



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

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



Rapport

R122:1985

**Solvärmesystem för varm-
vattenberedning i flerfamiljshus
i Kungsbacka**

Utvärdering

Stefan Olsson

✓
9/11

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	ser

Byggeforskningsrådet

R122:1985

SOLVÄRMESYSTEM FÖR VARMVATTENBEREDNING
I FLERFAMILJSHUS I KUNGSBACKA

Utvärdering

Stefan Olsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811793-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Eksta
Bostadsstiftelse, Kungsbacka.

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

R122:1985

ISBN 91-540-4468-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SID
1.	INLEDNING 2
1.1	Förord 2
1.2	Sammanfattning 3
2.	BESKRIVNING AV SOLVÄRMESYSTEMET 4
2.1	Solfångare 5
2.2	Värmelager 7
3.	BESKRIVNING AV BYGGPERIODEN 9
4.	DRIFTSERFARENHETER 15
5.	RESULTAT AV MÄTNINGAR 16
5.1	Energikonsumtion 17
5.2	Solenergiproduktion 19
5.2.1	Solfångare 19
5.2.2	Värmelager 23
5.3	Jämförelse med beräknade resultat 30
6.	OPTIMERING 34
7.	EKONOMI 35
7.1	Kostnader 35
7.2	Lönsamhet 35
8.	UTVECKLINGEN FRAM TILL IDAG 1985 36
9.	SLUTSATSER 37
	REFERENSER

1. INLEDNING

1.1 Förord

Lindälvsskolan i Kungsbacka byggdes 1980 med takintegrerade solfångare utan täckglas. För att en solfångare skall kunna prestera temperaturer lämpliga för varmvattenberedning måste den förses med täckglas.

Statens Råd för Byggnadsforskning anslag medel till en förstudie (BFR-rapport R70:1981) som behandlade varmvattenberedning med takintegrerade täckta solfångare. Eksta Bostadsstiftelse uppförde 1982 tre flerfamiljshus i Vallda-Backa strax utanför Kungsbacka. Ett av husen försågs, med hjälp av experimentbyggnadslån från BFR, med takintegrerade täckta solfångare och en lagrings-tank för förvärmning av varmvatten.

BFR har också anslagit medel för mätning och utvärdering av detta experimentbyggnadsprojekt under två år. Denna rapport behandlar bygg- och driftperioden. Dessutom presenteras resultat från mätningarna samt beskrivs utvecklingen av liknande solvärmesystem för tappvatten fram till idag 1985.



Figur: Flerfamiljshus i Vallda-Backa

1.2 Sammanfattning

I denna rapport beskrivs inledningsvis det i Vallda-Backa uppförda solvärmesystemet för beredning av tappvarmvatten. Systemet består huvudsakligen av 78 m² aktiv solfångaryta och en 4 m³ stor lagringstank. Solvärmesystemet klarar sommartid i stort sett av hela energi-behovet för varmvatten medan övrig tid av året eftervärms vattnet med olja eller el. Täckningsgraden med solenergi beräknas utgående från mätningar att bli drygt 50% under ett normalår.

Byggperioden när solvärmesystemet byggdes, 1982, beskrivs med bilder i rapporten. Likaså görs en sammanfattning av de drifterfarenheter som vunnits under två års drift.

Vidare presenteras resultatet av mätningar. Förbrukningen av varmvatten är endast 40% av vad som beräknades vid projekteringen. Solenergiutbytet är under ett normalår ca 210 kWh/m² aktiv solfångaryta, vilket är lägre än vad som beräknades vid projekteringen. Detta beror till allra största delen på den låga förbrukningen.

Investeringskostnaden i Vallda-Backa var 146.000 kr eller 8,9 kr/årlig uppmätt besparad kWh. Detta motsvarar inkl. underhåll ca 70 öre/kWh producerad solenergi. Om förbrukningen hade varit den beräknade hade kostnaden varit 43 öre/kWh producerad solenergi. Kostnaderna ovan är uttryckta i 1981 års penningvärde.

Solvärmesystemet konstruerades helt separat från det övriga värmesystemet p g a tids- och organisationsskäl. Om solvärmesystemet hade kunnat integreras i det övriga värmesystemet hade en samordningsvinst på ca 40 tkr kunnat göras.

Endast ett driftavbrott har uppkommit under drygt två års drift. Detta p g a ett elmatningsfel till cirkulationspumpen. Smuts och damm regnar, i stort sett, helt bort från täckglaset. Likaså rasar snön av från solfångarna tidigare på året än resten av taket. Anläggningen kräver endast ett minimum av tillsyn.

Projektet i Vallda-Backa jämförs med ett nytt solvärme-projekt, som skall byggas under första halvan av 1985, med takintegrerade solfångare med selektiv absorberator (TeknoTerm IT) och en trycklös lagringstank. Kostnaden för producerad solenergi i detta fall blir ca 15 öre/kWh (1984 års penningvärde).

2. BESKRIVNING AV SOLVÄRMESYSTEMET

Eksta Bostadsstiftelse uppförde våren 1982 ett servicecentrum med 20 lägenheter och en lekskola, uppdelade på tre huskroppar, i Vallda-Backa strax utanför Kungsbacka. För uppvärmning används ett konventionellt radiatorsystem med en oljepanna kompletterad med elkassett. Förvärmning av varmvattnet åstadkommes genom ett solvärmsystem.

Solvärmeanläggningens huvuddelar är 78 m² takintegrerad aktiv solfångaryta, 4 m³ lagringstank (vatten), värmeväxlarbatteri, cirkulationspump, styr- och regler-system samt rörsystem.

Arbetsprincipen för anläggningen är att förvärma kallvatten som skall värmas till varmvatten.

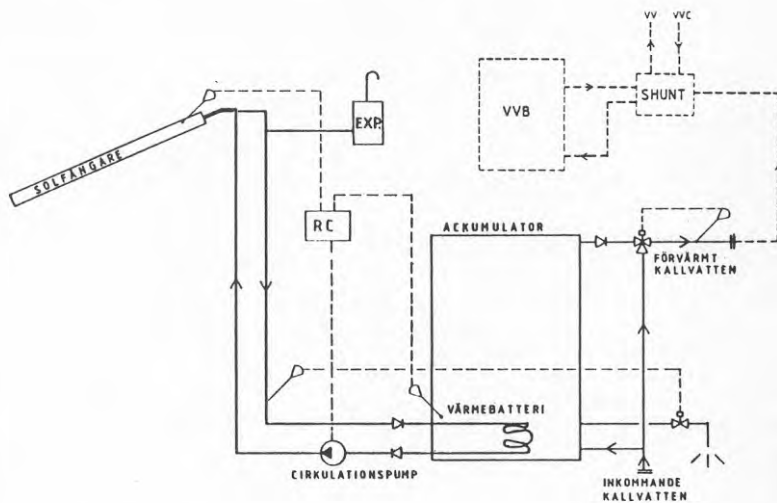


Fig. 2.1 Principschema för solvärmeanläggning
Förvärmning av kallvatten

Kallvatten leds in i nedre delen av lagringstanken, värms upp av värmeväxlarbatteriet och stiger allt eftersom vatten från toppen tas ur. Från toppen av lagringstanken leds det förvärmade vattnet till en shuntgrupp där det blandas med vatten från en varmvattenberedare till önskad temperatur 45 grad. C.

Varmvattencirkulationen är ansluten till shunten och värms alltså av varmvattenberedaren. Ett alternativ hade varit att ansluta varmvattencirkulationen till lagringstanken och på så sätt använda solenergi även till detta ändamål.

Vid projekteringen bedömdes dock energiåtgången för varmvattencirkulationen vara liten varför de extra kostnader, som denna inkoppling skulle innebära, ansågs för stora för att motivera åtgärden.

För att förhindra för varm temperatur (>45 grad. C) på det förvärmade vattnet under sommaren finns en blandningsventil, på utgående ledning från lagringstanken, som blandar in kallvatten.

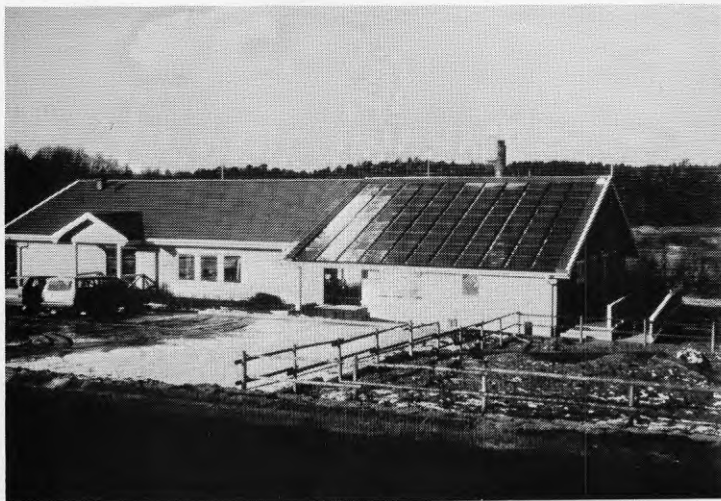
I solfångarkretsen cirkulerar en glykol-vattenblandning. Denna blandning värms upp av solfångarna och levererar energi till lagringstanken genom ett värmeväxlarbatteri placerat i nedre delen av tanken. Den låga placeringen innebär att batteriet kyls med kallvatten, vilket medför att solfångarna ständigt arbetar med lägsta möjliga temperatur. Backventilerna förhindrar ofrivillig utkylning av tanken genom självkirkulation.

En reglercentral, som känner temperaturen dels på solfångaren och dels vid botten av tanken, startar cirkulationspumpen då solfångarens temperatur överstiger temperaturen vid botten av tanken med ett visst förinställt värde. Vid en annan lägre differens stannar pumpen.

Om risk för kokning föreligger öppnas en magnetventil så att varmt vatten i tanken ersätts av kallt och därmed får solfångarna en lägre arbetstemperatur.

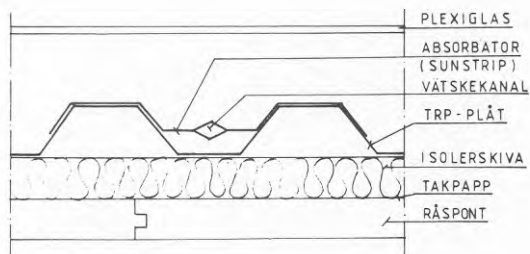
2.1 Solfångare

Den takintegrerade solfångaren i Vallda-Backa är byggd på en takyta som är riktad mot söder och har lutningen 24 grader. I detta projekt, där en svartmålad men ej selektiv absorbatör används, är absorbatorytan 78 m². Om man räknar med gummilister och täckplåt blir totala solfångarytan ca 90 m².



Figur 2.2 Takintegrerad solfångare i Vallda-Backa

Taket är byggt på normalt sätt med takstolar och råspont med papp. Ovanpå pappen är en isolerskiva placerad som isolering av solfångarens baksida. På isoleringen är en TRP-plåt monterad. På TRP-plåten är fäst aluminiumflänsar med invalsat kopparrör (SUNSTRIP) som absorbatör.

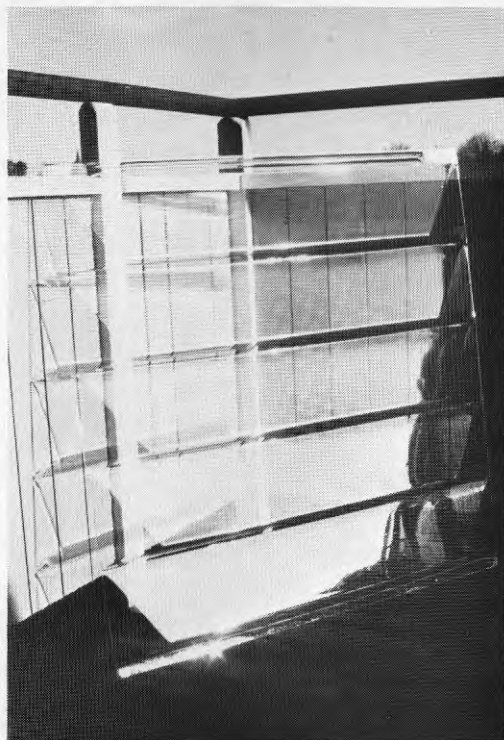


Figur 2.3 Princip solfångare

På TRP-plåten är också fästprofiler för spröjs placerade med ca 1 m mellanrum. Spröjsen, som löper utmed hela solfångarens längd, utgör anliggningsyta för täckskivan av plexiglas. Plexiglasen hålls på plats av gummilister och av brickor.

Plexiglasen är korrugerat vilket innebär att täckskivan är betydligt starkare än en plan platta och därför kan materialtjockleken begränsas till 3 mm. Värmeutvidgningsproblem elimineras genom att glasen är korrugerade och läggs med ett överlapp.

En annan viktig fördel med plexiglasskivorna är att de väger mindre än hälften per volymsenhet än vad maskinglas gör. Detta är viktigt inte bara vid transporten till platsen och förflyttningen upp på taket utan framförallt vid monteringen.



Figur 2.4 Korrugerad plexiglasskiva används som täckning av solfångare i Vallda-Backa

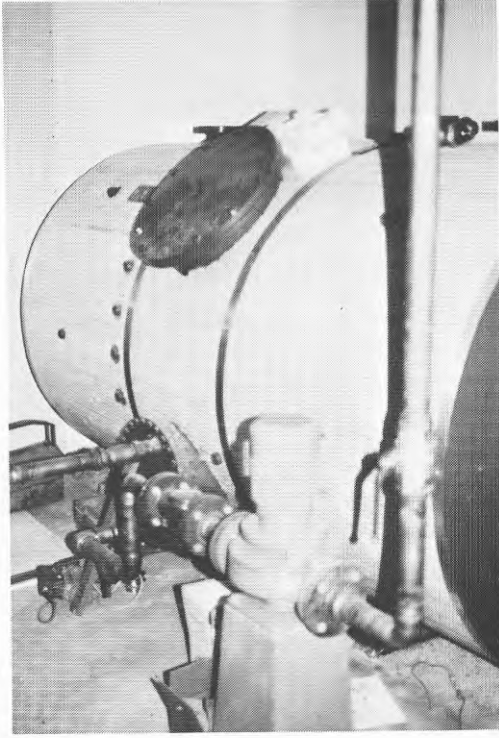
2.2 Värmelager

Värmelagret utgörs av en kopparfordrad ståltank inkopplad på förbrukarsidan och därmed trycksatt. Tanken som är liggande och cylinderformad har de ungefärliga måtten 2,8 m resp. diametern 1,4 m och rymmer 4 m³ vatten.

Isoleringen utgörs av 50 mm mineralull medan ytbeklädnaden består av brädor på manteln och plåt på gavlarna. Tanken vilar på två stålstöd.

Konstruktionen som är utförd enligt standard innehåller ett lågt placerat värmeväxlarbatteri för leverans av solenergi och ett vertikalt inre rör med diffusor för tillförsel av kallvatten till botten. Nettovikt inkl. isoleringen är 1550 kg.

Ett antal dyrkrör har monterats på olika nivåer i tanken för mätning av temperaturer.



Figur 2.5 Lagringstanken

3. BESKRIVNING AV BYGGPERIODEN

De aktuella husen uppfördes under våren 1982. Solfångarna monterades till största delen i maj månad. Husen var färdiga för inflyttning i oktober och i december monterades de korrugerade plexiglasplattorna på solfångarna.

Som det har beskrivits i föregående kapitel byggdes taket, där solfångaren sedermera skulle monteras, på konventionellt sätt med råspont och papp. Ovanpå papper monterades därefter en isolerskiva (40 mm) mellan plyfarsor som utgör fästpunkter för absorbatoren och fästprofiler.



Figur 3.1 Montering av isoleringsskivor och plywoodremсор på takpappen.

Absorbatoren består av korrugerad aluminiumtakplåt med påfästade aluminiumflänsar med invalsat kopparrör (SUNSTRIP). Ytan på absorbatoren är inte selektivt behandlad utan endast svartmålad med väderbeständig färg.

Absorbatoren består av elva enheter med de ungefärliga måtten 7 x 1 m. På varje absorbator löper tre kylslingor som är kopplad parallellt till samlingsrören vilka har placerats ovan solfångaren vid taknocken. För att utnyttja maximal yta av taket till aktiv solfångaryta har samlingsrören och kopplingsledningarna till absorbatoren trängts ihop så mycket som möjligt.



Figur 3.2 Montering av solfångare



Figur 3.3 Övre delen av absorbatoren med samlingsrör

Vid takfoten vänder flödet i de tre kylslingorna och strömmar upp till samlingsrören via ett närliggande SUNSTRIP.



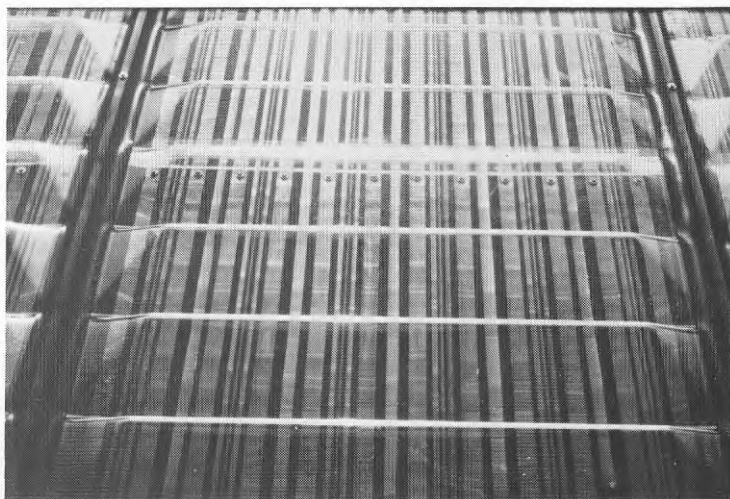
Figur 3.4 Nedre delen av absorbatoren.

Figuren nedan visar solfångarytan då absorbatoren är monterad och ansluten till rörsystemet.



Figur 3.5 Färdigmonterad absorbator

Där TRP-plåtarna överlappar varandra är ingen SUNSTRIP monterad. Denna yta används till att sätta fast fästprofilerna på. Fästprofilerna utgör fäste för aluminiumprofiler (spröjs) som utgör anliggningsyta för täckskivorna. Täckskevorna som består av korrugerade plexiglasskivor hålls på plats på spröjsen av gummilister och brickor.



Figur 3.6 Monterad plexiglasskiva

Runtomkring solfångaren monteras plåt som avtäckning mot övriga delen av taket. Samlingsrören vid nock isoleras genom att isolering placeras under plåten som täcker dessa rör.

Trots att montering av solfångare är ovanligt i dagens byggbransch gick arbetet i Vallda-Backa väldigt bra efter en inledande genomgång. Efter förberedelsearbete monterade två man solfångaren i Vallda-Backa på ungefär 2 dagar. Till denna tid kommer rörarbete och montering av täckplåt.



Figur 3.7 Färdigmonterad solfångare sedd från takfoten



Figur 3.8 Täckplåt vid takfoten

Tanken levererades färdigisolerad till byggsplatsen där batteriet monterades på plats.



Figur 3.9 Lagringstanken

4. DRIFTERFARENHETER

Anläggningen togs i drift vid årsskiftet 82-83. Ett enda driftavbrott har uppkommit nämligen i oktober 1983 när solfångarpumpen under 2/3 av månaden stod stilla. Anledningen till stilleståndet har inte kunnat klargöras till fullo men förmodligen berodde det på fel i elmatningen till pumpen.

Plexiglasskivorna hölls från början fast av enbart gummilister. Efter några månader upptäcktes att skivorna hade börjat glida ner mot takfoten. Detta problem eliminerades genom att man satte brickor över gummilisten där plexiglasskivorna överlappar varandra.

Den konventionella biten av värmesystemet är placerat i samma hus som solvärmesystemet och solfångarna. Skorstenen sticker upp genom taket på norrsidan strax bakom solfångarna. Röken från skorstenen har belagt en del av solfångarytan med ett tunt brunt skikt som inte spolats bort med regnet. Övrig smuts som damm och jord regnar bort från plexiglaset. En viss konstant mängd av smuts ligger dock alltid kvar på täckskivorna. Försämringen i ljusgenomsläpplighet är liten.

I solfångarkonstruktionen ingår små luftpassage-möjligheter som har visat sig vara mycket effektiva mot kondensbildning.

Snö på solfångarna rasar av redan i februari vid vackert väder. Detta beror på att plexiglaset blir glatt då det kommer i kontakt med vatten. Snö på övriga delar av taket, med vanliga tegelpannor, ligger kvar längre än på solfångarna.

5. RESULTAT AV MÄTNINGAR

Mätcentralen vid Chalmers Tekniska Högskola har ansvarat för mätningarna på detta projekt. Mätprogrammet omfattar mätning av flöden, temperaturer, vindmätare, solinstrålning samt cirkulationspumpens elförbrukning.



Figur 5.1 Mät datorn

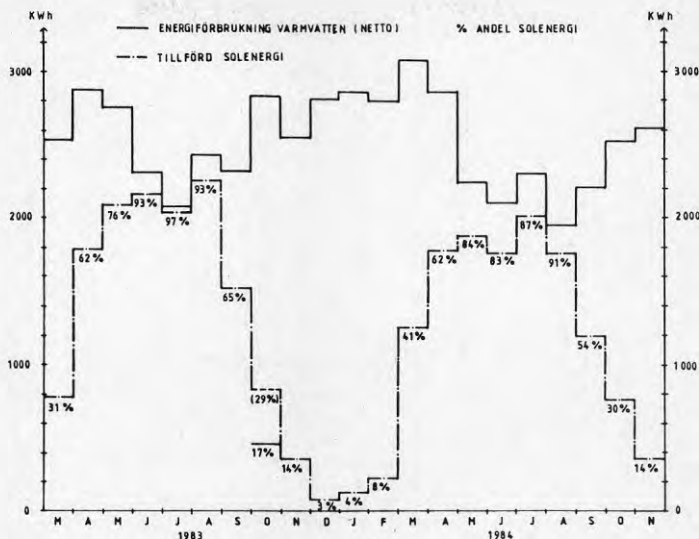
Varannan minut registreras totalt 26 mätvärden, därefter beräknas energin. Varje timma bildas ett timmedelvärde av dessa 30 avläsningar. Timmedelvärdet lagras på diskett för att i efterhand lagras på stordatorn på Mätcentralen på Chalmers. För utvärdering är sålunda data åtkomliga som timvärden.

Nettoenergiförbrukningen för varmvatten exklusive förluster från varmvattencirkulation och varmvattenberedare är ca 31 MWh årligen eller i medeltal 2,5 MWh per månad fördelat enl. figur 5.2 på årets månader.

Vidare framgår av figur 5.2 att solenergitäckningsgraden på sommaren är ca 90% och på hösten och våren 30-60%. Årstäckningsgraden i detta projekt under mätperioden är enligt figur 5.2 knappt 50%.

Figur 5.2 visar dessutom att även under perioden december-februari ger solenergin ett litet tillskott.

Huvudresultaten av dessa mätningar framgår av figur 5.2 nedan.



Figur 5.2 Huvudresultat av mätningar.

5.1 Energikonsumtion

I figurerna i detta kapitel som visar energiförbrukning ingår inte cirkulationsförluster och förluster från varmvattenberedare. Förbrukaren av varmvatten i detta projekt består av 20 lägenheter, en lekskola och en expedition.

I figur 5.2 framgår hur förbrukningen varierar månadsvis. På sommaren är förbrukningen 90% av månadsmedelförbrukningen medan vinterförbrukningen på motsvarande sätt är 110%. Att hitta något annat mönster i förbrukningen är svårt. T ex är lägsta förbrukningen i juli första sommaren medan augusti har lägsta förbrukningen andra sommaren.

Dessutom skiljer sig förbrukningen en viss månad år från år. T ex är förbrukningen i maj första året ca 2750 kWh medan andra året har förbrukningen i maj sjunkit med 18% till ca 2250 kWh.

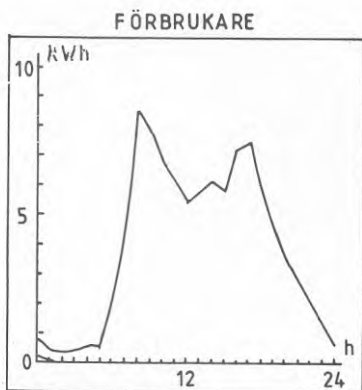
Årsenergiförbrukningen för varmvatten är 31 MWh (netto). Antas lekskolan och expeditionen motsvara tre lägenheter blir årsenergiförbrukningen ca 1350 kWh per lägenhet.

I 16 av lägenheterna bor totalt 17 pensionärer. Dessutom bor 4 vuxna i tre andra lägenheter. I den 20:e lägenheten bor en barnfamilj med två vuxna och ett barn. Expeditionen bemannas dagligen av 2 personer.

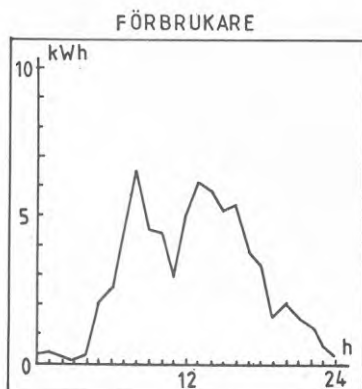
17 barn och två vuxna använder dagligen lekskolan.

Antas medelantalet personer vara 33 blir årsenergiförbrukningen för varmvatten ca 940 kWh (netto) per person. Detta motsvarar, vid uppvärmning från 10 grad. C till 45 grad. C, 23,1 m³ varmvatten per person och år eller 63 liter per person och dygn i medeltal.

Energiförbrukningens utbredning över dygnet är en parameter som har betydelse för solenergiutbytet. I figurerna nedan framgår hur förbrukningen är fördelat över dygnet i Vallda-Backa.



Figur 5.3 Medelförbrukning februari 1984



Figur 5.4 Medelförbrukning juni 1984

Av figurerna 5.3 och 5.4, som visar medelförbrukningen under ett dygn i februari 1984 resp. juni 1984 framgår att förbrukningen nattetid är låg. På morgonen blir det en kraftig höjning som har sitt maximum ca kl 8. Därefter sjunker förbrukningen för att vid 12-tiden öka igen och nå ett nytt maximum på eftermiddagen. Därefter sjunker förbrukningen nästan linjärt till den låga förbrukningen under natten.

Vidare framgår av figurerna att förbrukningen i juni, som representerar sommarförhållandena, är ca 25% lägre än förbrukningen i februari som representerar vinterförhållandena.

Manuella mätningar av temperaturen kring shunten ger vid handen att energiförbrukningen för att hålla varmvattenledningarna varma (cirkulation) är i storleksordningen 20 kWh per dygn eller 7 MWh per år.

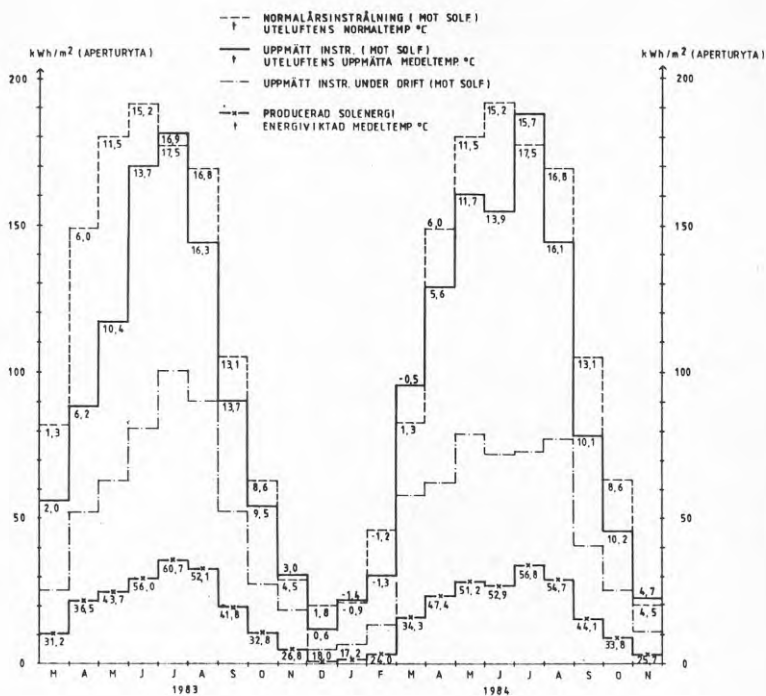
Förlusterna i varmvattencirkulationen utgör alltså i storleksordningen 20-25% av nettoenergiförbrukningen av varmvatten. Varmvattencirkulationssystemet är enl. kap. 2 inte inkopplat till solvärmesystemet.

5.2 Solenergiproduktion

5.2.1 Solfångare

Utgående ifrån mångårig statistik från SMHI på total solinstrålning (direkt + diffus) mot horisontellt plan i Göteborg har den totala instrålningen mot solfångarna i Vallda-Backa under ett normalår beräknats till 1250 kWh/m². Under mätperioden har ett medelvärde på årlig total instrålning mot solfångarna uppmätts till 1040 kWh/m² alltså ungefär 15% lägre än ett normalår.

I figur 5.5 framgår hur instrålningen är fördelad per månad dels under ett normalår och dels vad som blivit uppmätt. Dessutom visas uppmätt solinstrålning under drift som indikerar hur mycket av instrålningen som används till produktion.

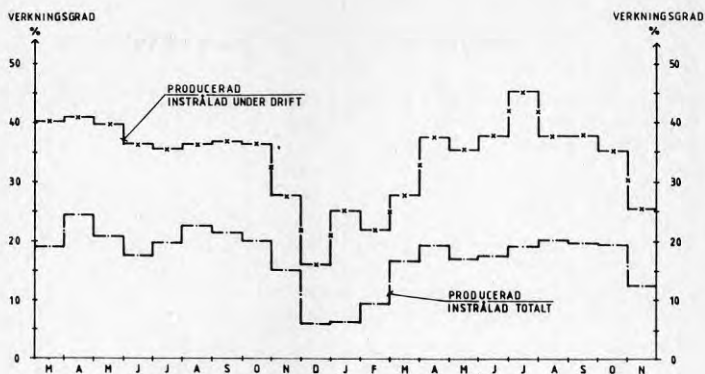


Figur 5.5 Energibalans och temperaturer kring solfångarna.

I figur 5.5 är likaså solfångarens energiviktade medeltemperatur (arbetstemperatur) varje månad markerad. Denna temperatur varierar från ca 60 grad. C på sommaren till knappt 20 grad. C på vintern. Den årliga energiviktade medeltemperaturen är 48 grad. C.

Dessutom framgår av figur 5.5 varje månads medeltemperatur på uteluften. Den årliga medeltemperaturen på uteluften under mätperioden skiljer sig lite från ett normalårs medeltemperatur.

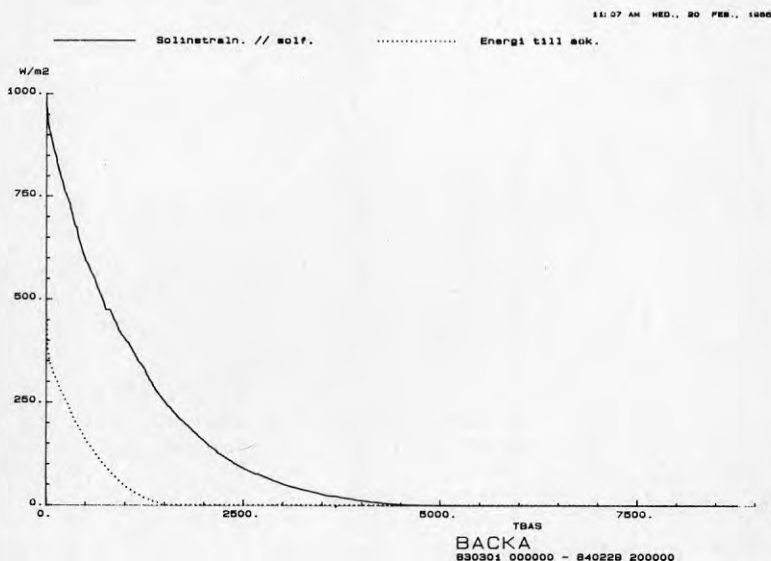
Figur 5.6 visar solfångarens månadsverkningsgrad uttryckt dels som förhållandet producerad solenergi/instrålad solenergi under drift och dels som förhållandet producerad solenergi/totalt instrålad solenergi.



Figur 5.6 Solfångarnas månadsverkningsgrad

Solfångarnas årsproduktion under mätperioden är 189 kWh/m² vid 48 grad. C energiviktad medeltemperatur. Årsverkningsgraden i förhållande till totalt instrålad energi är 18% medan årsverkningsgraden i förhållande till instrålad solenergi under drift är 36%.

Figuren nedan visar varaktigheten för solinstrålningen och producerad solenergi under ett år under mätperioden.



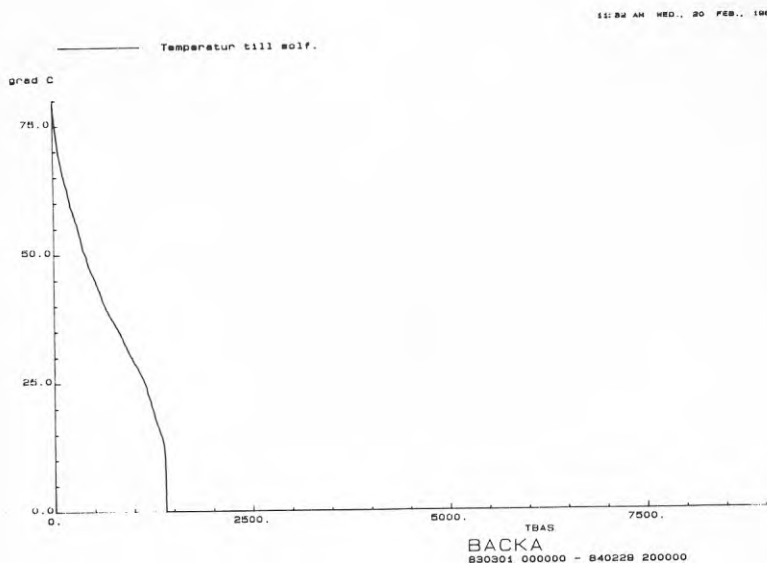
Figur 5.7 Varaktighet för solinstrålning och producerad solenergi

Maximal solinstrålning mot solfångarna under första driftåret var 997 W/m² (timmedelvärde). Anmärkningsvärt är att 87 % av totalt infallen solenergi strålar in vid effekter lägre än 500 W/m². Av de ca 4800 timmar på ett år som solen skiner samlar solfångarna in energi under ca 1500 timmar. Maximalt producerad soleffekt under första året var 493 W/m² aktiv solfångaryta. Pumpen som cirkulerar glykol-vattenblandningen i solfångarna förbrukade under första driftåret 0,5 MWh eller 3,5% av producerad solenergi.

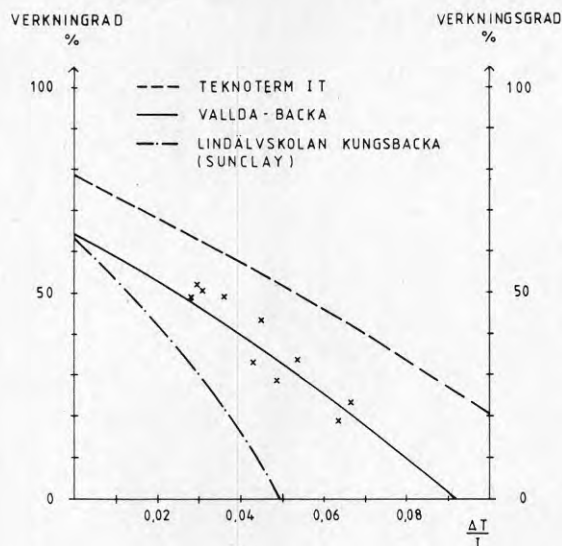
Varaktigheten för solfångarnas energiviktade medeltemperatur under ett år under mätperioden visas i figur 5.8. Den energiviktade årsmedeltemperaturen på solfångarna under drift är enligt ovan uppmätt till 48 grad. C. Under ca 400 timmar av de 1500 timmar solfångarna är i drift under ett år är medeltemperaturen i solfångarna högre än 48 grad. C.

Solfångarens momentana verkningsgradskurva har bestämts genom mätningar och visas i figur 5.9. I figuren finns markerat de vanligaste arbetspunkterna. Solfångarens förlustfaktor vid de vanligaste arbetspunkterna har beräknats till 7 W/m² grad. C.

Som jämförelse är i figuren också inlagt den uppmätta verkningsgradskurvan för de oglasade solfångarna i SUNCLAY-projektet. Dessa solfångare har samma absorbatör som i Vallda-Backa. Enda skillnaden är att i Vallda-Backa är absorbatören täckt med en plexiglasskiva.



Figur 5.8 Varaktighet för solfångarnas energiviktade medeltemperatur



Figur 5.9 Solfångarens momentana verkningsgrad

Sedan solfångarna i detta projekt byggdes 1982 har en utveckling av konstruktionen och prestanda skett. Denna nya solfångare, som heter TeknoTerm IT, har en selektivt behandlad absorbatör. En annan skillnad är att TRP-plåten i detta fall ligger under isoleringen. Statens Provningsanstalt har mätt upp verkningsgradskurvan för TeknoTerm IT.

Figur 5.9 visar förbättringen i verkningsgrad jämfört med solfångarna i Vallda-Backa.

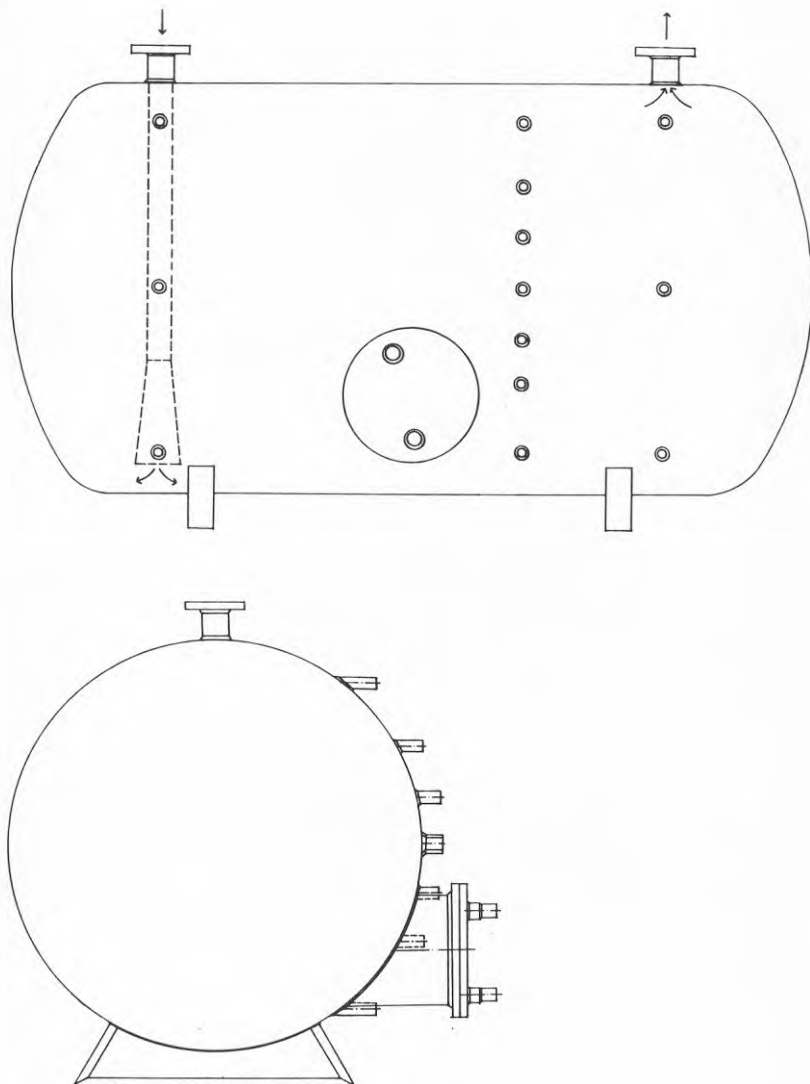
5.2.2 Värmelager

Figuren nedan visar tanken med placeringen av värmebatteriet och mätpunkterna. Dessutom framgår hur kallvattnet förs ned till botten av tanken med ett invändigt rör försett med en diffusor.

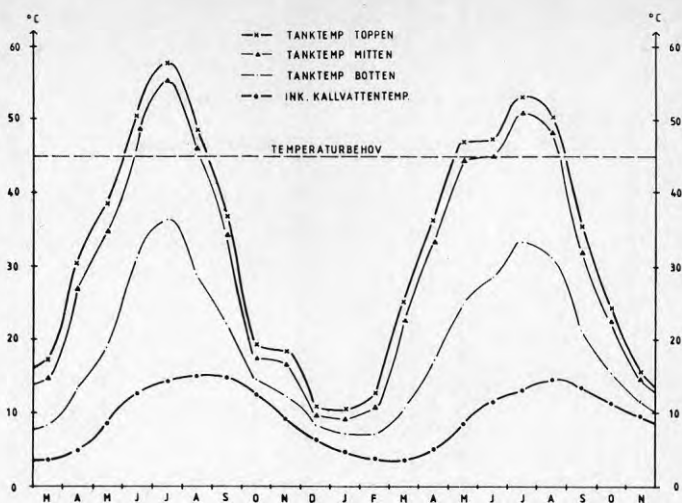
Mätningarna visar att skiktningen i tanken är väl utvecklad. Temperaturskillnaden horisontellt i tanken är mycket liten. Endast temperaturgivaren längst ner till vänster avviker vissa månader något (max 0,5 grad. C) från temperaturerna på samma nivå mitten och till höger i tanken. Anledningen är att i nedre vänstra hörnet släpps kallvattnet in.

Månadsmedeltemperaturer på inkommande kallvatten och på olika nivåer i tanken framgår av figur 5.11. Kallvattnets temperatur varierar från ca 5 grad. C i mars till ca 15 grad. C i augusti. Vidare framgår av figur 5.11 att under juni, juli och augusti överstiger temperaturen i toppen av tanken temperaturbehovet 45 grad. C.

Temperaturen i mitten av tanken följer väldigt väl temperaturen i toppen av tanken. Skillnaden mellan dessa temperaturer är maximalt 4 grad. C. Däremot är tankens botten temperatur betydligt lägre, vilket framgår av figur 5.11.

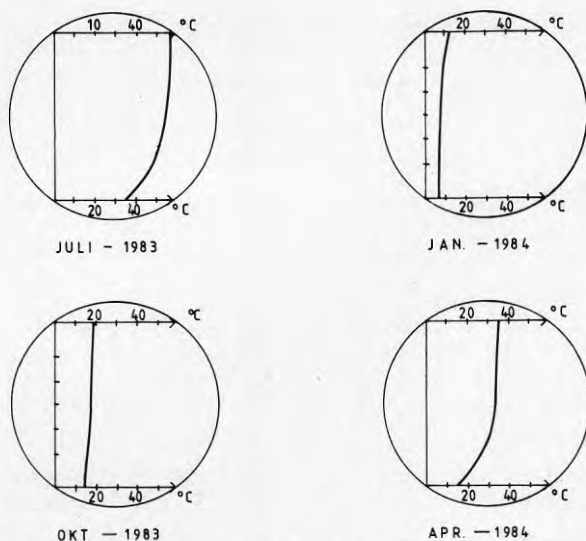


Figur 5.10 Värmelagringstanken



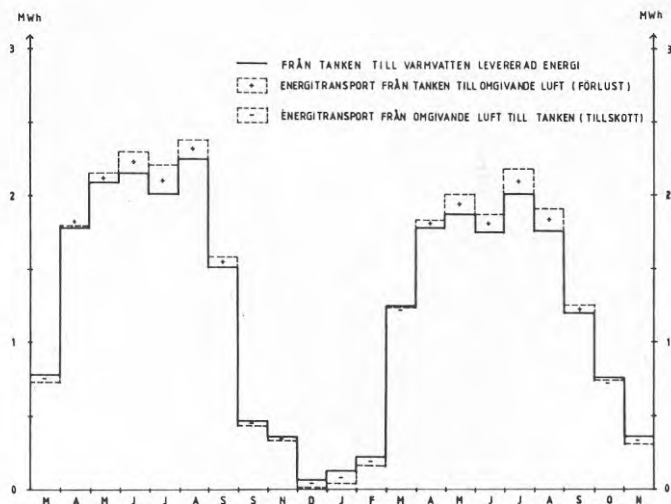
Figur 5.11 Temperaturer i tanken och kallvattentemperatur

Temperaturen strax ovanför bottenskiktet ligger dock ungefär mitt emellan botten- och mitttemperaturerna, vilket innebär att en markant temperaturgradient finns nära tankens botten. Detta gäller då tankens temperatur överstiger rumtemperaturen vilket framgår av figur 5.12.



Figur 5.12 Temperaturprofil i tanken.

Från tanken levererad energi och energiutbyte mellan tank och omgivande luft framgår av figur 5.13. Under vintermånaderna utgörs en stor del av levererad energi av energi som har tillförts det då kalla vattnet i tanken från omgivande luft. På sommaren däremot uppkommer förluster från tanken p g a att tanken då är varmare än sin omgivning.



Figur 5.13 Levererad energi från tank och energiutbyte mellan tank och omgivande luft.

Summan av förlusterna under tiden april till september första sommaren är 640 kWh och andra sommaren 705 kWh. Summan av tillskotten från omgivande luft de första 12 månaderna är 370 kWh och under de sista 12 månaderna 307 kWh. Nettoförlusterna blir således 270 kWh och 307 kWh för resp. 12-månadersperiod.

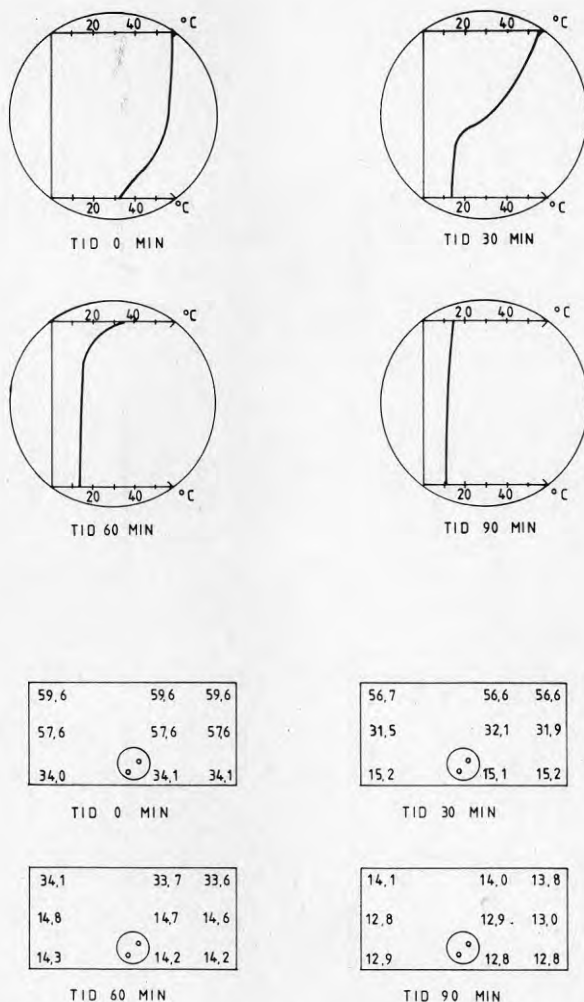
Till tanken tillförd solenergi var 14 680 kWh och 14 770 kWh för resp. 12-månadersperiod. Bruttoförlusterna utgör således 4-5% av tillförd solenergi medan nettoförlusterna utgör ca 2% av tillförd solenergi.

I augusti 1984 gjordes en testtömning av tanken för att studera vad som händer med skiktningen vid en kraftig urladdning. Ett konstant flöde av ca 70 l/min tappades ur varmvattenssystemet och därmed ur tanken under en och en halv timme.

Utgångsläget var att i stort sett hela tanken hade temperaturen 58 grad. C. Detta framgår av figur 5.14.

Vid tappning bildas ett skikt med kallvatten i botten av tanken. Efter hand växer detta skikt uppåt medan gränsen mellan det övre varma och det undre kalla vattnet är väl markerad under hela tappningen. Se figur 5.14.

Övre delen av figur 5.14 visar temperaturprofilen vid sidan om värmebatteriet i tanken. Den undre delen av figur 5.14 visar temperaturfördelningen horisontellt i tanken. Kallt vatten levereras till tankens nedre vänstra hörn och uttag från tanken sker i det övre högra hörnet.



Figur 5.14 Förändring och temperaturer i tanken vid kraftig varmvattentappning

Vid tidpunkten 0 är skillnaden i horisontell temperatur försumbar. Efter 30 min märks att temperaturen på mittnivån till vänster sjunkit något liksom temperaturen till höger på samma nivå. Dock är den horisontella temperaturdifferensen under tappningen mycket liten eller maximalt 0,6 grad. C.

Efter denna tömning stängdes tanken av för inkommande kallvatten så att varmvatten som förbrukades inte gick genom tanken. Genom detta förfarande kunde man sedan mäta hur uppvärmningen av tanken skedde med solenergi från batteriet i tankens botten, utan störningar från varmvattentappningar.

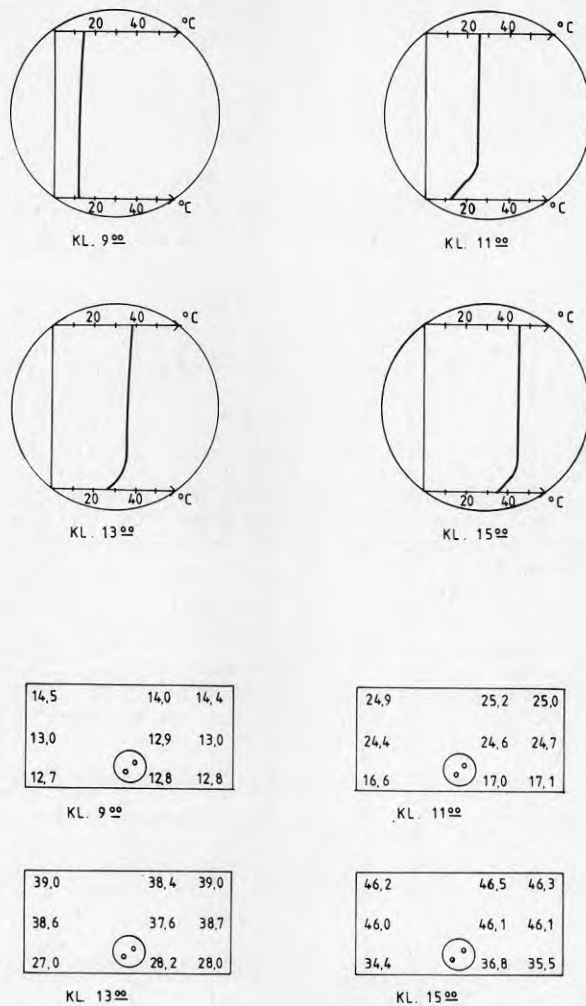
Utgångsläget för uppvärmning var att hela tanken hade en temperatur på ca 13 grad. C. Solfångarna levererade under de två första timmarna en effekt på 25 kW, nästkommande två timmar var effekten från solfångarna 30 kW medan effekten under de två sista timmarna var 20 kW.

Som framgår av figur 5.15 ökar temperaturen tämligen homogent i tanken förutom längst ner. Temperaturgradienten från toppen och neråt i tanken är i det närmaste obefintlig ner till batteriet.

Förmodligen sker följande. På grund av egenkonvektion vid batteriet stiger en varm ström rakt upp från batteriet. Vid denna strömning uppåt, som orsakas av densitetskillnad, kyls det uppåt-strömmande flödet av stillastående vatten vid sidan om. Sålunda minskar mängden uppåtstigande vatten ju högre upp i tanken man kommer. Efterhand avlänkas vatten som stannar på "rätt" nivå vilket motsvarar dess temperatur. Om vattnet i mitten av den uppåtgående strömmen är varmare än temperaturen i tankens topp når denna uppåtriktade ström upp till toppen av tanken.

I figur 5.15 framgår hur batteriet endast påverkar temperaturen ovan sig själv när solenergi levereras till tanken. Därför är det viktigt att batteriet placeras lågt i tanken för att ha en stor volym för solfångarna att arbeta mot.

Om man jämför figurerna 5.5 och 5.11 ser man att solfångarnas månatliga energiviktade medeltemperatur ständigt ligger några grader ovan temperaturen i toppen av tanken. Detta tyder på att tillförsel av solenergi till tanken vid temperaturer lägre än temperaturen i toppen av tanken är mindre frekvent. Således spelar det faktum att det bildas skikt i tanken mindre roll för storleken av solenergitillskottet. Dock ökar skiktbildningens betydelse vid bättre solfångare som har god verkningsgrad även vid lägre instrålningsintensitet.



Figur 5.15 Förändring av temperaturen i tanken vid uppvärmning utan förbrukning.

Genom att studera temperaturen i tanken och temperaturen på levererad solenergi kan man bestämma värmebatteriets effektivitet. Temperaturen på den varma sidan av batteriet d v s i solfångarkretsen mäts varannan minut och är entydigt bestämda. På den kalla sidan av batteriet d v s i tanken är det något besvärligare att bestämma temperaturen.

Den vertikala temperaturfördelningen i tanken mäts vid sidan om värmebatteriet, vilket gör temperaturbestämningen något vanskelig. Temperaturen vid batteriets nedre kant är tämligen enkel att bestämma då inkommande kallvatten leds till botten av tanken. Temperaturen vid batteriets övre kant är däremot besvärligare att bestämma p g a den ovan beskrivna uppåtgående strömmen och att temperaturgivaren inte sitter rakt ovanför batteriet.

Efter bedömningen av temperaturen vid batteriets övre kant kommer man fram till att batteriets k-värde ($W/m^2 C$) varierar med temperaturen på solfångarsidan.

Vid en medeltemperatur på 36 grad. C på solfångarsidan fås att k-värdet är 120 $W/m^2 C$ och vid en temperatur på 56 grad. C är k-värdet 200 $W/m^2 C$. Anledningen till denna skillnad är att vid 36 grad. C är det inte fullt utbildad turbulens på insidan vilket beror på att mediet består till 50% av propylenglykol. Vid 56 grad. C kan man anse att fullt utbildad turbulens råder och k-värdet stiger då till 200 W/m^2 grad. C. Faktorn $k \times A$ för batteriet vid detta tillfälle är 2.4 kW/grad. C.

Vid turbulent strömning är värmemotståndet i värmeövergången på insidan av växlaren försumbar, vilket också är fallet med motståndet i rörgodset. Värmeövergångstalet på utsidan av röret är således i storleksordningen 150-200 W/m^2 grad. C.

Säkerhetsanordningen som skall dumpa varmt vatten från toppen av tanken, och på så sätt tillföra kallt vatten till botten av tanken, har inte behövt träda i funktion. Någon risk för övertemperatur i solfångarna föreligger alltså inte.

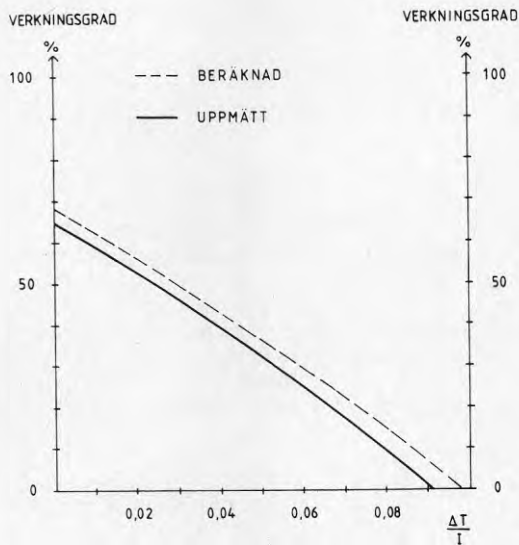
5.3 Jämförelse med beräknade resultat

De fyra viktigaste parametrarna för solenergiutbytet, solinstrålning, varmvattenförbrukning, solfångarens verkningsgrad och värmeväxlarbatteriets effektivitet, har samtliga avvikit från de dimensionerande värdena.

Under ett normalår strålar det in 1250 kWh mot solfångarna enligt beräkningarna som är presenterade i förstudien (BFR-rapport R70:1981). Under mätperiodens första år var motsvarande årlig solinstrålning 997 kWh/m².

Vid dimensioneringen beräknades, efter den tidens praxis, att energiförbrukningen för varmvattenberedningen skulle bli 81 MWh årligen. Uppmätt förbrukning i detta projekt är 31 MWh årligen. Människorna som bebor lägenheterna är huvudsakligen pensionärer.

När detta projekt byggdes hade inga mätningar gjorts på solfångarna eftersom det var en ny konstruktion. Vid dimensioneringen av systemet användes således en beräknad verkningsgradskurva som har visat sig vara något optimistisk jämfört med den uppmätta verkliga verkningsgradskurvan. Se figur 5.16.



Figur 5.16 Ursprunglig beräknad verkningsgradskurva och uppmätt verklig verkningsgradskurva för solfångarna.

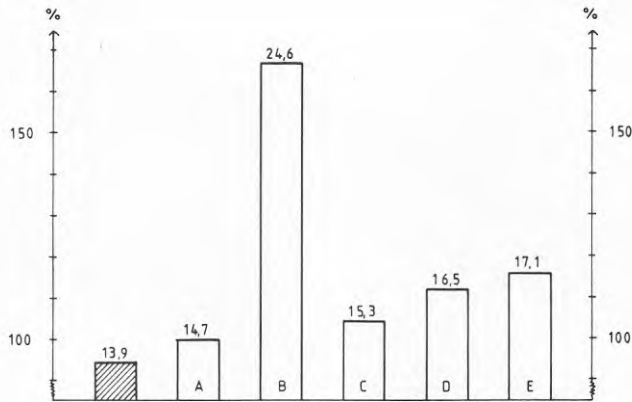
Värmeväxlarbatteriet har inte kapaciteten 7 kW/grad. C som användes vid dimensioneringen. Anledningen är dels att vid temperaturer under 50-55 grad. C på solfångarkretsen råder inte fullt utbildad turbulens dels är medeltemperaturdifferensen för batteriet betydligt lägre än vad som krävs för att få 7 kW/grad. C. Uppmätt kapacitet varierar från 1.4 kW/grad. C till 2,4 kW/grad. C beroende på temperaturen på solfångarsidan.

Vid dimensioneringen användes ett datorprogram, SUNSYST, vars beräkningsmodell finns beskriven i BFR-rapporten R70:1981.

För att kontrollera programmet har anläggningens första driftår simulerats med uppmätta värden på solinstrålning, varmvattenförbrukning, solfångarens verkningsgradskurva och värmeväxlarbatteriets kapacitet.

Uppmätta värden för det första driftåret visar att solenergitillskottet var 13.900 kWh. SUNSYST beräknar solenergitillskottet till 14.700 kWh vilket med stor säkerhet ligger inom felmarginalen för mätningarna. Beräknat värde ligger ca 6% över uppmätta värden.

För att klargöra de ovan nämnda parametrarnas inbördes inverkan på solenergiutbytet i detta projekt gjordes ytterligare beräkningar. Parametrarnas värden valdes vid dessa beräkningar till de dimensionerande värdena. För varje körning ändrades en parameter medan övriga indata var lika som i jämförelseberäkningen enl. ovan. Resultatet av dessa körningar framgår av figur 5.17.



Figur 5.17 Solenergitillskottets beroende av vissa parametrar

- ▨ uppmätt solenergitillskott
 - A beräknat solenergitillskott
 - B beräknat solenergitillskott vid energiförbrukningen 81 MWh
 - C beräknat solenergitillskott med värmeväxlar-kapaciteten 7 kW/grad. C
 - D beräknat solenergitillskott vid normal solinstrålning 1250 kWh/m²
 - E beräknat solenergitillskott med ny typ av takintegrerad solfångare (se kap. 5.2.1)
- Siffrorna anger kWh.

Minst inverkan har, enl. figur 5.17, ett större värmelärlabatteri (7 kW/grad. C) som endast ökar solenergitillskottet ca 4%. En ökning av solinstrålningen från 997 kWh/m² till normalårets 1250 kWh/m² (25%) ökar solenergitillskottet till varmvattenberedningen med ca 12%.

Den utan tvekan största inverkan på solenergitillskottet har förbrukningen. Vid en ökning i förbrukningen från verkliga 31 MWh till den vid projekteringen beräknade förbrukningen 81 MWh ökar solenergitillskottet med 67%.

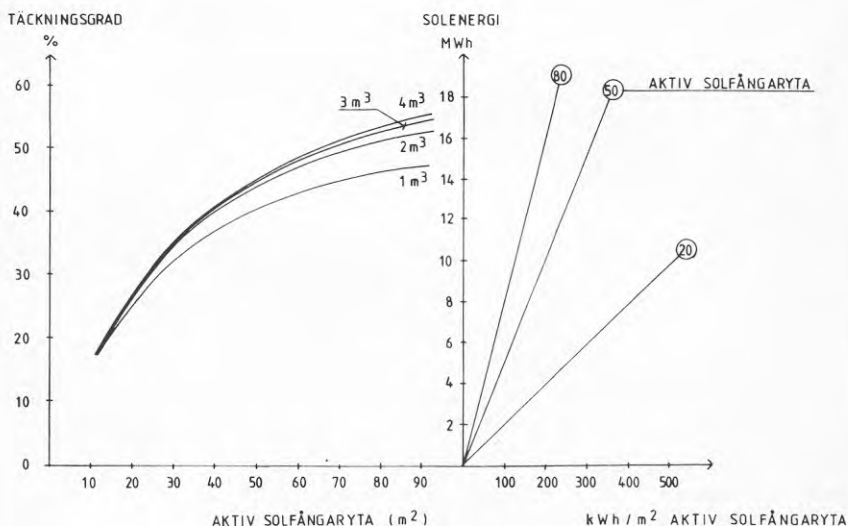
Av detta drar man slutsatsen att det är mycket viktigt att vid projekteringen inte överskatta energibehovet.

Som jämförelse beräknades också solenergitillskottet i Vallda-Backa om man hade haft den nya typen av integrerade solfångare.

Uppmätt verkningsgradskurva på denna nya solfångare (TeknoTerm IT) framgår av figur 5.9. I figur 5.17 framgår ökningen i solenergitillskottet. Detta blir ca 16% högre jämfört med den äldre i Vallda-Backa byggda solfångaren.

6. OPTIMERING

För att klargöra det befintliga systemets storlek i förhållande till den uppmätta förbrukningen har ett stort antal beräkningar gjorts. I beräkningarna varierar solfångaryta och tankstorlek så att solenergitillskottets förändring framgår. Beräkningarna gäller för normalårsinstrålning (1250 kWh/m^2), 31 MWh årlig energiförbrukning, solfångarna och värmebatteriet i Vallda-Backa. Resultatet av dessa beräkningar framgår av figur 6.1 nedan.



Figur 6.1 Inverkan av solfångaryta och tankstorlek på solenergitillskottet i Vallda-Backa

Med den verkliga förbrukningen 31 MWh är den nuvarande anläggningen med 78 m^2 aktiv solfångaryta och 4 m^3 tank något stor, vilket framgår av figur 6.1. Ökningen i solenergitillskottet börjar avta redan vid en anläggning med ca 40 m^2 aktiv solfångaryta och 2 m^3 tank. Vidare framgår av figur 6.1 att täckningsgraden, med denna äldre typ av integrerad solfångare utan selektiv yta, som högst blir ca 60%. Med den nya typen av integrerad solfångare med selektiv absorbator (TeknoTerm IT) kan en täckningsgrad ca 70% ernås. Dessa höga täckningsgrader är dock inte motiverade ur kostnadssynpunkt.

7. EKONOMI

7.1 Investeringskostnader

Projektet i Vallda-Backa, som byggdes 1982, var ett av de första projekten i vilket en i taket integrerad solfångare med täckskiva användes. Kostnaden för hela projektet var 146.000 kr i 1981 års penningvärde.

Med den ovan presenterade uppmätta förbrukningen, som är ca 40% av den ursprungliga dimensionerande förbrukningen, är investeringen 8,9 kr/årlig besparad kWh. Motsvarande siffra hade varit 5,3 kr/årlig besparad kWh om förbrukningen hade varit 81 MWh vilket beräknades vid projekteringen. Täckningsgraden i Vallda-Backa under ett normalår beräknas utgående från mätningar bli 53% (se figur 6.1). Om förbrukningen hade varit 81 MWh årligen hade täckningsgraden under ett normalår varit 34%. Räknat per m² total solfångaryta (inkl. lister och täckplåt) är investeringen 1620 kr/m² i projektet i Vallda-Backa.

7.2 Lönsamhet

Projektet i Vallda-Backa byggdes med hjälp av experimentbyggnadslån från BFR. En uppfattning om kostnaden för producerad solenergi i detta projekt fås om man använder annuitetsmetoden. En real ränta på 4% och 20 års livslängd ger en annuitet på 0,074, vilket motsvarar en årlig kapitalkostnad på 10.800. Med en kostnad för underhåll 1.000 kr/år blir energikostnaden för producerad solenergi ca 70 öre/kWh. Om förbrukningen i Vallda-Backa hade varit 81 MWh/år, som beräknades vid projekteringen, hade energikostnaden blivit 43 öre/kWh. Dessa kostnader är angivna i 1981 års penningvärde.

8. UTVECKLINGEN FRAM TILL IDAG 1985

Sedan Backa-projektet uppfördes 1982 har utvecklingen av tappvarmvattensystem gått framåt både vad gäller lagringsenheten och solfångarna.

Lagringsenheten byggs numera som en trycklös tank (oljetank) med vatten som lagringsmedium. Energi till varmvatten tas ur tanken genom värmväxlarbatterier. Solenergi tillförs via en yttre värmväxlare till tanken. På detta sätt fås en både effektivare värmväxling och en billigare anläggning.

Solfångarna, som byggs på plats, byggs numera med selektiv absorptor. Hur verkningsgraden påverkas framgår av fig. 5.9 (TeknoTerm IT). Likaså har monteringsmetoden förbättrats vilket innebär kortare byggtid.

I ref. 6 finns beskrivet ett system med en trycklös tank och den nya typen av solfångare. Detta system har dimensionerats för 100 lägenheter med årsenergiförbrukningen 286 MWh för varmvattenberedning. Man kommer fram till att 350 m² aktiv solfångaryta och 20 m³ tank är en bra dimensionering som ger knappt 50% täckningsgrad. Solenergitillskottet beräknas till 380 kWh/m² aktiv solfångaryta under ett normalår.

Investeringskostnaden för detta system är 4.4 kr/årlig besparad kWh (1984 års penningvärde) vid täckningsgraden 47%. Räknat per m² total solfångaryta blir investeringen 1440 kr/m².

I ref. 6 beräknas kostnaden för producerad energi i det aktuella projektet i befintlig bebyggelse. Härvid utgår man ifrån de villkor som styr de statliga bidragen, vilket innebär att 50% av investeringskostnaden kan erhållas som statligt bidrag. Vidare ges ett statligt räntebidrag på sex procentenheter på det resterande beloppet, vilket är tänkt att finansieras med ett konventionellt banklån.

Medelenergipriset för solenergin under de första 20 åren, med dessa förutsättningar, blir ca 15 öre/kWh räknat i första årets penningvärde. I denna beräkning har man antagit 9% årlig inflation och 3000 kr i årlig underhållskostnad.

9. SLUTSATSER

Principen för solvärmesystemet i Vallda-Backa, som byggdes 1982, har visat sig vara mycket driftsäker utan att kräva någon organiserad tillsyn.

Att bygga takintegrerade solfångare har, sedan projektet i Vallda-Backa byggdes, utvecklats så att det numera är möjligt att bygga dessa solfångare med selektiv absorbator.

Energiförbrukningen i Vallda-Backa är 31 MWh årligen för varmvattenberedning, vilket är betydligt lägre än 81 MWh som beräknades vid projekteringen. Detta innebär att solenergitillskottet sjunker drastiskt. Täckningsgraden i Vallda-Backa ett normalår beräknas utifrån mätningarna bli ca 53%, vilket motsvarar 210 kWh/m² aktiv solfångaryta. Om den nya typen av integrerad solfångare med selektiv absorbator hade använts i Vallda-Backa hade under ett normalår täckningsgraden blivit ca 60% vilket motsvarar 240 kWh/m² aktiv solfångaryta.

Kostnaden för producerad solenergi i Vallda-Backa är ca 70 öre/kWh om man räknar kapitalkostnaden som en annuitet (20 år, 4% real ränta). Om förbrukningen av varmvatten hade motsvarat 81 MWh årligen hade kostnaden för producerad solenergi blivit 43 öre/kWh. Dessa kostnader gäller i 1981 års penningvärde.

Sedan projektet i Vallda-Backa byggdes 1982 har en stor utveckling skett av solvärmesystem för beredning av tappvarmvatten i flerfamiljshus. Ovan nämndes att takintegrerade solfångare numera byggs med selektiv yta. Dessutom används en trycklös tank med värmebatterier för varmvattenuttag, vilket gör att anläggningarna blir betydligt billigare och effektivare.

I ref. 6 beskrivs ett nytt projekt där en liknande ny solvärmeanläggning byggs in i befintlig bebyggelse. Kostnaden för producerad solenergi i 1984 års penningvärde blir i detta fall 15 öre/kWh.

Sålunda kan man konstatera att den utveckling som startade med projektet i Vallda-Backa 1982 redan nu 1985 visar mycket intressanta resultat. Solen som energikälla för varmvattenberedning är konkurrenskraftig redan idag.

REFERENSER

1. Duffie I.A & Beckman W.A
Solar Energy Thermal Proceses
John Wiley & Sons, New York 1974
2. Petersson F.
Varmvattenberedning med solenergi - några
synpunkter på projektering.
VVS-SPECIAL 2: 1980
3. Hultmark G. & Olsson S.
Solfångare integrerad i tak för beredning
av tappvarmvatten
BFR-rapport R70:1981
4. Petersson F., Sandesten S.
Solvärt tappvatten
BFR-rapport R145:1984
5. Isaksson P., Lagerkvist P.O. m fl
Solvärmesystem för uppvärmning och varm-
vattenberedning med korttidslager.
BFR-rapport R146:1984
6. Bernestål B., Hultmark G. & Olsson S.
Soltappvarmvatten i flerfamiljshus
BFR-rapport R192:1984
7. TEKNOTERM Solfångare typ IT
Produktbroschyr okt. 1984
8. Olsson S.
Solenergi för varmvattenberedning och upp-
värmning i flerbostadshus.
BFR-projekt 840092-0

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811793-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Eksta
Bostadsstiftelse, Kungsbacka.

R122: 1985

ISBN 91-540-4468-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705122

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 30 kr exkl moms