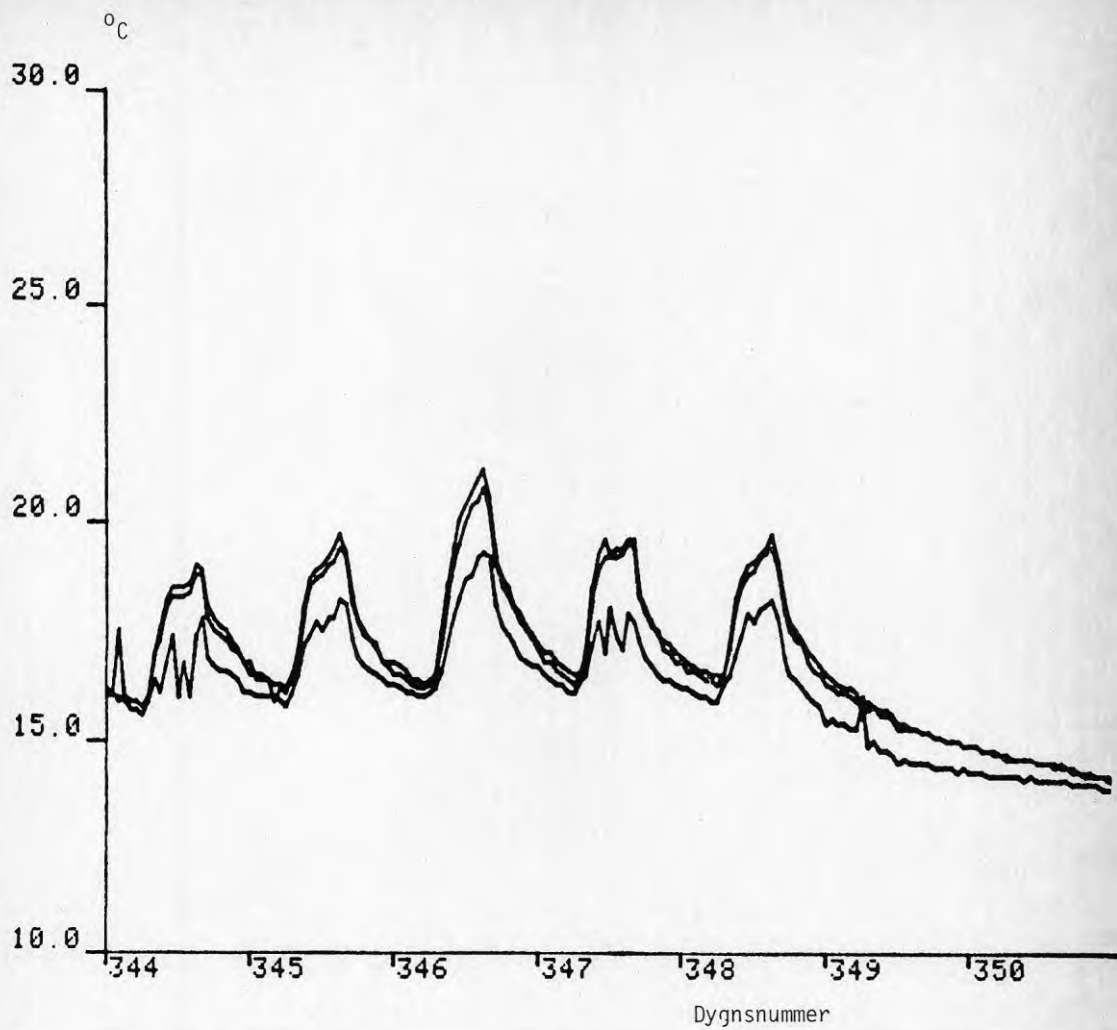


FIG.5.2 Temperatur i lagerlokalen 10-16 december 1979.

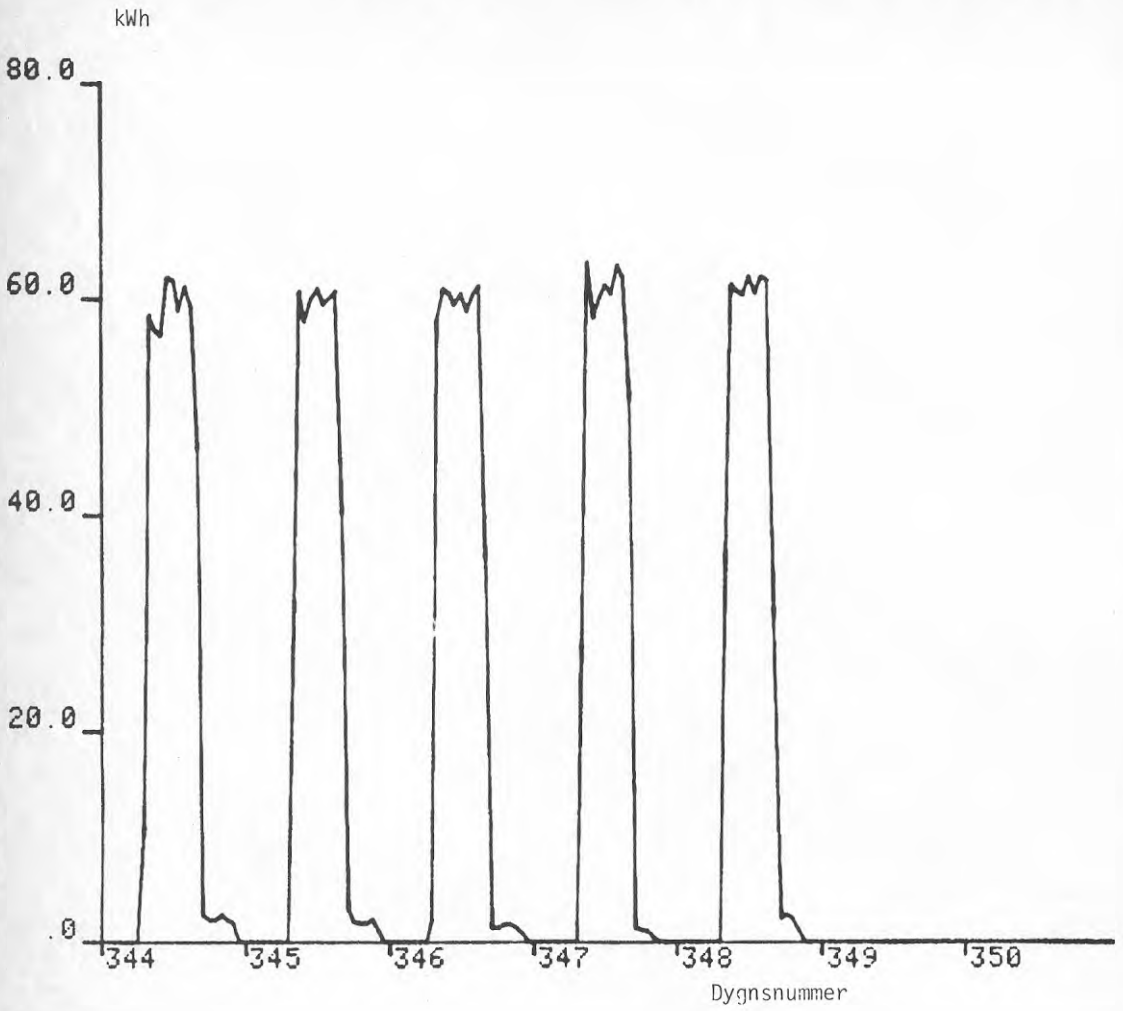


FIG.5.3 Elkraft till maskiner 10-16 december 1979.

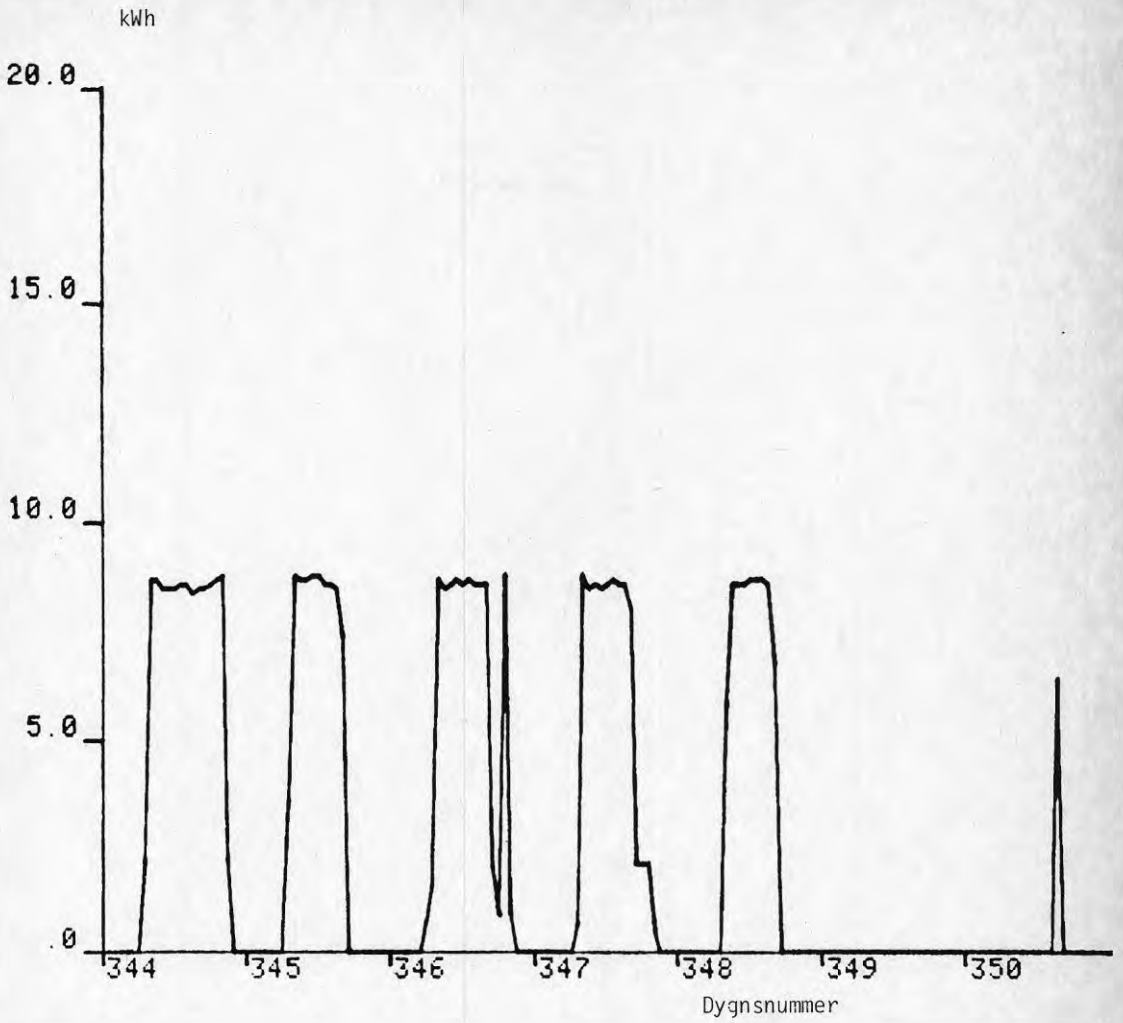


FIG.5.4 Elkraft till belysning 10-16 december 1979.

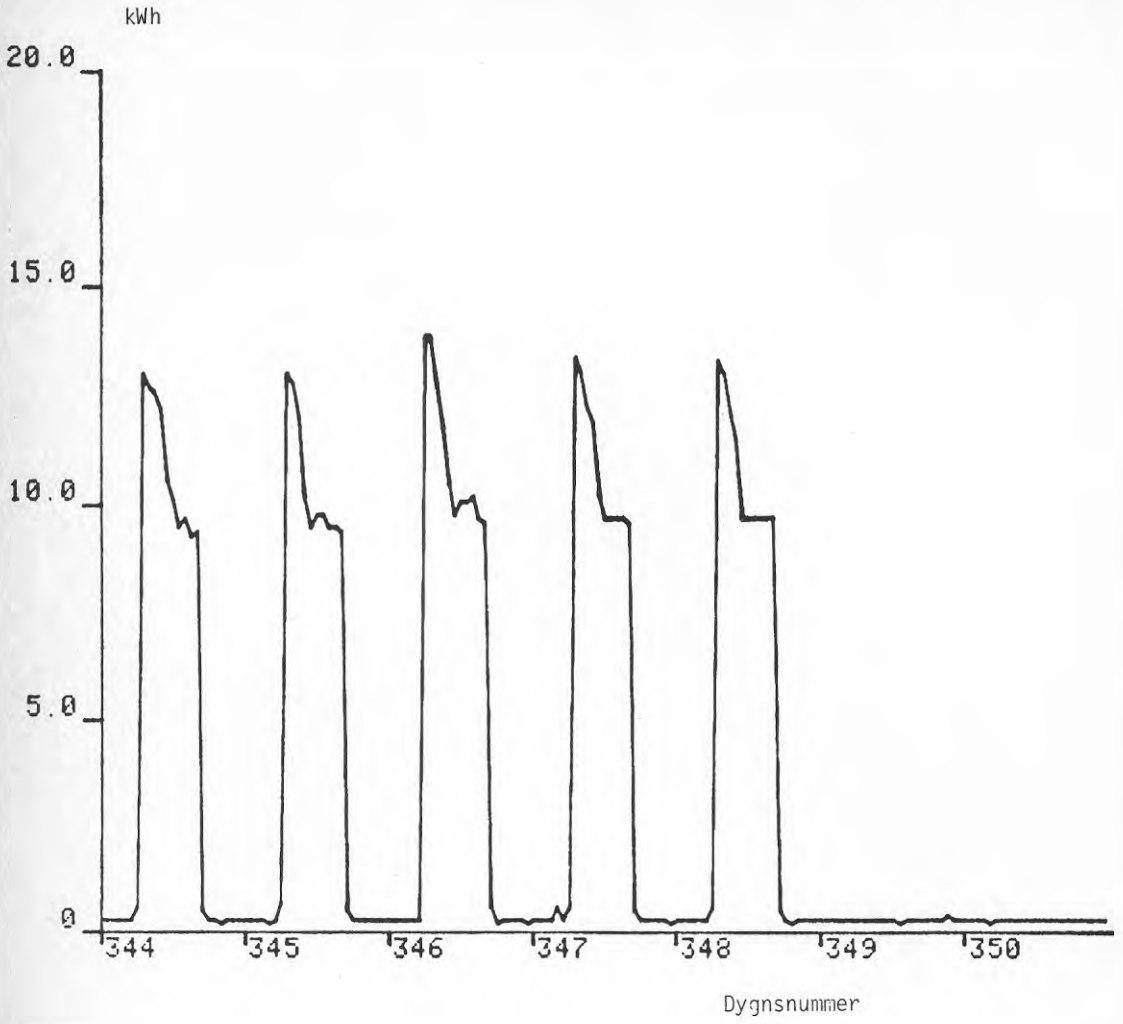


FIG.5.5 Elkraft till fläktar och tillsatsvärme 10-16 december 1979.

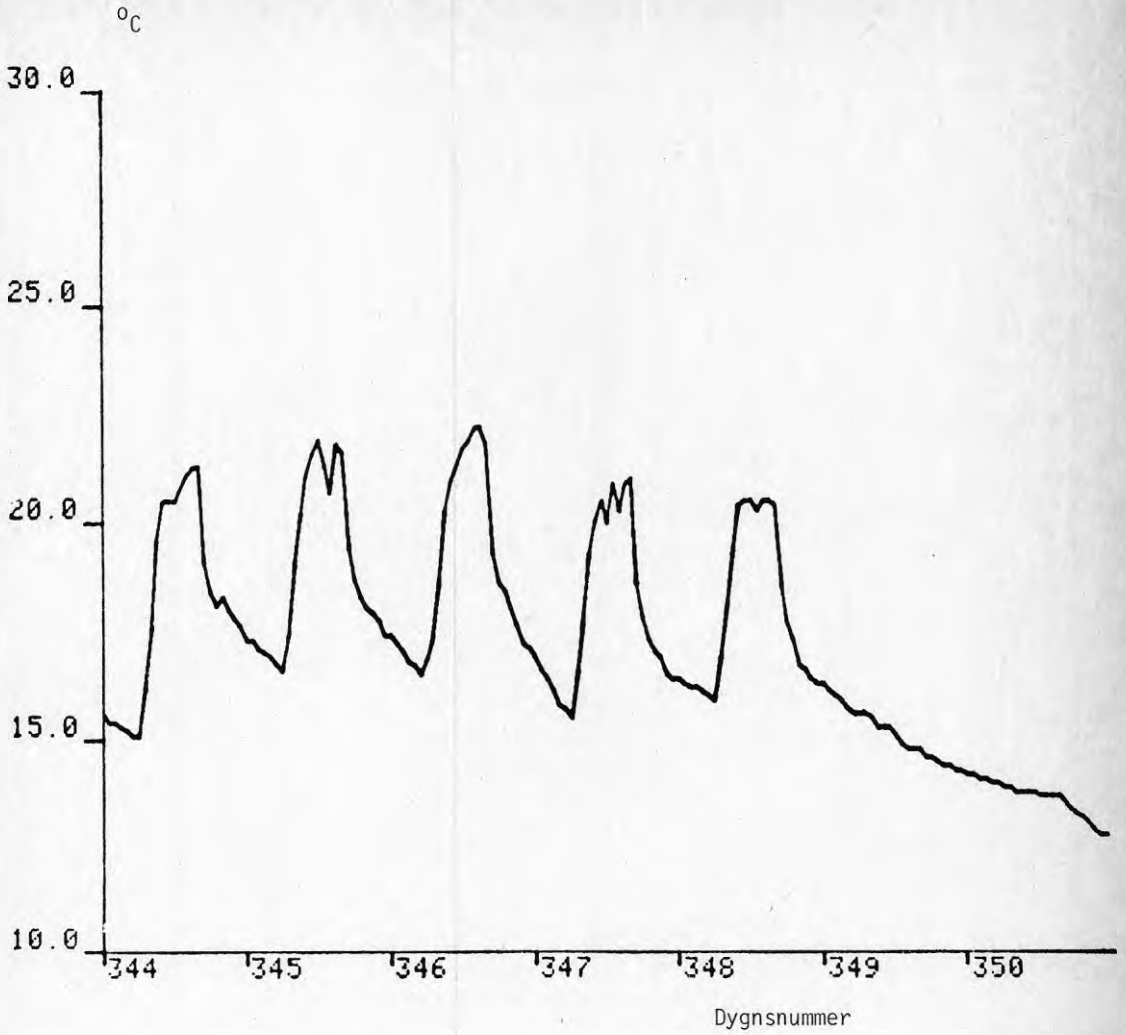


FIG.5.6 Temperatur i kontorslokal i anslutning till maskinhallen
10-16 december 1979.

6 DRIFTHISTORIA 1980

Remotestationen var inkopplad fram till halvårsskiftet 1980. Solfångaresystemets drift sammanfattas nedan.

dygn

1 - 47	ingen drift avstängt?
48 - 116	drift under 67 timmar
117 - 179	ingen drift avstängt pga läckage

I slutet av januari havererade cirkulationspumpen till solfångaresystemet.

I TAB.6.1 redovisas elförbrukningen för maskin- och lagerhallen. Till- och frånluftsflyktens elenergibehov utgör huvuddelen av posten ventilation. Gångtiden är 10 timmar per arbetsdag och fläktarnas summaeffekt är omkring 10 kW, vilket ger ett grundbidrag på 500 kWh per vecka.

Två elektriska eftervärmebatterier på 2.1 kW och 1.0 kW är inkopplade i början av arbetsdagen under vintern, eftersom lokaltemperaturen ofta är under 18 °C vid arbetsdagens början.

I slutet av den redovisade perioden så erhålls mycket höga elförbrukningar. De höga värdena beror på att lokaltemperaturen är så hög att ventilationssystemet körs dygnet runt för att kyla lokalen nattetid.

Kontinuerlig drift under hela veckan utom under veckoslut och även under veckoslut resulterar i en elförbrukning på 1680 kWh resp 1060 kWh.

Alla de tre redovisade elenergiförbrukningarna omvandlas till värme och tillförs maskin- och lagerhallen. Detta innebär ett värmetillskott på omkring 4 MWh per vecka eller 17 MWh per månad.

I den beräknade energibalansen i kapitel 4 har siffran 15.4 MWh för gratisvärme från maskiner, fläktar, belysning och dylikt använts. Den uppmätta högre siffran på omkring 17 MWh innebär att tillbyggnadens beräknade värmetillskott på 2 MWh under januari och februari försvinner

och att tillskottet från solvärmesystemet blir helt överflödigt.

Vid beräkning av uppvärmningsbehovet så sattes lokaltemperaturen till 20 °C. Mätningarna visar däremot att lokaltemperaturen är 16-18 °C under icke arbetstid, vilket minskar värmebehovet totalt. I början av arbetsdagen kan värmebehovet bli större än om temperaturen hålls konstant vid 20 °C dygnet runt.

Energibalansen för den i TAB.6.2 angivna perioden dygn 47-179 anges nedan i de fyra tidigare använda posterna.

$$E_f = 565 \text{ kWh}$$

$$E_t = 450 \text{ kWh}$$

$$E_{vvx} = 491 \text{ kWh}$$

$$E_{vvb} = 685 \text{ kWh}$$

$$E_{tot} = 2191 \text{ kWh}$$

Tankens start- och sluttemperatur för perioden har varit 18 resp 27 °C. Temperaturskillnaden mellan tank och omgivning har satts till 9 °C, vilket inte är orimligt, för att energibalansen skall stämma.

Ventilation har tagit ut 491 kWh under 16 veckor med 40 timmars drift per vecka så kan medeltemperaturökningen för tilluftsflödet på 17000 m³/h beräknas till 0.13 °C. Även om denna temperaturökning på tilluften omfördelas till den första halvtimmen varje arbetsdag så blir temperaturökningen bara 2 °C på hela tilluften, vilket motsvarar en temperaturhöjning av uteluften på 15-16 °C.

Den energi som överförts från värmemagasinet till tilluften via värmebatteriet skall också jämföras med pumparbetet som krävs för att cirkulera vatten genom värmebatteriet. Pumpeffekten är 0.25 kW. Pumpen går kontinuerligt. Elförbrukningen för ett år blir omkring 2000 kWh. Under den i TAB.6.2 redovisade perioden så förbrukas 672 kWh elenergi och tillförs 491 kWh värme. Siffrorna talar för sig själva.

Värmemängdsmätaren mäter givetvis även den värmemängd som pumpen till-

för och som bortförs i värmebatteriet. Den uppmätta värmemängden för ventilation utgörs därför till en viss del av pumparbete. Elförlusterna tillförs inte det cirkulerande vattnet.

En annan energipost är fläktarbetet som krävs för att suga luften förbi värmebatteriet. Följande data gäller grovt

Luftflöde	5 m ³ /s
Tryckfall	100 Pa
Drifttid	2000 h/år

Nödvändigt fläktarbete blir då 1000 kWh/år.

Tillförd elenergi är något större eftersom fläktens verkningsgrad är mindre än ett. Den tillförda elenergin under de 16 veckorna (640 h) blir minst 400 kWh vid en fläktverkningsgrad på 80%. Den sammanlagda elenergin för pumparbete och ökat fläktarbete blir minst 1000 kWh jämfört med uttaget 591 kWh. Behovet har knappast varit större eftersom värmebatteriet har beräknats för en in- och utloppstemperatur på 35 °C resp 25 °C. Den övre tanktemperaturen har genomgående varit högre än 35 °C under den aktuella perioden.

Den uppmätta energimängden kan också bero på ett mindre läckage i reglerventilen. Antag att en energimängd på 16.8 kWh per vecka skall förklaras som ett läckflöde. Temperaturskillnaden sätts till 10 °C. Vattenflödet blir 0.025 kg/s, vilket skall jämföras med det nominella maximi-flödet på 1.5 kg/s. Det beräknade läckflödet är mindre än 2 o/oo av maximi-flödet. En mindre skada eller försmutsning kan mycket väl orsaka ett motsvarande läckage.

Varmvattenvärmeuttaget kan räknas om till ett motsvarande vattenflöde med en given temperaturhöjning på 20 °C (förvärmning). Medeleffekten blir 1.07 kW under 16 veckor ä 40 timmar. Vattenmängden blir 46 kg/h.

De tre värmetillskotten från fläktar, elvärmebatteri, belysning och maskiner skall också jämföras med solvärmeuttag för ventilation och tappvarmvatten för den undersökta perioden.

Eluttag fläktar elvärmebatterier	10427 kWh
Eluttag belysning	8397 kWh
Eluttag maskiner	41914 kWh
Solvärmeuttag ventilation	491 kWh
Solvärmeuttag tappvarmvatten	685 kWh

I TAB.6.3 återges värden på solfångaresystemets verkningsgrad för några av de 67 timmar under våren 1980 som systemet har varit i drift.

De dagar som har gett den största solvärmeproduktionen, har sammanställts i TAB.6.4. Beräknade värden för klara dagar under samma månad och med samma starttemperatur återges också. De uppmätta värdena ligger klart under och i ett fall, den 21 februari, så insamlades 455 kWh mot beräknade 570 kWh.

Motsvarande jämförelse gjordes också för 1979. De uppmätta värdena ligger betydligt närmare och i en del fall högre på grund av extremt höga utetemperaturer.

TAB.6.1 Elförbrukning per vecka för maskin- och lagerhallen

Dygn	Antal dygn	Fläkt+värme kWh	Belysning kWh	Maskiner kWh
47-	7	682	478	2459
53-	7	798	682	2780
61-	7	624	623	3345
68-	7	584	783	3115
75-	7	587	647	3378
82-	6	558	479	2699
103-	7	535	583	3245
110-	7	526	518	2875
117-	5	407	345	1254
124-	4	217	212	1186
138-	7	481	570	3243
145-	7	487	609	3081
152-	7	476	548	2691
159-	7	909	487	2175
166-	7	994	342	1837
173-	7	1562	491	2551
TOTALT	106	10427	8397	41914

TAB.6.2 Energibalans för solfångaresystem per vecka

Dygn	Antal	Drifftid h	Solvärme kWh	Venti- lation kWh	Varm- vatten kWh
47	7	19	877	12	28
54	7	24	843	131	70
61	7	4	268	6	41
68	7	0	0	8	40
75	7	1	80	7	42
82	6	4	261	71	38
103	7	11	498	49	48
110	7	0	0	13	27
117	5	0	0	48	56
124	4	0	0	24	48
138	7	0	0	23	45
145	7	0	0	46	59
152	7	0	0	16	65
159	7	0	0	14	50
166	7	0	0	10	9
173	7	0	0	13	19
TOTALT	106	63	2827	491	685

TAB.6.3 Uppmätt temperaturdifferens, vinkelrät instrålning och verk-
ningsgrad under första halvåret 1980

Dygn	Kl	t_d °C	I W/m ²	t_d/I °Cm ² /W	v_m
48	10	23	786	0.029	0.37
	11	28	589	0.048	0.26
52	10	24	827	0.029	0.32
	11	26	819	0.032	0.44
	12	28	747	0.038	0.41
	13	29	607	0.048	0.35
	14	29	450	0.064	0.25
53	10	36	827	0.044	0.20
	11	36	819	0.044	0.30
	12	35	747	0.047	0.28
	13	35	607	0.058	0.18
54	11	36	695	0.052	0.27
	12	33	729	0.045	0.27
	13	35	607	0.058	0.23
	14	35	450	0.078	0.10
56	11	37	846	0.044	0.32
	12	33	828	0.040	0.35
	13	35	605	0.058	0.33
	14	35	452	0.077	0.20
60	10	36	805	0.045	0.22
	11	37	837	0.044	0.33
	12	39	738	0.053	0.29
	13	40	596	0.067	0.14
64	10	38	845	0.045	0.29
	11	39	846	0.046	0.30
	12	43	746	0.058	0.29
	13	44	596	0.074	0.16
84	10	38	815	0.047	0.27
	11	38	820	0.046	0.27
	12	38	670	0.057	0.29
	13	37	590	0.063	0.19
104	11	37	590	0.063	0.14
	12	36	575	0.063	0.14
105	11	39	665	0.059	0.25
	12	38	630	0.060	0.19
106	10	34	630	0.054	0.35
	11	37	670	0.055	0.32
	12	39	610	0.064	0.25

TAB.6.4 Uppmätt och beräknad solvärme för vissa dagar 1980

Dygn	Dag	Start- temp °C	Uppmätt solvärme kWh	Beräknad solvärme klara dagar		
				febr kWh	mars kWh	april kWh
48	17 feb	20	176	590	750	-
52	21 feb	22	455	570	730	-
53	22 feb	32	247	470	600	-
54	23 feb	35	212	430	560	-
56	25 feb	35	335	430	560	-
60	29 feb	32	276	470	600	-
64	4 mars	35	268	430	560	-
84	24 mars	33	211	-	575	-
105	14 april	47	161	-	-	430
106	15 april	49	176	-	-	410

7 SOLFÅNGARESYSTEMETS VERKNINGSGRAD

I detta avsnitt skall de uppmätta värdena på solfångaresystemets verkningsgrad jämföras med de beräknade. Solfångaresystemets verkningsgrad påverkas av flera faktorer

- den enskilda kollektorns verkningsgrad
- skuggning
- flödesfördelning mellan kollektorer inom en grupp
- flödesfördelning mellan grupper inom en bank
- flödesfördelning mellan banker
- värmeförluster rörsystem

Några enkla uttryck för plana solfångares verkningsgrad ges först. Skuggningens inverkan på verkningsgraden berörs också. Skillnaden mellan uppmätta och beräknade verkningsgrader kan bero på mycket stor flödesobalans mellan olika solkollektorer. Flödesobalansen beräknas sist i avsnittet för några antagna motståndsvärden i samlingsledning och solkollektor.

Solfångaremodeller

Den enskilda solkollektorns verkningsgrad kan beräknas med en enkel statisk modell enligt nedan

$$0 = Pa + k(t_{om} - t_k) + q(t_{in} - t_{ut})$$

där

- P = solinstrålning W/m^2
- a = absorptionsfaktor
- k = kollektorns k-värde $W/^\circ C, m^2$
- t_{om} = omgivningens temperatur
- t_{in} = inloppstemperatur
- t_{ut} = utloppstemperatur
- t_k = kollektorns temperatur
- q = flödets värmebärarkapacitet $W/^\circ C, m^2$

Kollektorns temperatur t_k kan antas vara

$$t_{k1} = t_{in}$$

$$t_{k2} = (t_{in} + t_{ut})/2$$

$$t_{k3} = t_{ut}$$

vilket ger följande verkningsgrader

$$v_1 = (a + k(t_{om} - t_{in})/P)$$

$$v_2 = v_1 / (1 + k/2q)$$

$$v_3 = v_1 / (1 + k/q)$$

Kollektorns temperatur kan också beskrivas med en enkel differentialekvation

$$0 = aP + k(t_{om} - t_k(1)) - q \frac{dt_k}{d1} (1)$$

$$t_k(0) = t_{in}$$

$$t_k(1) = t_{ut}$$

Verkningsgraden blir

$$v_d = (a + k(t_{om} - t_{in})/P) \frac{q}{k} (1 - e^{-k/q})$$

För stora och små värden på q/k så blir $v_d = v_2$ resp $v_d = v_3$. Alla de fyra modellerna kan skrivas som

$$v = (a + k(t_{om} - t_{in})/P) f(q, k)$$

Skuggning

Skuggning kan förenklat införas som en reduktion av absorptionsparametern a

$$v = (a(1-s) + k(t_{om} - t_{in})) / P f(q, k)$$

där s anger graden av skuggning i intervallet $(0,1)$.

I det aktuella fallet så kan de tre bakre bankarna skuggas till stor del. Solhöjder över 19° ger ingen skuggning. Solhöjden är aldrig högre än 32° under vinterhalvåret. Vid solhöjder under 10° skuggas de nedre grupperna helt under större delen av dagen bortsett från instrålning vid sidan om framförvarande bank.

Solhöjderna vid middagstid för de mest kritiska månaderna november, december, januari och februari är 13.5, 8.8, 10.9 resp 19.3. Det är inte självklart hur skuggningen varierar under dagen.

Skuggning av delar av solkollektorytan är ganska allvarligt eftersom skuggade delar inte kan kopplas bort. Den totala maximala verkningsgraden minskar från a till $5a/8$ när de tre bakre bankarna är skuggade till hälften.

Hela funktionen för solfångarsystemet, med en temperaturgivare placerad på en oskuggad kollektor för styrning, kan bli helt felaktig. En tänkt uppladdning kan därför bli en urladdning av värmemagasinet i stället. Den totala verkningsgraden v_t kan skrivas som en funktion av skuggning s och oskuggad verkningsgrad v

$$v_t = v - as$$

Kravet för att totalverkningsgraden v_t skall bli noll är enkelt

$$v = as$$

För $a=0.7$ och verkningsgraden kring 5%, 10% och 20% så kan det räcka

med skuggning på 7%, 15% resp 30%.

Något som kan förbättra förhållandena vid skuggning är att vattencirkulationen sker underifrån genom de skuggade delarna först.

Problemet med skuggning kvarstår till viss del även för solfångare med alla moduler i en bank, eftersom driften för en delvis skuggad solfångarebank kommer att bli intermittent under förutsättning att givaren mäter den totala utloppstemperaturen. Driftresultatet kan bli ännu sämre om utloppstemperaturen endast mäts för en grupp som är minst skuggad.

Ett annat väsentligt problem i samband med skuggning är risk för frysning. Antag att en solkollektormodul är skuggad nerifrån till s andra delar. Instrålning P har satts till noll. Modellen baserad på en differentialekvation används. Det stationära fallet undersöks. Sambandet mellan in- och utloppstemperaturen i det skuggade området blir då

$$t_{uts} = t_{in} \cdot e^{-sk/q} + (1 - e^{-sk/q}) t_{om}$$

Frysning fås när $t_{uts} \leq 0$. Gränsfallet $t_{uts} = 0$ ger följande samband

$$t_{in} = t_{om} (1 - e^{sk/q})$$

Uttrycket $(1 - e^{sk/q})$ har beräknats för några olika flöden med $s=1$ och $k=6 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$.

flöde $\text{dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$	q $\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$	$(1 - e^{6/q})$
1.	70	-0.089
0.5	35	-0.187
0.2	14	-0.535
0.1	7	-1.36
0.05	3.5	-9.29
0.02	1.4	-71.7
0.01	0.7	-5280.

Siffrorna visar att risken för frysning är stor för flöden omkring och

under $0.05 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$ och oundviklig för flöden mindre än $0.02 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$.

Det momentana förloppet har inte undersökts här. Vattnets värmekapacitet är större än solkollektorns värmekapacitet och vattnets smältvärme motsvarar en temperaturändring på $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Det är därför rimligt att antaga att någon bestående påfrysning inte sker vid uppstart.

Flödesobalans

Verkningsgradens flödesberoende har behandlats tidigare i avsnittet teoretiska solfångaremodeller. Modellen

$$v(q) = (a+k(t_{\text{om}}-t_{\text{in}}))q(1-e^{-k/q})/k$$

har använts för att beräkna verkningsgraden för en grupp solfångaremoduler med olika flöden. Antag att flödet genom de 336 solfångarna kan antas vara rektangelfördelat kring medelvärdet på $0.4 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ motsvarande $28 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$. Den sammanlagda verkningsgraden kan beräknas som

$$v_t(q_1, q_2) = \int_{q_1}^{q_2} \frac{v(q)}{(q_2 - q_1)} dq$$

Den sammanlagda verkningsgraden har beräknats med numerisk integration och resultatet återges nedan.

q_1 $\text{dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$	q_2 $\text{dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$	$v_t(q_1, q_2)$	$v_t(q_1, q_2)/0.9$
0.4	0.4	0.900	1.000
0.3	0.5	0.897	0.997
0.2	0.6	0.890	0.989
0.1	0.7	0.873	0.970
0.0	0.8	0.826	0.918

Siffrorna visar att relativt stora jämnt fördelade obalanser medför endast mindre verkningsgradsminskningar.

En solfångaregrupp består av 7 solfångaremoduler som kopplats ihop i underkanten och överkanten med förhållandevis kläna rör och matning sker diagonalt. Tryckfallet i själva solfångaren är ganska litet eftersom den liknar en radiator (endast in- och utloppsförluster). Flödesarean är omkring 10 cm^2 . Det uppmätta medelflödet på $0.386 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ ger ett tryckfall på endast 1 mm vp. Motsvarande tryckfall för ett rör med anslutning 10 och 15 är omkring 0.3 resp 1.4 mm vp. Detta innebär att motståndet i kopplingsrören mellan två solfångare kan vara av samma storleksordning.

Om man antar att motståndet är lika stort i kopplingsrören som i själva solfångaren, då kan flödesobalansen beräknas förhållandevis enkelt för 3, 4 och 5 solfångaremoduler och approximativt för 6 moduler.

antal moduler	flödesförhållande
3	2.7:1:2.7
4	5:1:1:5
5	39.6:7.7:1:7.7:39.6
6	~100:19:1:1:19:100

Det finns flera likheter mellan de två yttre flödena för fallen med 4, 5 eller 6 där förhållandet i stort sett är 5:1. Fallet med 7 solfångaremoduler torde likna fallet med 6 solfångaremoduler. De tre mittflödena torde också vara mindre än i fallet med 6 moduler.

Den totala verkningsgraden har beräknats för fallen med 1-7 moduler och för fallet med 7 moduler har flödesfördelningen uppskattats som 100:19:1:1:1:19:100, vilket nog ger en högre verkningsgrad än de korrekt beräknade. Nedan återges verkningsgradsändring eller beräknad verkningsgrad/ideal verkningsgrad

antal moduler	verkningsgradsändring
1	1.00
2	1.00
3	0.98
4	0.90
5	0.79
6	0.69
7	0.59

Flödesfördelning för fallen med 3 och 4 solfångaremoduler har beräknats för det generella fallet med motstånd a och 1 i samlingsledning resp solfångare. Uttrycket för flödesfördelningen f är för en grupp om 3 moduler

$$f_3 = a + (a^2 + a + 1)^{0.5}$$

och för en grupp om 4 moduler

$$f_4 = 2a + (4a^2 + 4a + 1)^{0.5}$$

Nedan återges flödesförhållandet f mellan flödet i de yttre och i de inre solfångaremodulerna.

motstånd a	flödesförhållande	
	grupp 3 moduler	grupp 4 moduler
2	4.64	9.0
1	2.73	5.0
0.5	1.82	3.0
0.25	1.40	2.0
0.125	1.19	1.5

Flödesobalansen sammansätts av obalanser inom en grupp, inom en bank och mellan bankar. Tryckfallet över hela solfångaresystemet och över inregleringsventilen för varje grupp är beräknat till 1600 mm vp resp 500 mm vp. Detta innebär att flödesobalansen mellan grupperna i alla bankar ej kan bli större än en faktor mindre än 2 (hela tryckfallet 1600 mm vp över inregleringsventilen $(1600/500)^{0.5} = 1.79$).

Experimentell solfångaremodell

De under 1980 erhållna driftsvärdena på solfångaresystem som redovisas i TAB.6.3 har anpassats till en rät linje på formen

$$v = 1 + k(t_{sm} - t_{om})/I$$

där

- t_{sm} = solfångarens medeltemperatur
- t_{om} = omgivningens temperatur
- I = solinstrålning, vinkelrät
- v = verkningsgrad
- k, k = modellparametrar

Anpassningen har gjorts för några olika urval med avseende på tidpunkt och solinstrålning. Antal data, erhållna modellparametrar, medelvärde, standardavvikelse och korrelation anges i TAB.7.1. Korrelation är inte särskilt stor. Korrelationen är lika med eller större än 0.8 för tre urval.

De anpassade linjerna och tillhörande mätdata har ritats in i FIG.7.1-7.11 för de tolv olika urvalen. I FIG.7.1-7.11 har kurvor för solkollektorns verkningsgrad (enligt Statens Provvningsanstalt) för instrålningen 200 W/m^2 och 1000 W/m^2 ritats in. Någon korrektion för det mindre flödet på $0.386 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$ mot $1 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$ har inte gjorts, då korrektionen är liten. Den korrigerade verkningsgraden är 0.94 av den ursprungliga.

Infallsvinklarna har varierat mellan 20° till 60° och för ett enkelglas så varierar transmissionen endast 10% för intervallet 0° till 60° . Variationen blir mindre än 5% för intervallet 0° till 50° . Någon korrektion av instrålningen har heller inte gjorts.

I FIG.7.12 görs sammanfattning av hur hela solfångaresystemets verkningsgrad förändras beroende på olika faktorer. De olika faktorernas inverkan på verkningsgraden kan sättas samman på ett sådant sätt att det inte går att reda ut vilka faktorer som ingår.

Värmeförluster från det platsbyggda rörnätet kan uppskattas grovt på följande sätt: total rörlängd 300 m, medelomkrets 0.1 m, medelisoleringstjocklek 0.03 m och $\lambda = 0.04 \text{ W/m}, ^\circ\text{C}$, vilket ger en förlust på $40 \text{ W}/^\circ\text{C}$. För de oisolerade kopplingsrören i de nedre solfångargrupperna gäller rörlängd 100 m, medelomkrets 0.1 m och värmeövergångstal $20 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$, vilket ger en förlust på $200 \text{ W}/^\circ\text{C}$. En del av värmets tillförs

solfångarmodulen ovanför. En grov uppskattning är då att den totala värmeförlusten utgörs av $2000 \text{ W/}^\circ\text{C}$ ($336 \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$) från solkollektorer och $200 \text{ W/}^\circ\text{C}$ från rörnät och oisolerade kopplingsrör.

Tidigare genomförda beräkningar på flödesobalans visade att verkningsgraden för 7 moduler minskas med 40% från det ideala fallet, om flödesmotstånd i kopplingsrör och solkollektor är lika stora. De uppmätta värdena ligger omkring 30% under de ideala.

Det kan tilläggas att nyare solfångaremoduler har grövre kopplingsrör (innerdiameter = 20 mm) och 3 klena rör (innerdiameter = 6 mm) i själva solfångareytan. Tryckfallet är här mycket större i själva solfångaren än i kopplingsrören. Risken för flödesobalans är därför liten med de nyare modulerna. En fördel med väl tilltagna kopplingsrör är att matning ej behöver ske diagonalt utan matning kan ske från sidan, vilket kan förenkla rördragningen.

Enkel felanalys

Verkningsgraden har bestämts med antagande att alla ingående variabler är konstanta under det använda tidsintervallet på en timme. Felet i verkningsgradsbestämning kan delas upp i statistiska och dynamiska fel. De statistiska felen kan vara systematiska fel hos solinstrålning, insamlad solvärme och olika temperaturer. Solfångaresystemet är knappast någon gång i ett jämviktstillstånd. Detta medför ett dynamiskt fel på grund av upp- eller urladdning av värme i solkollektorerna med tillhörande rörnät. Den statistiska värmebalanskvationen för solfångaresystemet kan skrivas som

$$C dt_{\text{abs}}/T = a\bar{P} + q(\bar{t}_{\text{in}} - \bar{t}_{\text{ut}}) + k(\bar{t}_{\text{om}} - \bar{t}_{\text{abs}})$$

Här är C solfångaresystemets värmekapacitet per m^2 och dt_{abs} är temperaturändringen hos solfångaresystemet under tiden T , som är en timme.

Efter insättning av uttrycket för mätt verkningsgrad v_m

$$v_m = q(\bar{t}_{\text{ut}} - \bar{t}_{\text{in}})/\bar{P}$$

fås

$$v_m = a + k(t_{om} - t_{abs})/P - C dt_{abs}/PT$$

Uttrycket visar att det dynamiska felet i mätt verkningsgrad kan skrivas som

$$v_{mdf} = -C dt_{abs}/PT$$

Värmekapaciteten C per m^2 kan uppskattas med nästan 4 kg vatten (2 kg vatten i solfångare, 16 kg stål och vatten och stål i rör motsvarande 1 kg vatten). Sätt $C=14400 \text{ J/}^\circ\text{C}$ och $T=3600 \text{ s}$, vilket ger

$$v_{mdf} = -4 dt_{abs}/P$$

Instrålningen ligger alltid över 400 W/m^2 . Det största tänkbara felet fås då som

$$v_{mdf} = -0.01 dt_{abs}$$

En ändring av solfångaresystemets medeltemperatur under en timme på 5°C när $P=400 \text{ W}$ ger ett fel på 0.05 eller 5% i verkningsgrad. Feluttrycket visar också att det dynamiska felet är negativt vid uppvärmning och positivt vid avkyllning. Detta innebär att den uppmätta verkningsgraden är lägre i början av driften än den borde vara och tvärtom i slutet.

Osäkerheten i de , vid den linjära regressionen använda x -värdena $(t_{abs} - t_{om})/P$, kan uppskattas grovt med att felet i absorbatortemperatur och uteluftstemperatur är $\pm 2^\circ\text{C}$ resp $\pm 1^\circ\text{C}$. Det relativa fel i temperaturdifferensen är omkring $\pm 10\%$, eftersom temperaturskillnaden är omkring 30°C . Solinstrålning har beräknats från de mot en horisontell yta instrålade värdena. Ett fel är att den diffusa instrålningen endast blir hälften för de vertikala solfångarna än vad som mäts upp. Solinstrålningsvärdena innehåller knappast några slumpmässiga fel, utan snarare systematiska sådana. Exempel på konstigheter återfinns i FIG.3.2.

Sist i TAB.7.1 ges resultat för linjär regression för endast 5 dygns

värden för kl 10-11 och för kl 13-14. De erhållna regressionslinjerna och de använda mätvärdena återfinns i FIG.7.12. Verkningsgradens linje för de tidigare värdena går under linjen för de senare värdena, vilket storleksmässigt kan stämma med fel på grund av upp- och urladdning. Skillnaden blir då dubbelt så stor om det föreligger ett negativt fel på morgonen och ett positivt fel på eftermiddagen.

Slutsatsen för den här gjorda felanalysen visar att det dynamiska felet kan bli stort i förhållande till den uppmätta verkningsgraden med antagande om stationäritet.

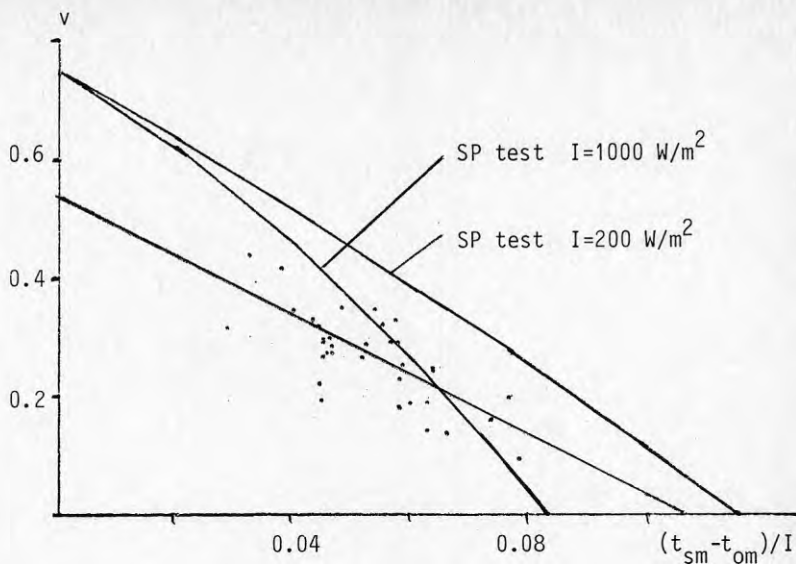


FIG.7.1 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad ($t_{sm}-t_{om}$) dividerat med vinkelrät instrålning I för alla mätdata i TAB.6.3.

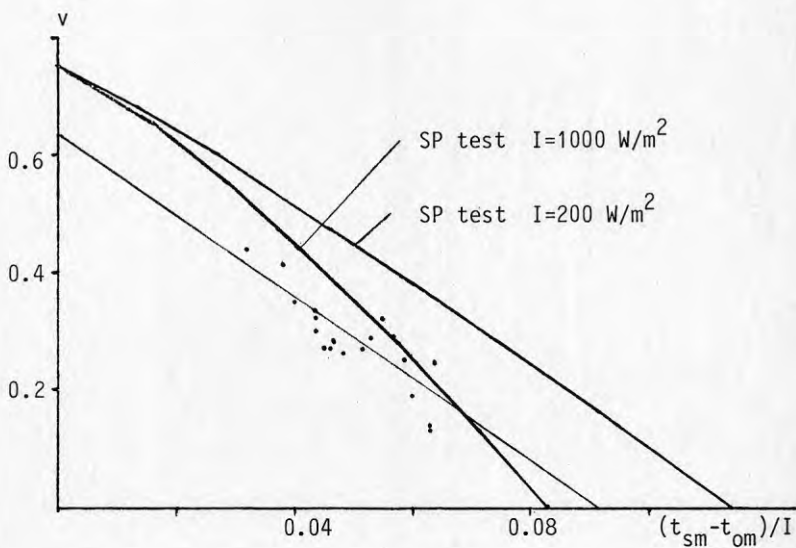


FIG.7.2 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad ($t_{sm}-t_{om}$) dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata kl 11-13 i TAB.6.3.

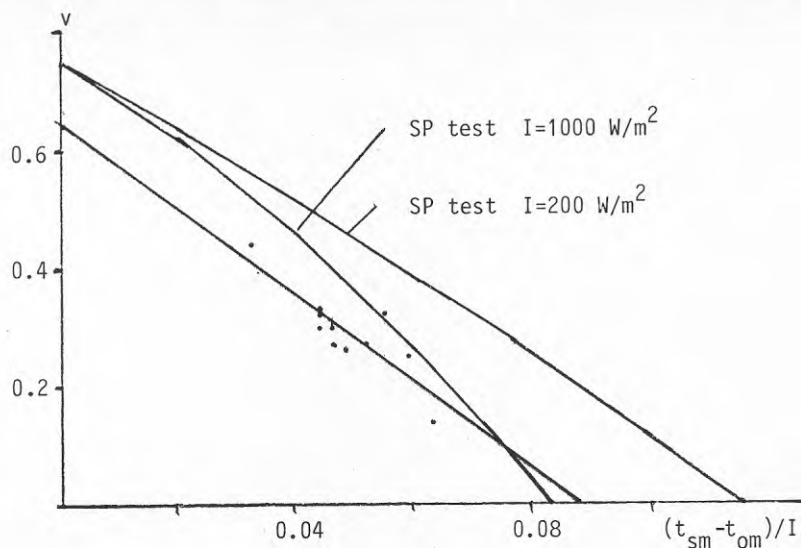


FIG.7.3 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm} - t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata k1 11-12 i TAB.6.3.

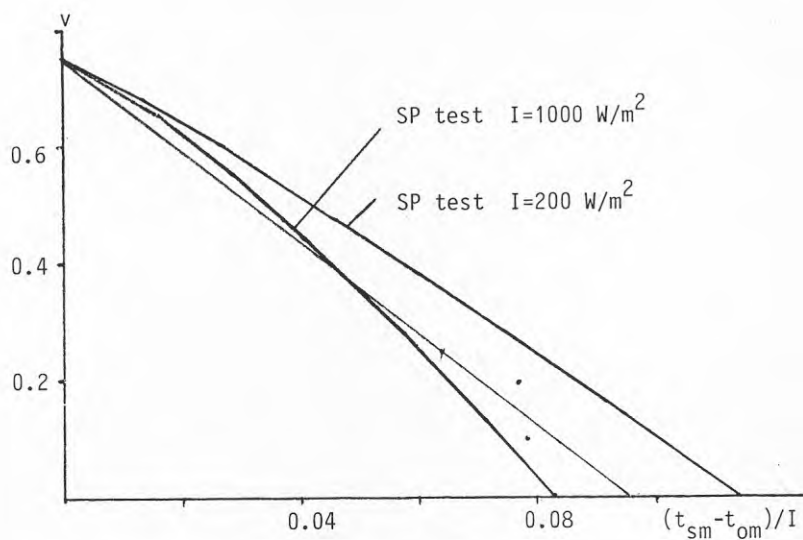


FIG.7.4 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm} - t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I = 400-499$ W.

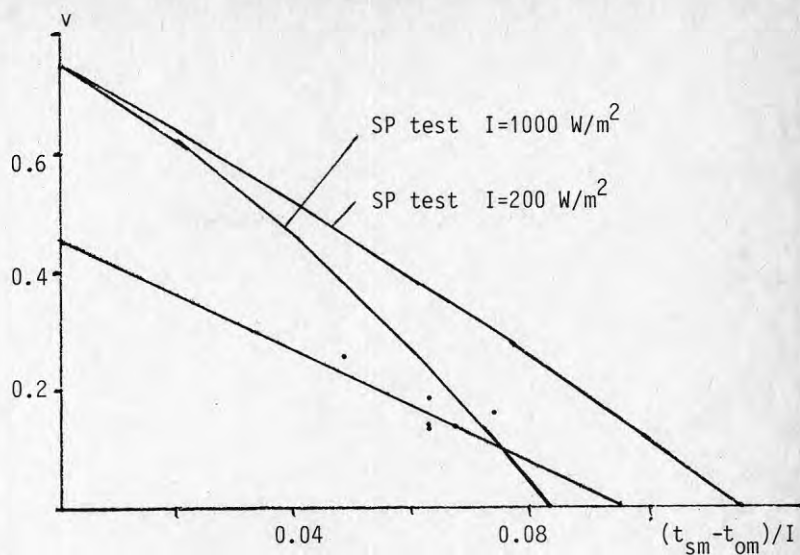


FIG.7.5 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm}-t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I = 500-599 \text{ W}$.

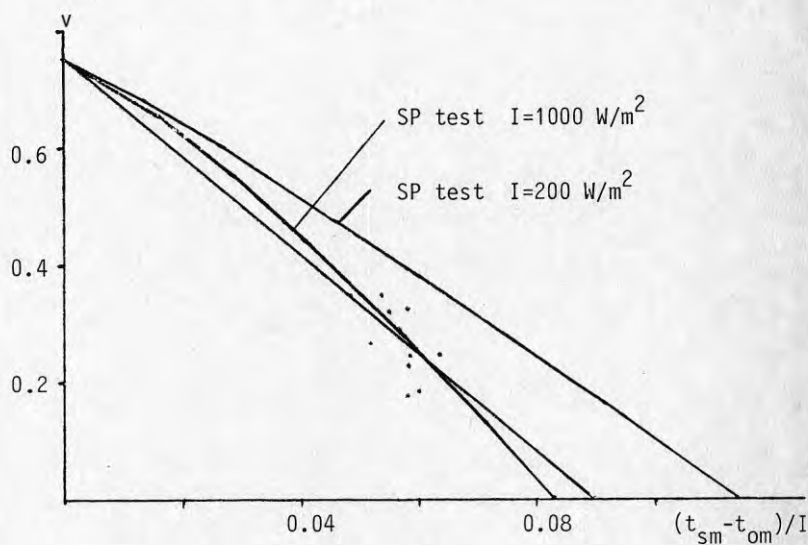


FIG.7.6 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm}-t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I = 600-699 \text{ W}$.

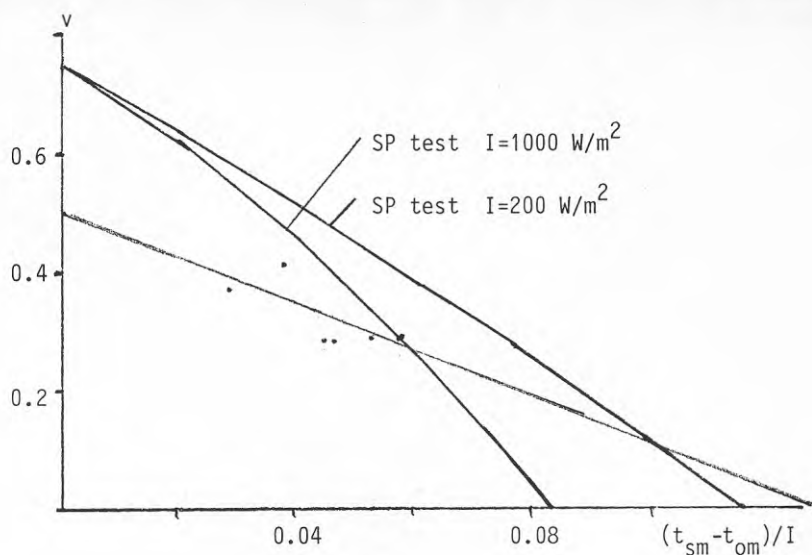


FIG.7.7 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm}-t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I = 700-799 \text{ W}$.

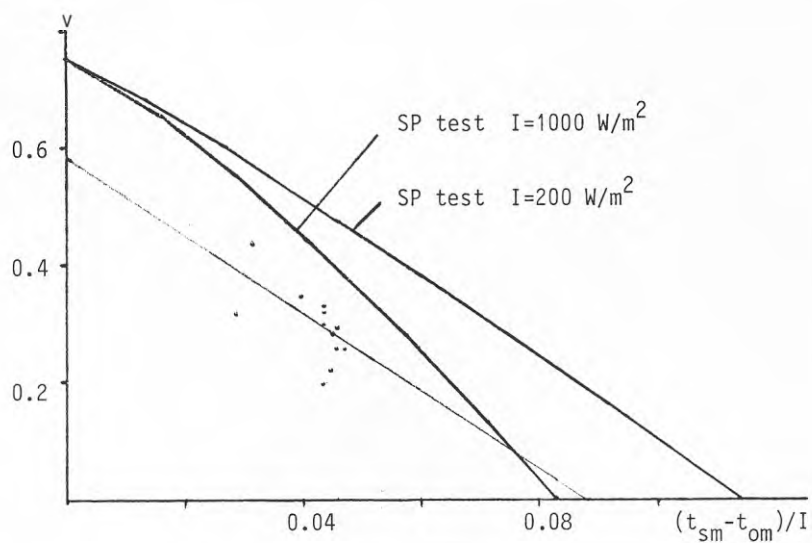


FIG.7.8 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm}-t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I = 800-899 \text{ W}$.

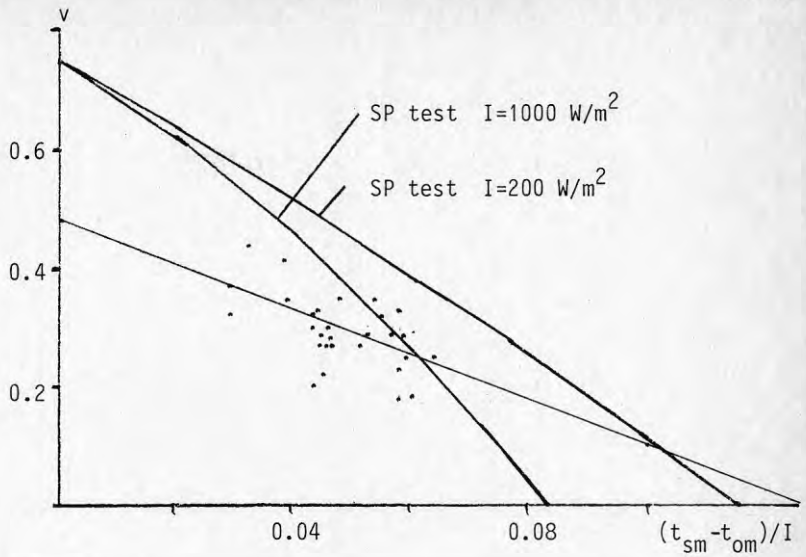


FIG.7.9 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm}-t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I > 600 \text{ W}$.

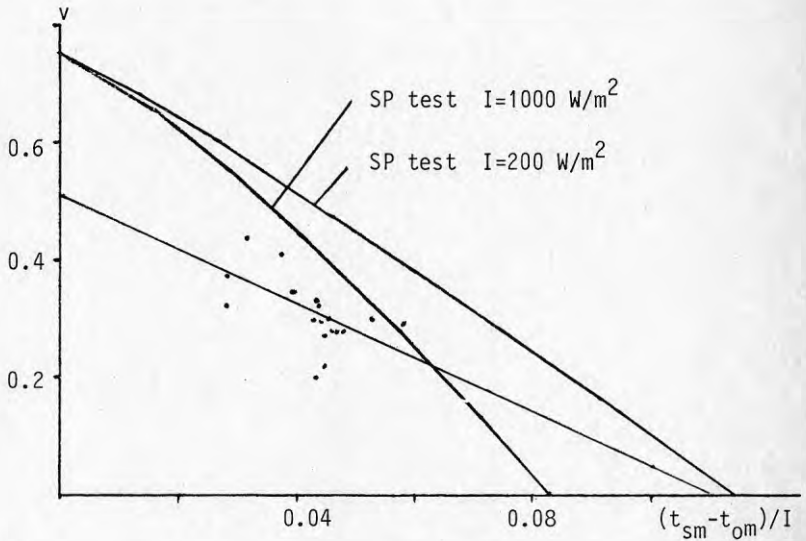


FIG.7.10 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm}-t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 med $I > 700 \text{ W}$.

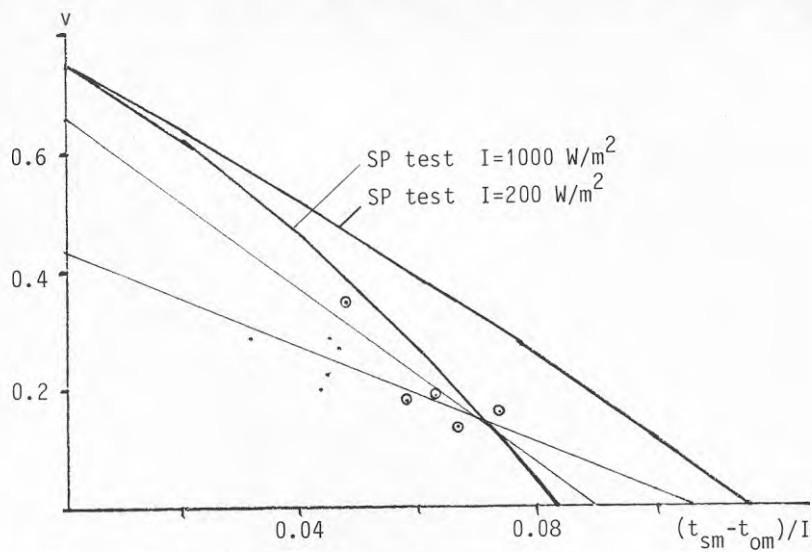


FIG.7.11 Verkningsgrad som funktion av temperaturskillnad $(t_{sm} - t_{om})$ dividerat med vinkelrät instrålning I för mätdata i TAB.6.3 för k_1 10-11 och för k_1 13-14.

Skuggning, reflektion (vinkelberoende) och försämrad absorption

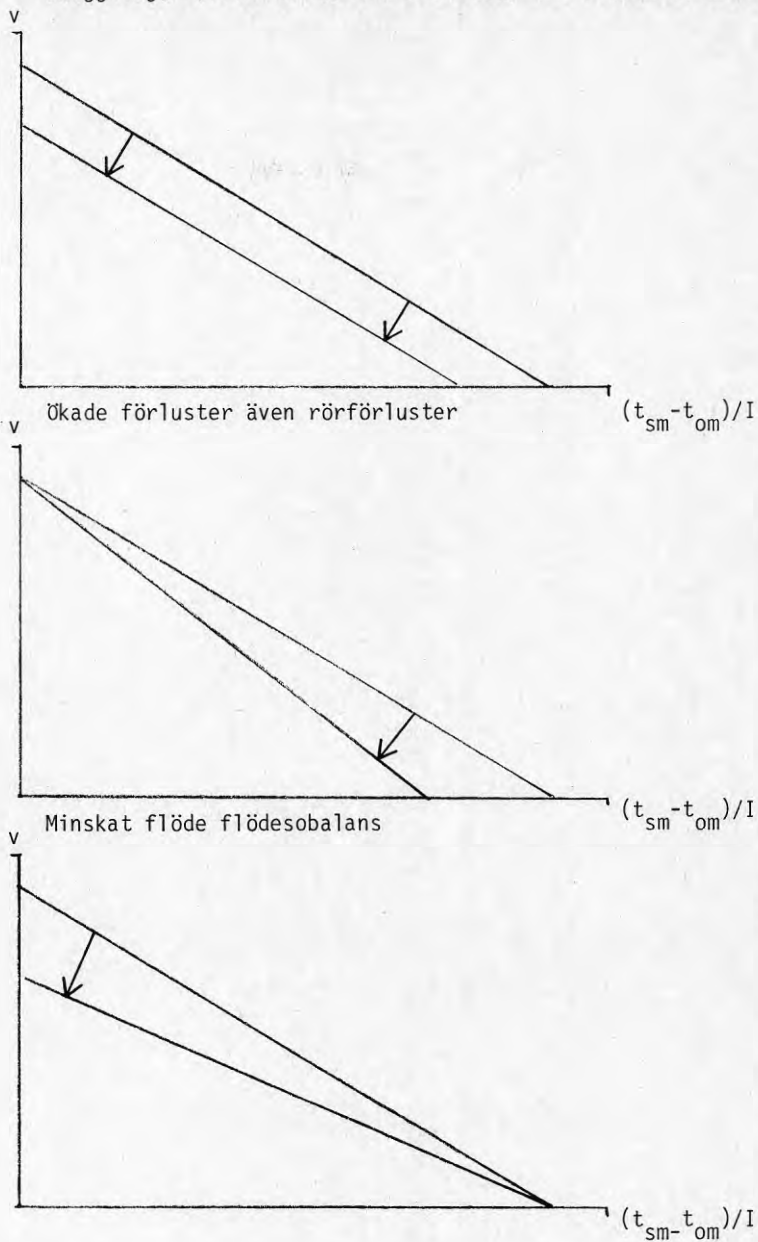


FIG 7.12 Exempel på hur verkningsgraden v påverkas av olika faktorer

TAB.7.1 Linjär regression verkningsgrad-solfångare. Modell $y=kx+l$,
 $y=v$ och $x=(t_{\text{abs}}-t_{\text{om}})/I$. Mätdata från TAB.6.3.

Datagrupp	Antal	Parametrar		Statistiska data				
		l	k	m_x	m_y	s_x	s_y	r
alla	38	0.53	-5.0	0.0525	0.265	0.0120	0.079	-0.75
k1 11-13	21	0.63	-6.9	0.0504	0.281	0.0090	0.076	-0.82
k1 11-12	11	0.64	-7.3	0.0485	0.291	0.0085	0.072	-0.86
400-499 W	3	0.75	-7.8	0.0730	0.183	0.0078	0.076	-0.80
500-599 W	6	0.45	-4.7	0.0630	0.172	0.0085	0.048	-0.57
600-699 W	11	0.75	-8.4	0.0576	0.274	0.0043	0.060	-0.60
700-799 W	6	0.50	-3.9	0.045	0.318	0.0104	0.057	-0.72
800-899 W	12	0.58	-6.6	0.0422	0.301	0.0058	0.062	-0.61
>600 W	29	0.48	-3.8	0.0482	0.294	0.0092	0.061	-0.57
>700 W	18	0.51	-4.6	0.0431	0.307	0.0074	0.059	-0.58
k1 10-11	5	0.43	-4.07	0.042	0.26	0.0074	0.050	-0.61
k1 13-14	5	0.66	-7.36	0.062	0.20	0.098	0.084	-0.86

8 STYRNING AV SOLVÄRMESYSTEM

I detta kapitel behandlas ett förenklat driftsproblem, nämligen när skall pumpcirkulationen startas för att en önskad solvärmeeffekt skall kunna tas ut? Hur lagringen sker behandlas ej utan jämförelse sker endast med en given inloppstemperatur till solfångaren, som kan vara botten-temperatur i en tank.

De uppmätta starterna och stoppen analyseras först i ett inledande avsnitt och därefter behandlas startproblemet med några enkla modeller. Utformningen och placeringen av temperaturgivaren i solkollektorn är betydelsefull.

En sammanställning av befintliga styrutrustningar för solfångaresystem görs sist i kapitlet för att se om inställningsmöjligheter är tillräckliga. Det krävs nämligen en stor startdifferens och en liten stoppdifferens.

Analys av starter och stopp

Den solvärmemängd som ett solfångaresystem kan samla in beror ej endast på solfångarnas data, orientering, lutning, önskade temperaturer och så vidare utan också på hur styrningen sker. En felaktig inställd reglercentral eller felaktigt monterad givare kan reducera solvärmens betydligt. Ett första steg är att undersöka när sker start och stopp. Ett andra steg är att undersöka vilka förhållandena var före start och efter stopp.

En enkel sammanställning av starter och stopp ges i FIG.8.1 och 8.2. för 27 driftstillfällen 1979 och 13 under 1980. En misslyckad start under 1980 syns som ett stopp i FIG.8.2. Ett förnyat startförsök lyckades bättre en timme senare. Tanktemperaturen var hög vid detta tillfälle, omkring 49 °C.

Histogram över start och stopp skall också jämföras med tidpunkten för den största instrålningen, som är omkring kl 11, eftersom kollektorerna

är vertikala och är orienterade 20° åt öster från söder. Förhållandet mellan starter och stopp kring kl 11 pekar på starter som sker närmare kl 11 än stopp. Detta kan då bero på reglerutrustningen.

En kontroll av förhållandena före start visar att om uttrycket $(t_{abs} - t_{om})/I$ beräknas så erhålls värden i intervallet (0.05,0.07). Solkollektorns temperatur t_{abs} har satts lika med den uppmätta bottenstemperaturen i tanken. Motsvarande värden vid drift blir därför högre eftersom kollektorns temperatur blir högre än inloppstemperaturen. En ökning av tankens bottenstemperatur med 6°C , vilket motsvarar solkollektorns temperatur under drift, förskjuter värdesintervallet för $(t_{abs} + 6 - t_{om})/I$ till grovt (0.6-0.8). Uttrycket $(t_{abs} - t_{om})/I$ beräknat för driftsvärden ligger i intervallet (0.2-0.8).

Slutsatsen är att solfångaresystemet borde kunnat ge ett rimligt utbyte med en verkningsgrad på 10-20% om start hade skett tidigare. Turen i oturen är emellertid att solhöjden är så låg för de aktuella timmarna att de tre bakre bankarna skuggas till viss del och en eventuell start hade kunnat bli meningslös utan att den styrande oskuggade givaren hade kunnat undvika detta.

En annan viktig observation är att utetemperaturen ligger under 0°C vid en del av dessa tilltänkta starter. Risken för påfrysning är obetydlig för medelflödet på $0.4 \text{ dm}^3/\text{min}, \text{m}^2$. Påfrysning kan ske vid stor flödesobalans, för flöden som är en tiondel av medelflödet. Detta har berörts i kapitel 7 i avsnittet om skuggning.

Starten kan också fördröjas på grund av givarens dynamik. Givarens egen dynamik är snabb, men helt avgörande är hur är givaren placerad i förhållande till solkollektorn, hur kan värmetransport ske till givare och hur stora är de massor som givaren är i kontakt med.

I det aktuella fallet så är givaren fastklämd på ett samlingsrör som står i förbindelse med solkollektorn via en röranslutning. Samlingsröret är normalt isolerat. Värmetransporten från kollektorn till samlingsröret sker därför via röranslutningen och genom isoleringsmaterialet. Givaren har därför en ganska dålig värmekontakt med kollektorn, vilket

gör dynamiken långsam. En mycket grov uppskattning ger en tidskonstant på omkring 30 min. Detta innebär att vid en konstant temperaturökning i kollektorn så släpar givaren efter med just tidskonstanten (omkring 30 min). Starten sker därför så mycket senare. Solfångarens tidskonstant är endast några minuter.

Start och stopp av solvärmesystem

Det primära är att starta pumpcirkulationen när anläggningen kan producera rimligt med värme i förhållande till pumparbetet. Med kännedom om pumpeffekten P_p , önskat förhållande f mellan erhållen värme och tillfört pumparbete och flödet q genom solfångaren, så kan den minsta önskade temperaturhöjningen dt_{drift} för vattnet beräknas som

$$dt_{drift} = f P_p / q \quad (1)$$

Stopp sker lämpligen vid en något lägre temperaturskillnad

$$dt_{stopp} = b dt_{drift} \quad (2)$$

där

$$0 < b < 1$$

Detta för att minska risken för upprepade stopp och starter.

Före starten råder ingen cirkulation (kollektorn kan också vara dränerad). Kollektorns temperatur vid inget flöde kan skrivas som

$$t_{sf} = t_{om} + aP/k \quad (3)$$

En temperaturgivare placerad någonstans intill eller på kollektorn mäter en temperatur t_g mellan kollektorns t_{sf} och omgivningens temperatur t_{om} .

$$t_g = c t_{sf} + (1-c)t_{om}$$

eller

$$t_g = t_{om} + caP/k \quad (4)$$

där

$$0 < c < 1$$

Utloppstemperaturen t_{ut} vid flödet q kan skrivas som

$$t_{ut} = t_{in} + (aP + k(t_{om} - t_{in})) / (q + k/2) \quad (5)$$

Den naturliga frågan är nu vid vilken givaretemperatur t_g skall pumpen startas så att $(t_{ut} - t_{in})$ är lika med eller större än dt_{drift} . Olikheten

$$dt_{drift} \leq t_{ut} - t_{in} \quad (6)$$

ger efter insättning av (5) och omordning följande

$$aP/k \geq dt_{drift}(q + k/2)/k + t_{in} - t_{om} \quad (7)$$

Efter insättning av (7) i (4) där aP/k elimineras så erhålles

$$t_g \geq t_{om} + c t_{in} - c t_{om} + c dt_{drift}(q + k/2)/k \quad (8)$$

Startvillkoret kan erhållas av (8) som

$$t_g - t_{in} \geq (1 - c)(t_{om} - t_{in}) + c dt_{drift}(q + k/2)/k \quad (9)$$

Differenstemperaturen dt_{start} kan alltså skrivas som

$$dt_{start} \geq (1 - c)(t_{om} - t_{in}) + c dt_{drift}(q + k/2)/k \quad (10)$$

För specialfallet $c=1$ (givare i kollektoryta) fås

$$dt_{start} \geq dt_{drift}(q + k/2)/k$$

Nedan ges några värden på uttrycket $(q+k/2)/k$ med $k=6 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$.

flöde $\text{dm}^3/\text{min,m}^2$	q $\text{W/}^\circ\text{C,m}^2$	$(q+k/2)/k$
0.1	7	1.67
0.2	14	2.84
0.5	35	6.33
1.0	70	12.17

Siffrorna visar att startdifferensen ökar med ökande flöde för fallet $c=1$. För $c<1$ så minskar startdifferensen dt_{start} . Den kan också bli negativ. Gränsfallet kan lätt beräknas med (10). Kravet är att

$$(1-c)(t_{\text{om}}-t_{\text{in}})+c dt_{\text{drift}}(1+k/2)/k = 0 \quad (11)$$

För vilka c och t_{in} värden bör start ske vid startdifferensen $dt_{\text{start}}=0$? Antag att $t_{\text{om}}=0^\circ\text{C}$, $dt_{\text{drift}}=5^\circ\text{C}$, $q=14 \text{ W/}^\circ\text{C}$ och $k=6 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Ekv(11) kan skrivas om till

$$c = \frac{(t_{\text{in}}-t_{\text{om}})}{(t_{\text{in}}-t_{\text{om}}+dt_{\text{drift}}(q+k/2)/k)} \quad (12)$$

Efter insättning fås

$$c = \frac{t_{\text{in}}}{(t_{\text{in}}+14.2)} \quad (13)$$

Nedan har några värden på t_{in} beräknats med utgångspunkt från c

c	t_{in}
0.5	14.4
0.6	21.3
0.7	33.2
0.8	56.8
(0.9	127.8 kokning)

Siffrorna visar att mäts ett mellanting av kollektor- och omgivningstemperatur så kan startdifferensen bli negativ redan för låga tanktempera-

turer som också är inloppstemperatur t_{in} .

I FIG.8.3 och 8.4 visas skillnaden mellan mätning av t_g med $\epsilon=1$ och $c=2/3$. I det senare fallet så erhålls också ett område med intermittert felaktig drift.

Det är underförstått i FIG.8.3 och 8.4 att solinstrålning varierar för gränssfallen på de olika linjerna och någon kontroll om rimligheten har inte gjorts. För en given solinstrålning så kan givarens temperatur beräknas om dess egenskaper är kända. Antag att $a=0.7$ och $k=7 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$ för solkollektorn och då fås givaretemperaturen t_g som

$$t_g = t_{om} + 0.1 cP$$

Den maximala solinstrålningen är nära 1000 W/m^2 vilket medför att

$$t_g = t_{om} + 100 c$$

Detta enkla uttryck visar att det kan bli problem att uppnå höga temperaturer i en stor lagringsenhet om den styrande givaren är olämpligt placerad (lågt c -värde).

Exempel:

En tank med en temperatur på $70 \text{ }^\circ\text{C}$, en startdifferens på $6 \text{ }^\circ\text{C}$, en utetemperatur på $20 \text{ }^\circ\text{C}$, en solinstrålning på 800 W/m^2 och $c=0.7$ uppfyller precis startvillkoret

$$70 + 6 = 20 + 0.1 \cdot 0.7 \cdot 800$$

Kravet på stora startdifferenser relativt drifts- och stoppdifferenser vid stora flöden behöver inte innebära stora differenser absolut sett eftersom önskad effekt P_s oftast är densamma för både låg- och högflödessystem. Detta innebär att följande samband gäller mellan flödets värmebärarkapacitet q , driftstemperaturdifferens dt_{drift} och önskad effekt P_s

$$P_s = q \cdot dt_{drift}$$

Startdifferensen har tidigare beräknats som

$$dt_{start} = dt_{drift} (q+k/2)k$$

och kan beräknas som en funktion av q för ett givet k och önskad effekt P_s .

$$dt_{start} = P_s \frac{(q+k/2)}{q k} = P_s (1+k/2q)/k$$

Nedan ges några värden för parentesen $(1+k/2q)$ för $k=6 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$

q $\text{dm}^3/\text{min, m}^2$	$\text{W/}^\circ\text{C, m}^2$	$(1+k/2q)$
0.1	7	1.43
0.2	14	1.21
0.5	35	1.09
1.0	70	1.04

Siffrorna visar att de absoluta startdifferenserna inte varierar så mycket med flödet för en given effekt.

Styrutrustningar för solfångarsystem

Vilka inställningsmöjligheter ger dagens styrutrustningar för solfångaresystem om en kollektortemperaturgivare skall användas. Fem fabrikat skall redovisas, nämligen Billman, Danfoss, Honeywell, Stäfa och TA.

Billman Heliogyr RSA 22

Startdifferens	0-20 °C
Kopplingsdifferens	1±0.5 °C

Startdifferens bör vara större och kopplingsdifferensen kan inte ändras och är allt för liten. Enligt tillverkaren skall solfångaregivaren placeras omedelbart efter solfångarens utlopp och en lämplig startdifferens är 10-15 °C.

Danfoss elektronisk differenstermostat SETD

Startdifferens	3-10 °C
Stoppdifferens	2±0.6 °C (fabriksinställt)

Inställningsområdet för startdifferensen är ytterst litet. Det är den enda reglercentralen som arbetar med stoppdifferens och inte någon kopplingsdifferens.

Honeywell Mikronik 100 R7420G

Startdifferens	0-20 °C
Kopplingsdifferens	50-95% av inställd startdifferens

Start- och kopplingsdifferensen borde vara större. Denna differensregulator har tre utgångar. Start- och kopplingsdifferensen är densamma för varje steg. Speciella kontaktfunktioner finns för höga enskilda givaretemperaturer för att skydda mot övertemperaturer. Samma sak finns även för låga temperaturer för en av differensgivarna och för en extra givare för att kunna byta driftssätt och skydda systemet mot frysning.

Stäfa temperaturdifferensregulator RHF2D

Startdifferens	0-30 °C
Kopplingsdifferens	1-10 °C

Kopplingsdifferensen är för liten i förhållande till startdifferensen. Start- och kopplingsdifferens kan minskas som funktion av tanktemperaturen för att lättare ladda vid höga temperaturer.

Tour och Andersson AB 211 D

Startdifferens	0-30 °C
Kopplingsdifferens	1-30 °C

Inställning av kopplingsdifferensen sker med hjälp av ett diagram, startdifferensen och önskad stoppdifferens som indata. Enda problemet kan vara inställningsnoggrannheten.

Sammanställning

Fabrikat	Startdifferens	Kopplingsdifferens
Billman	0-20 °C	1±0.5 °C
Danfoss	3-10 °C	2±0.6 °C stoppdifferens
Honeywell	0-20 °C	50-95% av startdifferens
Stäfa	0-30 °C	1-10 °C
TA	0-30 °C	1-30 °C

Alla de här genomgångna reglercentralerna använder sig av en givare överst i solfångaren (icke solbelyst) och en i botten av tanken. En förklaring till att givarna placeras så är att det finns lämpliga givare för att mäta vattentemperaturer i rör med anläggnings- eller dyrör. Det finns däremot knappast några lämpliga givare för att mäta kollektortemperaturer (montageproblem).

I ett komplett system för simbassäng-uppvärmning så används en speciell solgivare och en givare i inloppet till solfångarna som är gjorda i svart plast och som är oglasade. Den speciella solgivaren skall placeras på samma plats och med samma lutning och orientering som solfångarmodulerna. Någon mätning av solfångarnas utloppstemperatur görs ej, vilket ställer stora krav på solintensitetsgivaren.

Slutsatser

Det är olämpligt att mäta en annan temperatur än kollektorytans för att bestämma om start skall ske eller ej.

En felaktigt mätt temperatur medför att system med långtidslagring startar sent på dagen vid höga tanktemperaturer, eftersom givaretemperaturen t_g måste bli något högre än tanktemperaturen. När väl start skett så sker driften med betryggande marginal.

Om anläggningen utformats så att maximal laddning sker mitt på året då

kan fortsatt laddning efter halvårsskiftet försvåras och kanske helt upphöra.

Fallet korttidslagring är inte så allvarligt eftersom tanktemperaturen hela tiden är låg vid de flesta starter, i synnerhet vid varmvattenberedning.

En felaktigt mätt temperatur medför helt felaktiga starter vid låga tanktemperaturer.

Styrutrustningarnas inställningsmöjligheter kan minska utbytet från ett solfångaresystem betydligt. Många av dagens utrustningar är olämpliga.

Ett förslag till ett säkert och effektivt styrsätt för ett solfångaresystem innehåller tre givare, nämligen (1) solkollektorgivare, (2) utloppsgivare och (3) inlopps- eller tankgivare. Givarna (1) och (2) kan eventuellt slås samman till en givare i kollektorn i eller på rör nära utloppssidan. Start sker när (1)-(3) är större än inställbar startdifferens 0-50 °C. Stopp sker när (2)-(3) är lägre än inställbar stoppdifferens och när startvillkoret ej är uppfyllt 0-10 °C.

Detta styrsätt med tre givare kan åstadkommas med två normala reglercentraler, två tidreläer och en dubblerad givare (3). Ett tidrelä används för att förhindra stopp omedelbart efter start. Det solvärmda vattnet måste hinna nå fram till givare (3). Systemet kan vara dränerat. Det andra tidreläet används för att förhindra start kort tid efter stopp. Detta görs för att skydda pumpen mot allt för täta starter och stopp vid felaktiga inställningar eller fel på givare.

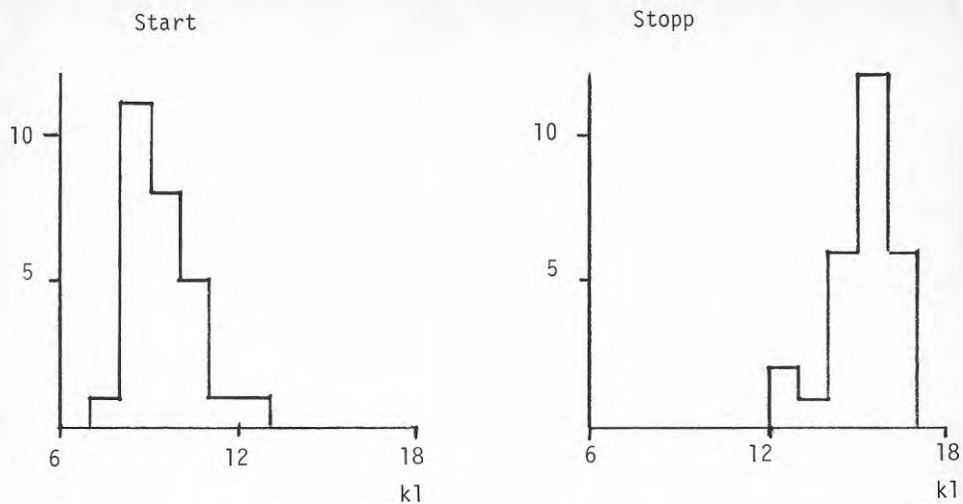


FIG 8.1 Start och stopp under 1979 totalt 27 st.

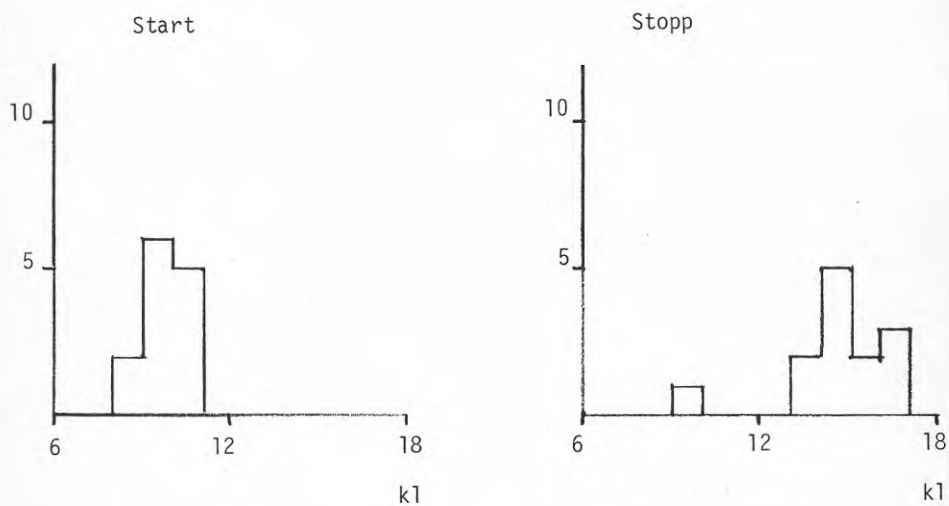


FIG 8.2 Start och stopp under 1980 totalt 13 st

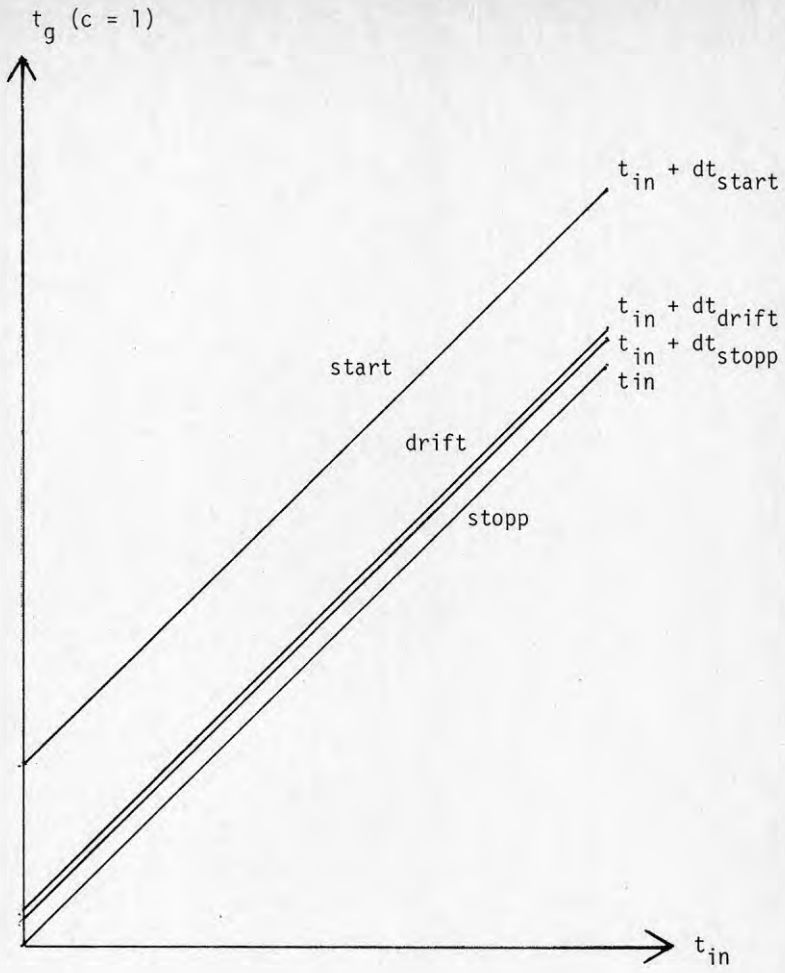


FIG 8.3

Start-, drift- och stoppmråden när absorbatortemperatur mäts.

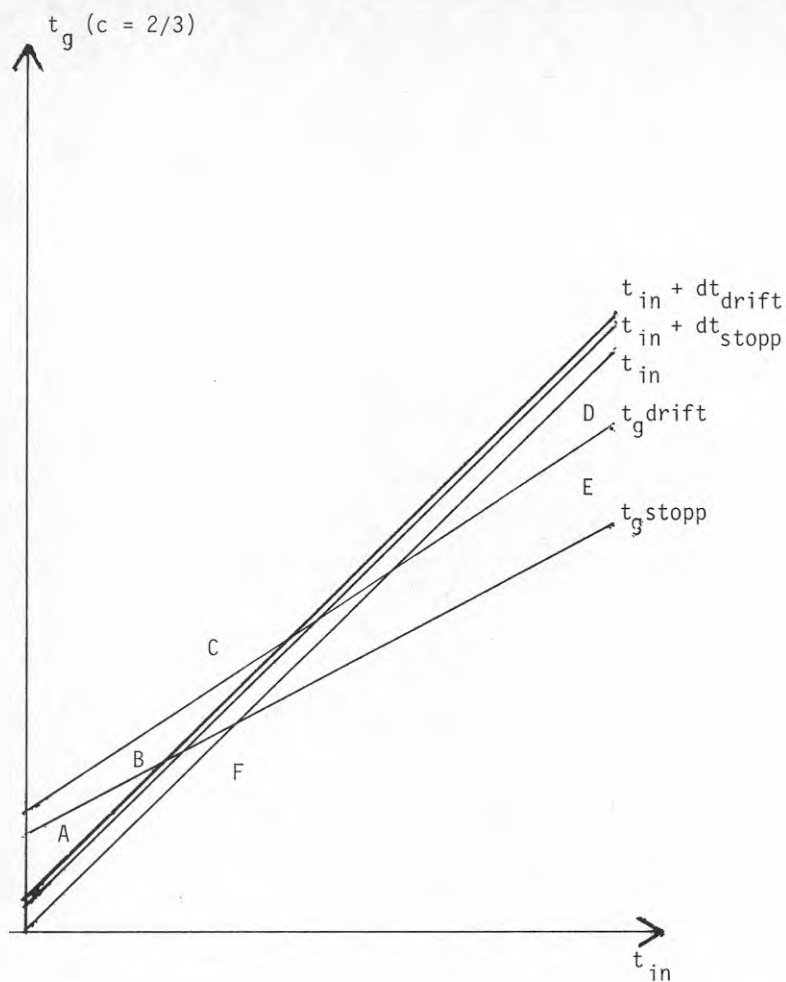


FIG 8.4

Start-, drift- och stoppområde vid normal placering av styrande givare och solkollektorn. Start sker i område A, B och C. Efter start i A sker stopp efter en kortare tid. Någon start sker ej i D, trots att t_{ut} hade blivit större än $t_{in} + dt_{drift}$ om start hade skett.

9 FORTSATT FORSKNING

Alla använda givare och mätare monteras tills vidare inte ner utan kan användas för fortsatta mätningar. Forskningen på solvärmesystemet kan bedrivas vidare på två nivåer.

Den lägre nivån innebär att avläsning av alla vattenmängdsmätare (3 st), alla värmemängdsmätare (3 st), alla elenergimätare (3 st) sker varje vecka vid samma tidpunkt. Tankens temperatur på olika nivåer avläses också. Uteklimatet noteras grovt dag för dag såsom utetemperatur, vind, molnighet (mulet, molnigt eller klart) och om solarimeter finns kvar, görs en avläsning av instrålning mot horisontell yta per vecka.

Solvärmesystemets styrsystem bör kontrolleras och eventuellt ändras så att en kollektorsgivare bestämmer starten och en returgivare bestämmer stopp. Prov kan ske med olika inställningsvärden.

Ett större antal starter kan fås genom att öka belastningen genom att använda en större minsta uteluftsmängd. Detta begränsningsvärde antecknas varje vecka och ändras med hänsyn till tankens temperaturnivå.

Solkollektorernas kondition bör också kontrolleras två gånger per år före och efter sommarhalvåret. Kontroll av läckage vid drift bör också ske.

Syfte och metodik

Den fortsatta forskningens högre forskningsnivå har till syfte att bestämma säkrare värden på solfångaresystemets verkningsgrad för olika driftsfall, att jämföra solfångaresystemets prestanda med beräknade och att undersöka hur start och stopp skall ske. Tankens egenskaper bör också undersökas, t ex hur påverkas skiktning av olika uttag och solvärmeförsel.

Bearbetning skall ske på plats i en datoriserad styr-, regler-, och mätutrustning, som svarar för styrning och reglering av hela solvärmesys-

temet.

En solvärmeanläggning vars driftssätt inte kan påverkas, kan ge en mängd likartade mätvärden. Några extremvärden erhålls knappast. Extremvärden är alltid intressanta att känna till för att kontrollera testvärden och för att ligga till grund för dimensionering. Ett exempel är systemets prestanda vid höga absorbatortemperaturer i förhållande till omgivning- en vid hög instrålning. Ett annat exempel gäller solkollektorsystemets förluster.

Lämpliga mätvärden från dessa driftsfall kan erhållas genom att reglera inloppstemperaturen eller enbart genom att cirkulera flödet genom sol- kollektorerna och när det gäller förluster så kan solkollektorsystemet driftsättas nattetid med lämpliga inloppstemperaturer.

Vid lika in- och utloppstemperaturer $t_{ut}=t_{in}$ erhålls följande samband

$$0 = aP + k(t_{sm} - t_{om})$$

Förhållandet mellan a och k kan bestämmas som

$$a/k = (t_{in} - t_{om})/P$$

Nattdriftfallet ger följande samband

$$0 = k(t_{om} - (t_{in} + t_{ut})/2) + q(t_{in} - t_{ut})$$

vilket ger

$$k/q = (t_{in} - t_{ut}) / ((t_{in} + t_{ut})/2 - t_{om})$$

Flödet är känt och därmed q (földets värmebärarkapacitet).

Solkollektorparametrarna a och k kan bestämmas enkelt med mätningar på t_{om} , t_{in} , t_{ut} och P för de två driftsfallen. Solfångaresystemets vind- känslighet kan givetvis också undersökas genom att välja lämpliga drifts-

tillfällen.

Det här föreslagna driftsfallen kan åstadkommas med en del extra rördragning som enklast beskrivs i FIG.9.1. Tankens bottenvatten pumpas vid normal drift till solkollektorerna. Nattdriftsfallet kräver en hög och jämn inloppstemperatur. Detta sker enklast genom att ta tankens toppvatten, samtidigt så undviks blandning av hela tankens vattenmängd genom att det kallare returvattnet återförs i botten av tanken. Önskad inloppstemperatur till solkollektorerna kan erhållas med en reglerventil RV enligt FIG.9.1. Reglerventilen kan eventuellt också användas för att reglera totalflödet vid t ex normaldrift.

Säkerhetsfrågor vid rundgångsdriftsfallet är inte lösta. Problem med luft i solfångaresystemet bör också beaktas.

Ett annat problem är att befintliga röranslutningar måste användas. (Tanken kan knappast tömmas).

Ändrat styr-, regler- och mätsätt

De här föreslagna experimenten kan genomföras med någon form av datoriserad styr-, regler- och mätutrustning.

Start och stopp av solkollektorsystemet sker med denna utrustning och dess mätgivare. Värmeuttaget kan till viss del styras genom att öka uteluftsmängden från 15 upp till 100% och med experiment nattetid.

Några få indata bestämmer vilka experiment som skall genomföras och med vilka förutsättningar, t ex omloppstemperaturer och uteklimat. Indata ges via en terminal på plats eller ansluten via modem.

Mätdata samlas in varje minut och lämpliga medelvärden bildas och lagras undan. Tidigare erhöles endast momentanvärden varje timme. Mätdata lagras upp till några dygn och överföring kan ske med modem via tele-nätet till en större bearbetningsdator. Bearbetning bör så långt som möjligt ske i datorn på plats.

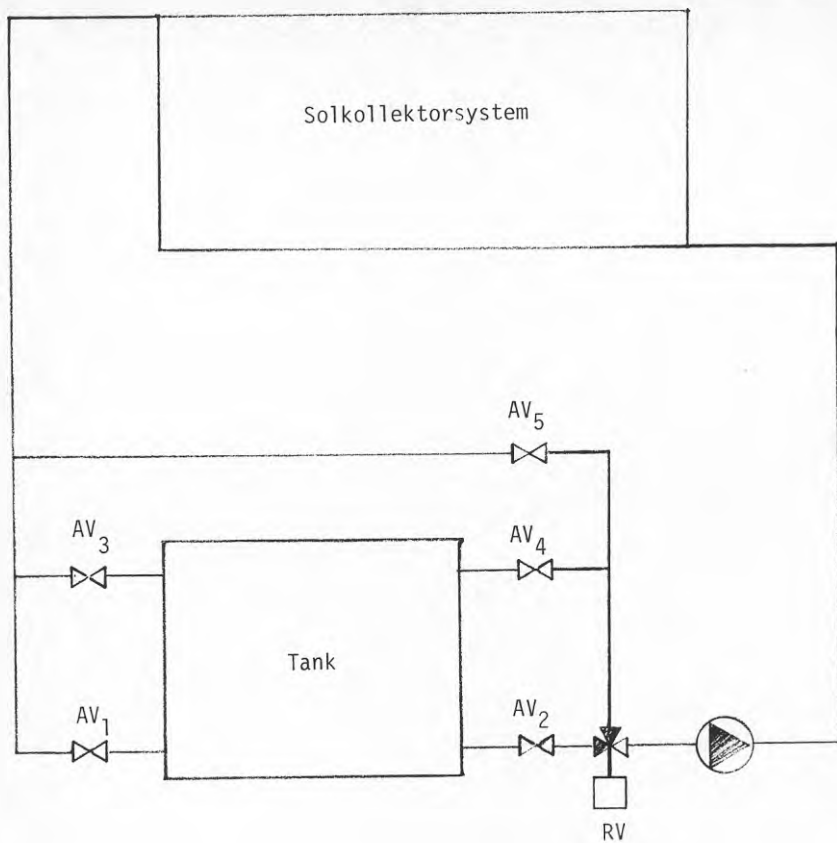


FIG 9.1 Principskiss för utökad rördragning i solfångaresystemet. Det ursprungliga systemet motsvaras av att AV₂ och AV₃ är öppna och övriga är stängda.

10 SLUTSATSER

Det ursprungliga förslaget följdes ej. Solvärmeanläggningen fick i stället förse enbart maskin- och lagerhall med värme för uppvärmning med ventilationsluft och för förvärmning av tappvarmvatten.

Energibalansen har beräknats för solvärme till hela byggnaden och till enbart maskin- och lagerhallen. Den senare kombinationen har kommit till utförande. Det hade krävt omfattande ombyggnad av den befintliga byggnadens värme- och ventilationssystem om solvärme skulle kunna utnyttjas. Uppvärmning sker nämligen med elradiatorer. De beräknade och uppmätta värdena visar att solvärmesystemets kapacitet utnyttjas obetydligt.

Mättekniska problem har främst varit misslyckade uppringningar. Solinstrålningsmätningarna har tidvis varit felaktiga.

Solfångaresystemet har endast varit i drift vid 27 tillfällen under 1979 med start i början av maj och vid 13 tillfällen under tre månader våren 1980. De bästa uppmätta dygnsvärdena för solvärmeproduktion ligger något under de beräknade för klara dagar. Skillnaden är något större för 1980 än 1979.

Verkningsgraden har kontrollerats för ett flertal timmar under våren 1980 och även här ligger de uppmätta värdena under de beräknade med utgångspunkt från testdata från Statens provningsanstalt. Skillnaden kan bero på flödesobalans inom de grupper som har sju solkollektorer i varje grupp. Detta kommer att utredas närmare i en senare rapport.

Styrning av solfångaresystem ser ut att vara en enkel uppgift, men vad den i en av solkollektorerna placerade givaren mäter för en temperatur har stor betydelse. Temperaturen blir ett mellanting av solkollektorns och omgivningens temperatur i ett dränerat system. Detta innebär att startdifferensen minskar med ökande tanktemperatur (blivande inloppstemperatur). Startdifferensen blir negativ för höga tanktemperaturer. Detta medför att system för långtidslagring kan helt misslyckas att lagra mer solvärme vid höga tanktemperaturer. Start sker alltså endast

vid höga instrålningar. Det finns också ett arbetsområde vid låga tanktemperaturer som medför starter som ger dåligt utbyte med påföljd att systemet stoppas.

En annan slutsats är att inställningsmöjligheterna på de styrcentraler som finns för solvärmesystem är för begränsade.

Skuggning medför inte att utbytet reduceras i proportion till skuggningen. En liten skuggning kan minska utbytet till noll. Gränsfallet är att verkningsgraden v i de solbelysta solkollektorerna är något mindre än skuggningsandelen s enligt uttrycket $v=sa$, där $a=0.7-0.8$.

Ett solvärmesystem med solkollektorer i olika bankar, som skuggas olika bör kunna köras individuellt.

Start av ett solfångaresystem bör ske med en solbelyst givare i en solkollektormodul. Stopp bör ske med en givare i returledningen för solfångaremoduler. Detta för att kontrollera totala utbytet som kan påverkas starkt av skuggning.

11 REFERENSER

Olsson, C-H och Wiberg, K, Industribyggnad för Stroede AB

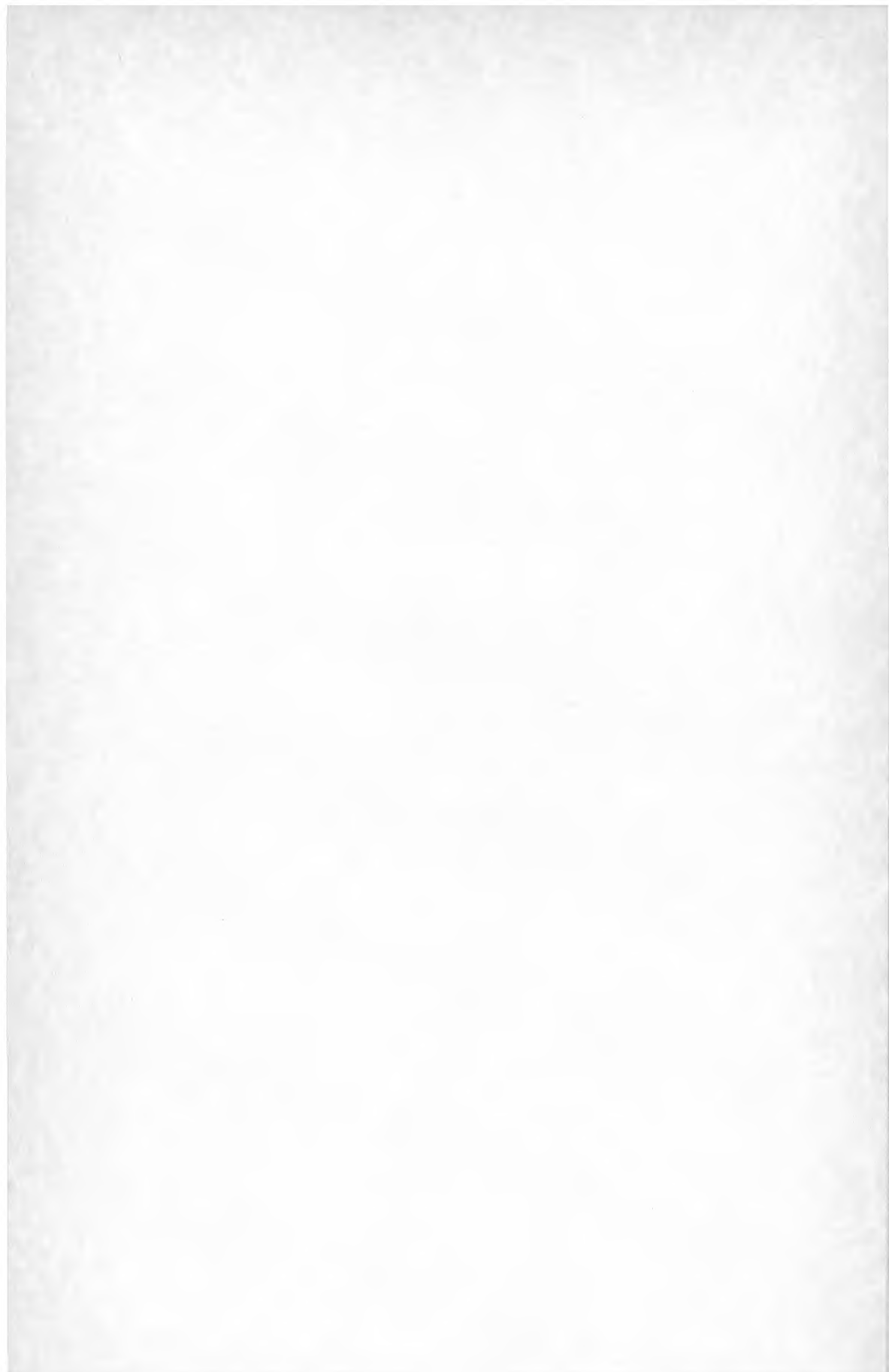
Andersson, L, Utvärdering av solvärmeprojekt för industribyggnad.
Lägesrapport 1 (opublicerat material)

TeknoTerm, Handbok TeknoTerm - solvärme

TeknoTerm, TeknoTerm - solvärme

VVS-Teknik AB, Kungsbacka Varla 6:20 Stroede AB, Värme- och sanitär-
anläggning. Program, ritningar och revideringar

VVS-Teknik AB, Kungsbacka Varla 6:20 Stroede AB. Luftbehandlings-
anläggning. Program, ritningar och revideringar.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771357-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola.**

R50: 1981

ISBN 91-540-3481-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700350

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 35 kr exkl moms