



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.

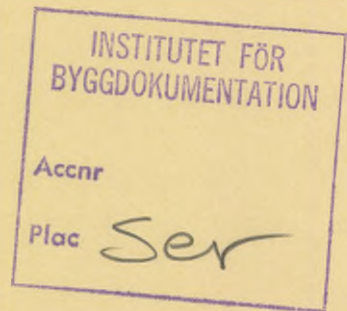


**Rapport**

**R192:1984**

**Soltappvarmvatten i  
flerfamiljshus**

**Bengt Bernestål  
Göran Hultmark  
Stefan Olsson**



R  
A11

**Byggeforskningsrådet**

R192:1984

SOLTAPPVARMVATTEN I FLERFAMILJSHUS

Bengt Bernestål  
Göran Hultmark  
Stefan Olsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
831059-9 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Göteborgs Stads Bostadsaktiebolag, Göteborg

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

R192:1984

ISBN 91-540-4291-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

## INNEHÅLL

1.	FÖRORD .....	4
2.	SAMMANFATTNING .....	5
3.	ENERGIBEHOV .....	6
4.	SYSTEMUPPBYGGNAD .....	8
4.1	Systemtyper .....	9
4.2	Anslutning till befintligt system .....	17
5.	SOLFÅNGARKONSTRUKTION .....	19
5.1	Solfångaren .....	19
5.2	Provningsresultat .....	23
6.	BERÄKNINGAR .....	26
6.1	Omgivning .....	26
6.2	Solfångare .....	28
6.3	Beräkningsresultat och dimensionering .....	29
7.	EKONOMI .....	33
7.1	Investeringskostnad .....	33
7.2	Underhållskostnad och livslängd .....	34
7.3	Lönsamhet .....	35
8.	REFERENSLISTA .....	37

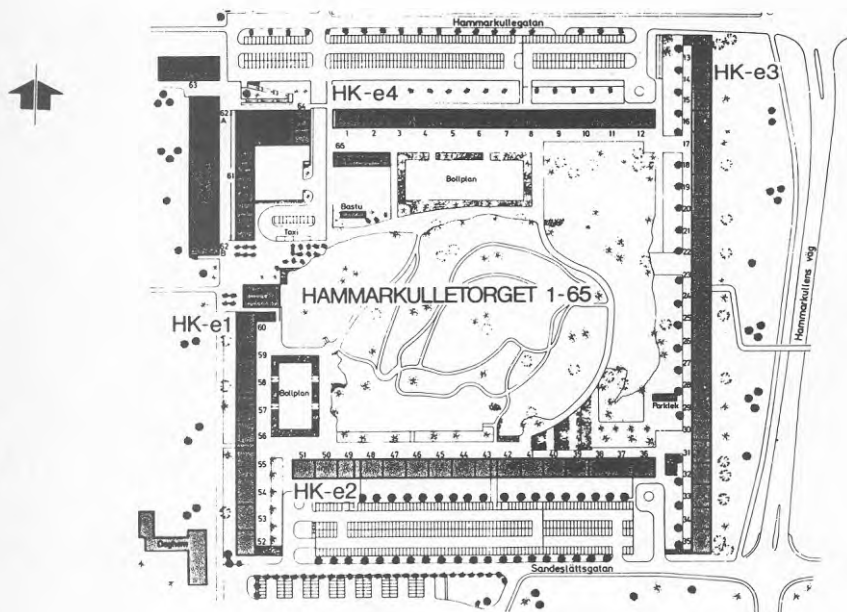
## 1. FÖRORD

I stadsdelen Hammarkullen, 10 km norr om Göteborgs centrum, uppförde Göteborgs Stads Bostadsaktiebolag under slutet av 1960-talet bl a ett bostadsområde omfattande 4 bostadshus, som innehåller totalt 870 lägenheter.

Många av de hus som byggdes under senare delen av 1960-talet utfördes med platta tak. Problem med läckage och skador på underliggande konstruktion har uppkommit.

För att åtgärda de läckande taken på bostadshusen har Bostadsbolaget för avsikt att bygga ett nytt tak utanför det platta taket.

I samband med framtagna av den nya takkonstruktionen har AB Andersson & Hultmark i samarbete med civ.ing. Bengt Sävestrand på Bostadsbolaget arbetat fram ett alternativ där solfångare integreras i takkonstruktionen.



Situationsplan Hammarkulletorget

## 2. SAMMANFATTNING

I föreliggande rapport har fyra olika systemtyper för uppvärmning av tappvarmvatten med solenergi för 100 lgh studerats och jämförts tekniskt och ekonomiskt.

För att täcka ledningsförluster i tappvarmvattenledningarna när det inte förekommer någon tappning har ett system redovisats.

De olika systemtyperna har kostnadsjämförts utgående från likvärdiga förutsättningar vad avser temperaturnivåer, tryckfall, flöden etc.

Det system som slutligen valts har dimensionerats utgående från datorberäkningar. Täckningsgraden för systemet är i dimensioneringspunkten 47 %.

Den solfångaryta som erfodras för att täcka 47% av den totala tappvarmvattenförbrukningen är 407 m<sup>2</sup>. Solfångarna är då riktade mot söder och lutar 24 grad mot horisontalplanet.

Energibesparingen som görs med detta system är beräknad till 134 MWh/år.

Kostnaden för uppförande av ett komplett system för 100 lägenheter med 407 m<sup>2</sup> solfångaryta är 1511 kr per m<sup>2</sup> solfångaryta.

Priset för den energi som produceras med solfångarna varierar beroende på finansieringsvillkoren.

Finansieras solsystemet med ett konventionellt banklån med 20 års amorteringstid, 13% ränta och en årlig inflation på 9% blir medelenergipriset under de 20 första åren 29,5 öre/kWh (exkl. moms).

Utnyttjar man de statliga ROT-bidragen och räntesubventionerna blir medelenergipriset 11,4 öre/kWh (exkl. moms) under de första 20 åren.

### 3. ENERGIBEHOV

I detta projekt studeras hur man med solenergi kan täcka delar av energibehovet för tappvarmvattnet samt förluster som uppstår i distributionsnätet.

För att erhålla energibehovet för tappvarmvattenförbrukningen har temperaturer och flöden för bostadshusen mätts upp, beräknats och jämförts med andra liknande förbrukare.

De hus som studeras byggdes i slutet på 1960-talet och innehåller totalt 870 lägenheter fördelade på 93 st 4-rumslägenheter, 314 st 3-rumslägenheter, 387 st 2-rumslägenheter samt 76 st 1-rumslägenheter. Lägenheterna bebos i medeltal av 2,2 personer/lägenhet.

Kallvattenförbrukningen mäts kontinuerligt på inkommande ledning av Bostadsbolaget vilka även för statistik från andra liknande bostadsområden. De utförda mätningarna visar på en total kallvattenförbrukning på 73 m<sup>3</sup>/person och år.

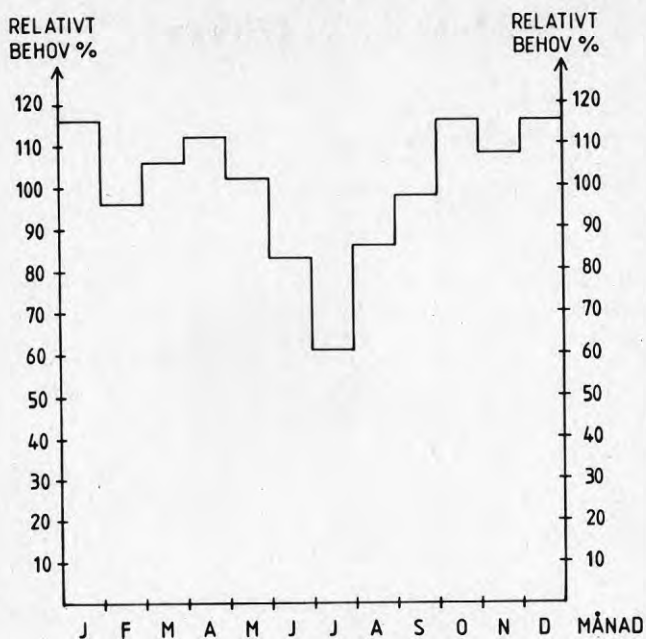
Varmvattenförbrukningen har uppmätts på liknande sätt som för kallvattnet. Resultaten från dessa mätningar visar att cirka 30 % av kallvattenflödet går till tappvarmvatten. Den totala nettoenergiförbrukningen för tappvarmvatten blir 1100 kwh/person, år vid 45 grad. C temperatur på varmvattnet.

Förbrukningen varierar under såväl dygnet som året. För att kunna beräkna energiutbytet från solsystemet har en uppdelning av den totala energiförbrukningen för tappvarmvatten gjorts. Fördelningen framgår av nedanstående figur som visar månatlig förbrukning dels av tabell som visar fördelningen under dygnet (ref. 4).

Tid	Förbrukning	Förbrukning/tim
07-17	48 %	4,8 %
17-22	38 %	7,6 %
22-24	5 %	2,5 %
24-07	9 %	1,3 %

Tabell 1 Energiförbrukning för tappvarmvatten fördelad på dygnets timmar.





Figur 1 Energiförbrukning för tappvarmvatten fördelad på årets månader.

Energiförlusterna från tappvarmvattenledningarna samt VVC-ledningarna har beräknats teoretiskt utgående från ledningarnas längd, isoleringsstandard samt temperaturer. Den totala energiförlusten från ledningarna har på detta sätt beräknats till 200 kwh/person, år. Energiförlusten kan med god överensstämmelse fördelas likformigt under årets timmar.

#### 4. SYSTEMUPPBYGGNAD

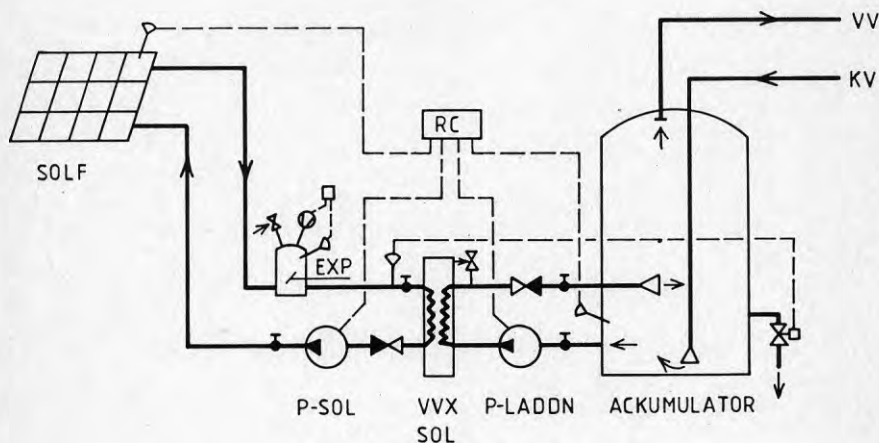
Den energi som solfångarna producerar skall överföras till tappvarmvattnet. Man kan utföra en solfångaranläggning på flera olika sätt. Vi kommer nedan att studera fyra olika system för tappvarmvattenberedning samt två olika varianter för att täcka förluster från varmvatten-cirkulationen. I samtliga alternativ kan vid behov energi tas från det befintliga värmesystemet för att komplettera solenergin.

Skillnaden mellan de studerade systemen kan kortfattat beskrivas som:

- Systemtyp 1 - trycksatt varmvattenackumulator
- Systemtyp 2 - tank med slavvatten, varmvatten i slingor
- Systemtyp 3 - tank med slavvatten, mindre ackumulator för varmvatten i tanken
- Systemtyp 4 - tank med slavvatten, varmvatten via en utanförliggande värmeväxlare

## 4.1 Systemtyper

## SYSTEMTYP 1.



Figur 2 Principfigur, systemtyp 1

Kallvatten kommer in i ackumulatorns nedre del, vattnet stiger allteftersom varmvatten från toppen tas ur. Uppvärmningen av kallvattnet sker med värmväxlare V VX-SOL. Pump P-LADDN tar kallvatten från botten av ackumulatortank och cirkulerar det genom växlaren. För att få liten störning av skiktningen i ackumulatortank släpps det solvärmda varmvattnet via ett dysrör strax ovanför uttaget.

Detta system innebär att ackumulatortank måste utföras enligt tryckkärlsnormerna. Innerhöljet måste utföras i ett material som tål att vara i kontakt med tappvatten, samt klarar att hålla vattentrycket.

Fördelen med detta system är dels att man får en förrådsvolym av tappvatten dels att man ej behöver något expansionskärl för förrådsvolymen samt att det glykolblandade vattnet från solfångarna direkt avger sin energi till tappvarmvattnet via värmväxlaren V VX-SOL, vilket ger låga temperaturer in i solfångaren. Det behövs inte heller någon värmväxlare om tanken skall värma VVC-flödet (VVC:n behandlas senare).

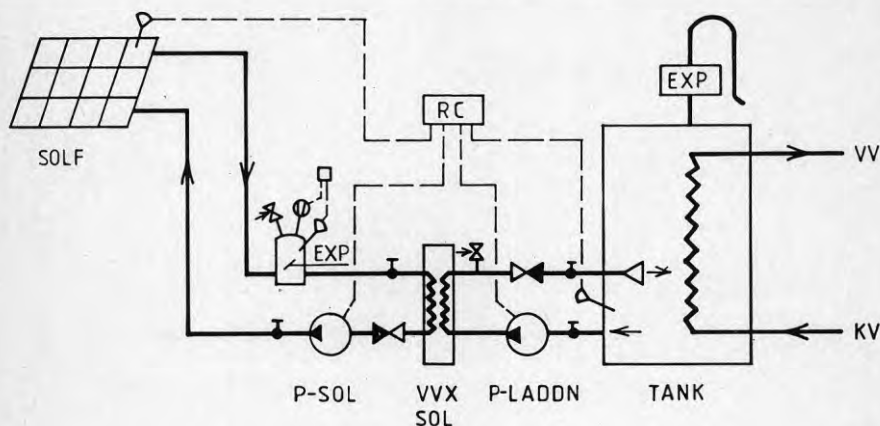
Akkumulatortanks temperatur kommer i vissa driftsfall att understiga rumstemperaturen. I det fall att ackumulatortanks yttermantel är utförd i korrosivt material erfordras diffusionstät isolering.

För att starta systemet har en temperaturgivare på solfångarplåten och en givare som anger temperaturen på det kallaste skiktet i ackumulatortank installerats. I en reglercentral registreras dessa temperaturer och om solfångaren är varmare än vattnet startas pumparna P-SOL och P-LADDN. Backventilen vid värmeväxlaren skall förhindra självcirkulation.

En givare registrerar glykolvattenblandningens temperatur efter det att den har värmts upp i solfångarna. När temperaturen blir för hög, över +100 grad. C, öppnas en magnetventil som släpper ut vatten från ackumulatortankens nedre del. På detta sätt fås en större cirkulation av det kalla vattnet i botten på ackumulatortank, vilket förhindrar kokning.

Vid stora vattenvolymer som det är frågan om här, kan en trycksatt ackumulatortank bli svår att installera i befintlig bebyggelse. Möjligheten finns att placera ackumulatortank utomhus eller att dela upp volymen i flera mindre ackumulatörer. Vid en kostnadsjämförelse med övriga system blir alternativet med en utomhus placerad eller flera mindre ackumulatörer ej intressant.

## SYSTEMTYP 2.



Figur 3 Principfigur systemtyp 2

Kallvatten kommer in i tankens botten, leds in i kamrörsbatterier, som löper från tankens botten till dess topp där varmvatten tas ur.

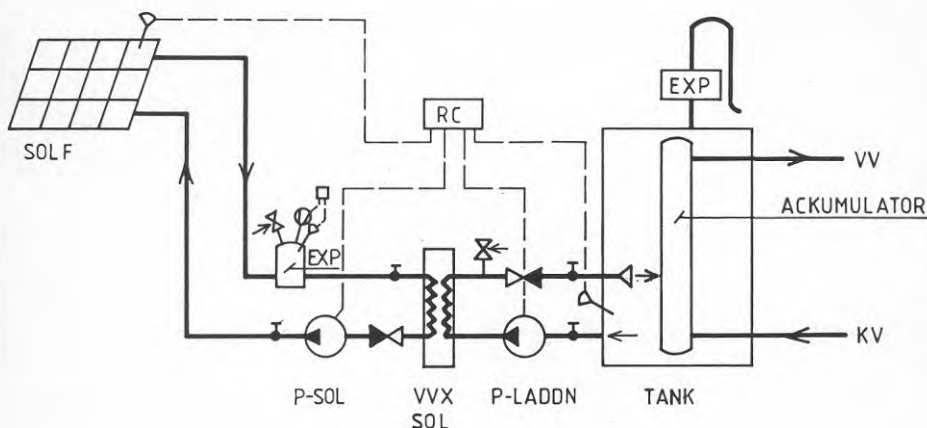
Uppvärmningen av det sk slavvattnet i tanken sker med värmväxlaren VVX-SOL. Kallt vatten pumpas från botten av tanken med pump P-LADDN. För att minimera störningen av skiktningen i tanken släpps det solvärmda slavvattnet via ett dysrör strax ovanför uttaget.

Fördelen med detta system är att tanken kan utföras som ett öppet kärl vilket ger ett väsentligt lägre pris än för ett alternativ med trycksatt tank. Tanken kan monteras på plats, vilket gör den lätt att installera i befintlig bebyggelse.

Nackdelen med detta system är att täckningsgraden blir något lägre än för systemtyp 1. Tanken måste även här isoleras med diffusionstät isolering.

Styrningen av pumparna P-SOL och P-LADDN är i funktion och utförande lika systemtyp 1.

## SYSTEMTYP 3.



Figur 4 Principfigur systemtyp 3

Den stora icke trycksatta tanken med slavvatten innehåller ett antal mindre trycksatta ackumulatorer. Dessa innehåller tappvatten och är därför utförda enligt tryckkärlsnormerna. Innerhöljet utförs i material som klarar att vara i kontakt med tappvattnet.

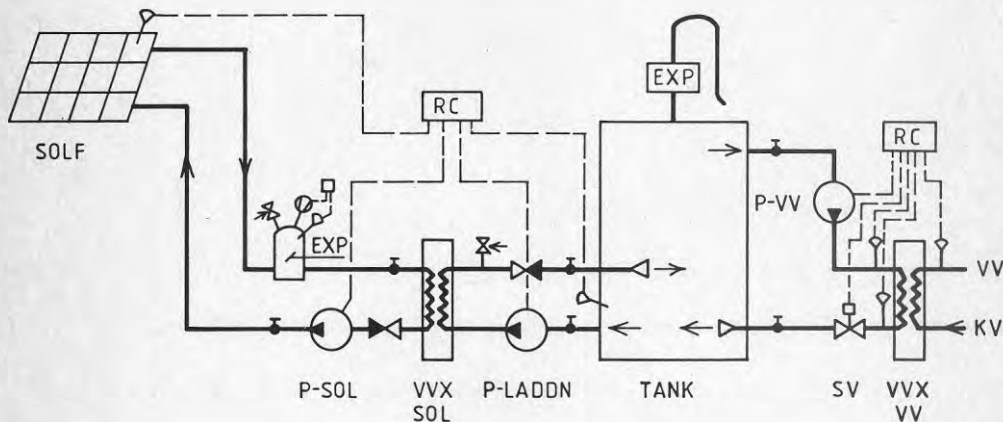
Kallvatten kommer in i botten på ackumulatorerna, värms upp genom värmeövergång från den stora tanken. Vatten i ackumulatorerna stiger allteftersom varmvatten från toppen tas ur.

Fördelen med detta system är att tanken kan utföras som ett öppet kärl, lika systemtyp 2, och samtidigt ha en förrådsvolym av varmt tappvatten.

Nackdelen är att täckningsgraden blir lägre än för systemtyp 2 pga att de värmväxlande ytorna mellan tappvattnet i ackumulatorerna och slavvattnet i tanken är förhållandevis små. För att erhålla större värmväxlar-yta och därmed öka täckningsgraden kan ackumulatorerna utföras med kammflänsar. Kostnaderna för dessa ackumulatorer blir väsentligt högre än för helt släta ackumulatorer.

Styrningen av pumparna P-SOL och P-LADDN är i funktion och utförande lika systemtyp 1.

## SYSTEMTYP 4.



Figur 5 Principfigur, systemtyp 4

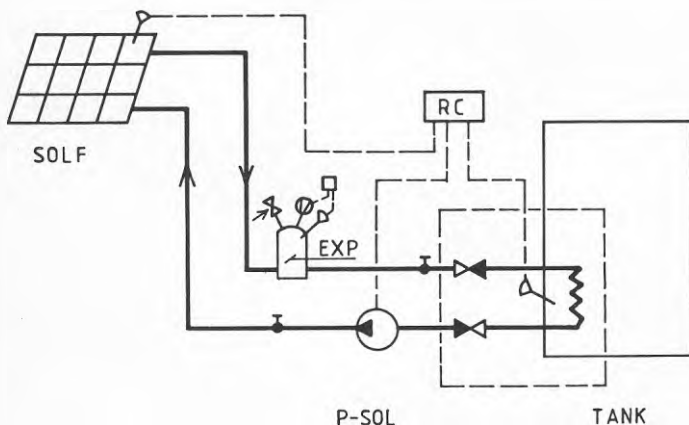
Uppvärmningen av tappvattnet sker med värmväxlaren VVX-VV. Varmt slavvatten tas från toppen av tanken med pump P-VV efter avkyllning i värmväxlaren släpps vattnet tillbaka i tanken via ett dysrör i botten. Temperaturgivarna på ömse sidor om värmväxlaren skall via reglercentralen starta och stoppa pumpen P-vv samt styra styrventilen SV. Temperaturdifferensen mellan inkommande slavvatten och utgående varmvatten konstanthålls.

Temperaturgivaren efter värmväxlaren begränsar returtemperaturen på slavvattnet som går tillbaka till tanken, för att ej få för hög returtemperatur som skulle förstöra skiktningen i tanken. Fördelen med detta system är att tanken kan utföras som ett öppet kärl lika system 2 och 3. Man får en bättre täckningsgrad än i system 2 och 3 pga plattvärmväxlarens termiska egenskaper.

Nackdelen är att styrningen på tappvattensidan blir dyr och komplicerad, samt att värmeledning mellan tilllopp och retur på tappvattnet gör att temperaturen in i tanken blir hög vid små tappningar.

Styrningen av pumparna P-SOL och P-LADDN är i funktion och utförande lika systemtyp 1.

ALTERNATIV TILL VÄRMEVÄXLING PÅ SOLFÅNGARSIDAN FÖR SYSTEMTYP 1-4.



Figur 6 Principfigur, alternativ till systemtyp 1-4.

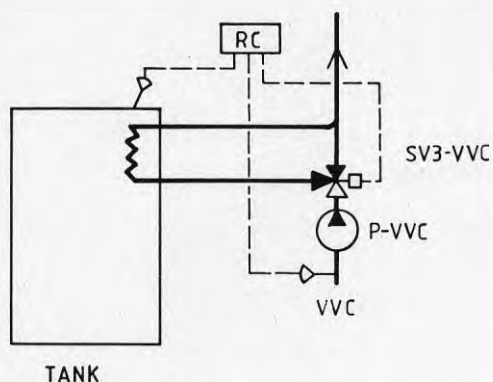
Som alternativ till värmeväxlaren VVX-SOL pump P-LADDN mm i systemtyp 1-4 används kamrörsbatterier, vilka monteras i botten på tanken. I systemtyp 1 måste batteriet utföras för att vara i kontakt med tappvatten.

Kostnaden för kamrörsbatterier i systemtyp 2,3 och 4 är något lägre än kostnaden för värmeväxlare, pump etc. I gengäld har värmeväxlaren termiska egenskaper som gör att den är att föredra i det system vi väljer.

Styrningen av pumpen P-SOL är i funktion och utförande lika systemtyp 1.



## SYSTEM VVC



Figur 7 Principfigur, system VVC

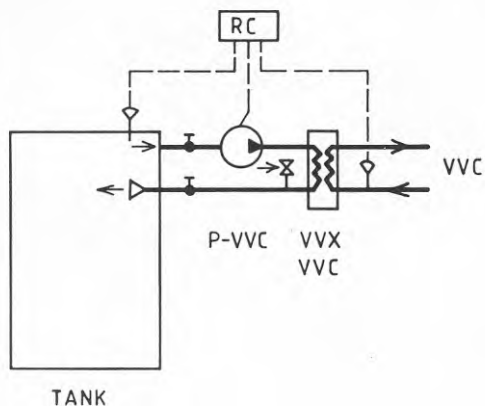
När tankens toppskikt har en temperatur över cirka +50 grader C, kan man använda energi från tanken för att täcka värmeförlusterna i varmvatten och vvc-ledningarna. Temperaturen i tankens toppskikt har beräknats och finns redovisade i figur 19.

Uppvärmningen av VVC-flödet sker med ett batteri som monterats i toppen på tanken.

Styrventilen SV3-VVC styr VVC-flödet genom batteriet om vattentemperaturen i toppen på tanken överstiger temperaturen på returledningen från VVC:n med inställd differens (cirka 3 grader C). Då differensen underskrider inställt värde (cirka 1 grad C) styrs VVC-flödet förbi batteriet.

Om man vill utnyttja tanken som effektutjämnare, d v s tanken förvärmer tappvarmvattnet under perioder då det ej är någon solinstrålning, kan man låta VVC:n cirkulera genom batteriet även under perioder då tanken är kallare än VVC:n och på så sätt låta VVC:n värma tanken när det inte förekommer någon tappvarmvattenförbrukning.

## ALTERNATIV TILL SYSTEM VVC



Figur 8 Principfigur, alternativ till system VVC.

Som alternativ till system VVC har en värmväxlare pump P-VVC etc monterats utanför tanken.

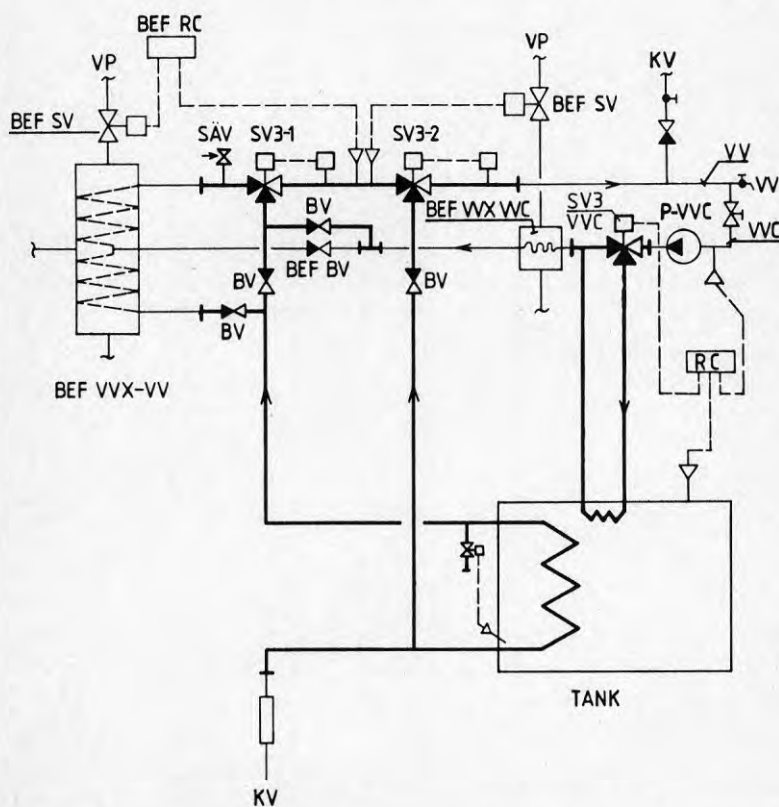
När temperaturen i tankens toppskikt är högre än cirka +50 grader C används värmväxlaren för att värma VVC-flödet. Varmt vatten pumpas från toppen av tanken genom värmväxlaren. Vattnet släpps efter avkyllning via ett dysrör strax nedanför uttaget.

Start av pump P-VVC sker då vattentemperaturen i toppen på tanken överstiger temperaturen på returledningen från VVC:n med inställd differens (cirka 5 grader C). Stopp av pumpen sker då differensen underskrider inställt värde (cirka 3 grader C).

Fördelen med detta systemet är att värmväxlaren har bättre termiska egenskaper än system VVC men vid en kostnadsjämförelse är system VVC att föredra i det system i väljer.

#### 4.2 Anslutning till befintligt system

Det av solenergin förvärmda tappvarmvattnet ansluts till det befintliga tappvarmvattensystemet enligt figur 9. Det redovisade systemet har tagits fram och används i projektet.



Figur 9 Principkopplingsschema avseende anslutning till befintligt system. Nya ledningar dragna med tjockare streck.

Inkommande kallvattenledning dras till tanken, leds i kamrörsbatterier som löper från tankens botten till dess topp där det förvärmade tappvarmvattnet tas ur.

I det fall tanken klarar att värma tappvarmvattnet till erforderlig temperatur, +50 grad. C, styr trevägsventilen SV3-1 vattenflödet, direkt utan inblandning av varmt vatten från VVX, ut i tappvattensystemet.

När temperaturen på vattnet efter styrventil SV3-1 men för SV3-2 är högre än +50 grad. C blandar styrventilen SV3-2 in kallvatten så att utgående tappvarmvattentemperatur blir +50 grad. C.

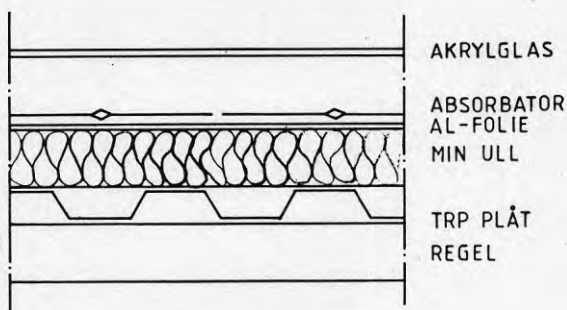
När temperaturen i tanken ej räcker för att värma tappvarmvattnet till erforderlig temperatur, börjar ventilen SV3-1 styra så att vattenflödet genom den befintliga värmeväxlaren VVX-VV värmer upp tappvarmvattnet till inställd temperatur.

VVC-flödet styrs med styrventilen SV3-VVC. En differens-temperaturmätare används för att mäta temperaturen på VVC-flödet och tankens toppvattenskikt. När denna temperatur är ca 3 grad. C lägre än temperaturen i tankens toppskikt, styrs VVC-flödet genom batteriet. När temperaturdifferensen underskrider ca 1 grad. C styrs VVC-flödet förbi batteriet.

## 5 SOLFÅNGARKONSTRUKTION

### 5.1 Solfångaren

Solfångaren - Scandinavian IT - är en utveckling av den typ som byggts i olika projekt i bl a Kungsbacka och Växjö kommun.



Figur 10 Sektion genom solfångarkonstruktionen.

Solfångaren är av platsbyggd typ där man ovan de ordinarie takstolarna fäster reglarna som skall bära solfångarkonstruktionen.

Vid regeln fästs TRP-plåten, som efter monteringen är gångbar. TRP-plåtens "dalar" utnyttjas för ventilering under solfångarens isolering. TRP-plåten fungerar även som taktäckning om läckage uppstår på solfångaren.

På TRP-plåten skruvas fästprofiler av aluminium fast med ett inbördes avstånd på cirka en meter i såväl längs- som höjddled. På fästprofilen placeras en spröjsprofil i takets lutning. Taket blir indelat i fack med cirka en meters bredd.

Ovanpå TRP-plåten och mellan spröjsprofilen läggs en aluminiumbeklädd mineralullsmatta.



Bild 1 Utläggning av mineralullsmatta.

Absorbatorn läggs ovanpå den aluminiumbeklädda mineralullen. Absorbatorn består av aluminium- eller kopparplåt med selektiva egenskaper. I plåten är kopparrör fästade som kyler solfångaren med det glykolblandade vattnet.



Bild 2 Montering av absorbator.

Ovanför absorbatoren placeras en vågformad akrylglas-skiva. Akrylglaset hålls på plats av gummilister av EPDM-gummi. Vid varje skarv överlappar den övre glasskivan den undre med ca 15 mm, regnvatten rinner hela tiden ovanpå glaset, vid överlappningen är den undre skivan försedd med en upphöjd klack, som förhindrar att vatten blåser in nerifrån mellan glasskivorna.



Bild 3 Akrylglasskivorna infästs med hjälp av en EPDM-gummilist.

För att undvika kondensbildning finns små luftpassagemöjligheter genom solfångaren. De energimängder som går till spillo genom detta förfarande påverkar i mycket ringa grad prestanda (tester på Statens Provn.anstalt).

Genom att bygga solfångaren på det redovisade sättet har man möjlighet att relativt enkelt byta ingående komponenter. Vid byte av glasskivan lossas skivorna ovanför den som skall åtgärdas, varefter den nya glasskivan kan infästas. Om en av absorbatoren behöver bytas lossas alla glasskivorna i en rad, varefter utbyte kan ske.

I taknock läggs två samlingsledningar, (tillopp och retur), av koppar. Till dessa ansluter man de två ledningarna från absorbatoren.

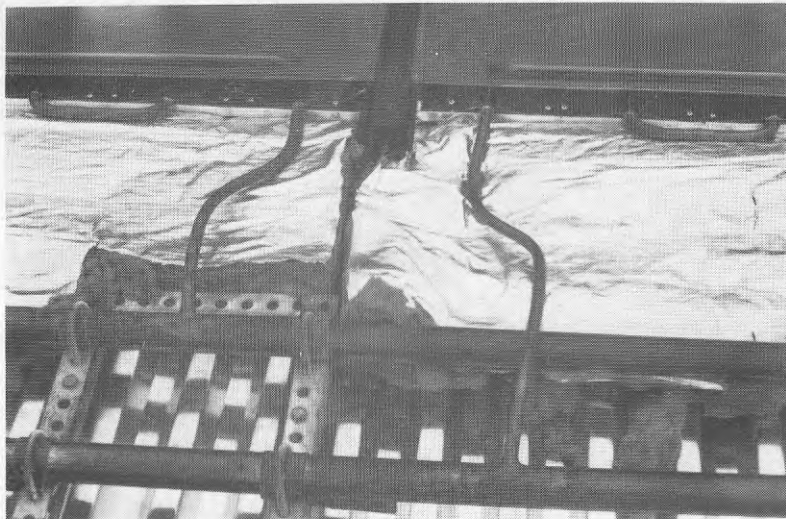
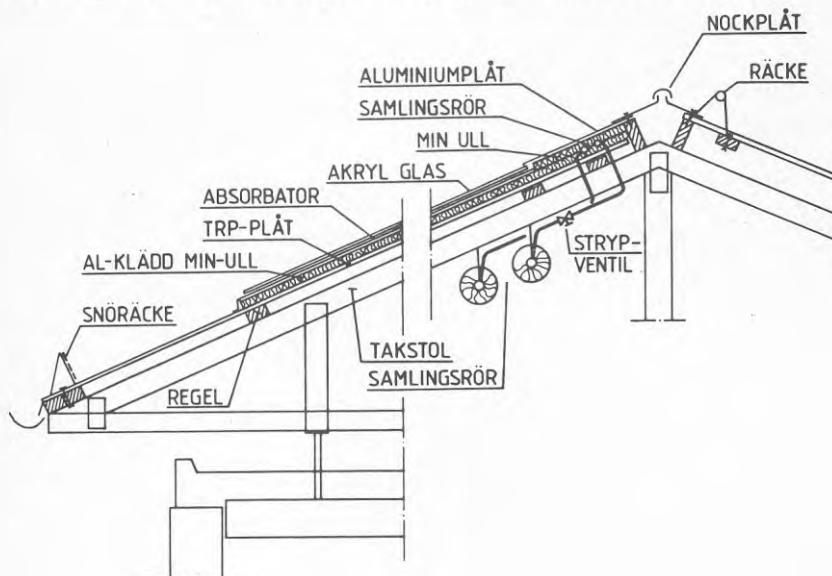


Bild 4 Anslutning av absorbatoren till samlingsledningar.

För att erhålla rätt flödesfördelningar i solfångarna, delar man upp solfångarytan i mindre enheter. Varje enhet anslutes med en strypventil till samlingsledningar av stål som är förlagda i utrymmet under yttertaket.



Figur 11 Detaljer solfångaranslutningar, anpassning till takkonstruktionen, plåtavtäckningar, samlingsrör, genomföringar osv.

Samlingsledningarna dras i ett trappschakt ned till ackumulatortanken som ligger i källarplanet.



## 5.2 Provningsresultat.

Solfångaren - Scandinavian IT - provades under perioden augusti/september 1983, vid Statens Provningsanstalts utomhuslaboratorium i Borås.

Provningsarna gällde solfångarens effektverkningsgrad och hållfasthetsegenskaper mot yttre klimatiska påfrestningar.

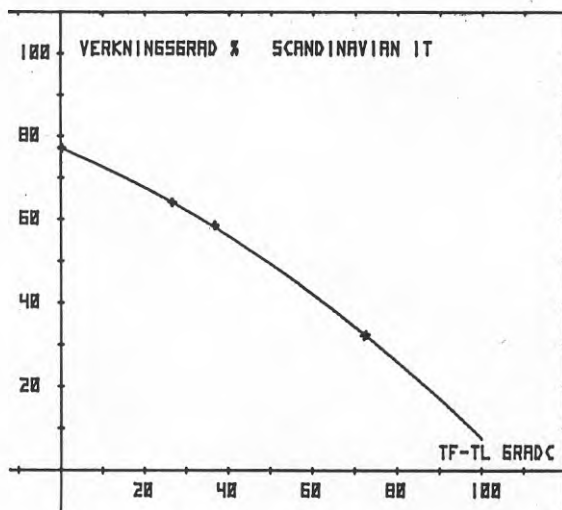


Bild 5 - Scandinavian IT provningssolfångare på Statens Provningsanstalt

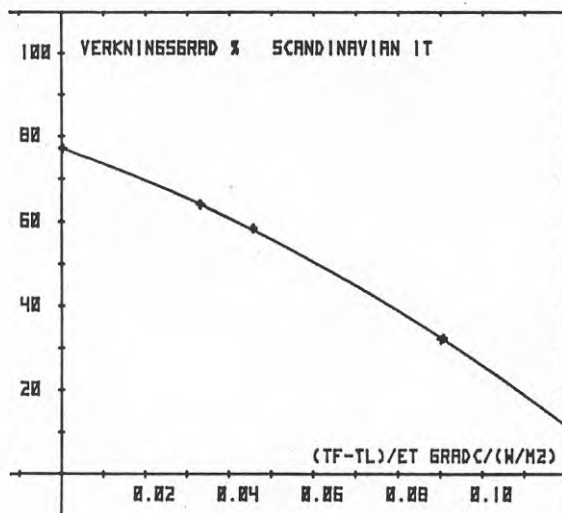
Provningsolfångaren placerades på en träregelstomme vilken uppbyggdes som en ordinär takstolskonstruktion. Ovanpå träreglarna monterades 6,5 m<sup>2</sup> (aperturyta) Scandinavian IT-solfångare. Montering gjordes på samma sätt som beskrivits i kapitel 5.1.

Resultaten av effektverkningsgradsprovningarna

Provningarna resulterade i verkningsgradskurvor som redovisas i nedanstående figurer, utdrag ur Statens Provningsanstalts protokoll 8332, 191.



Figur 12 Termisk verkningsgrad,  $\eta$ , som funktion av övertemperaturen, TF-TL.



Figur 13 Termisk verkningsgrad,  $\eta$ , som funktion av övertemperatur genom total instrålningstäthet (TF-TL)/Et.

Verkningsgradskurvorna gäller för en total solinstrålningstäthet ( $E_t$ ) i solfångarens plan av  $800 \text{ W/m}^2$ .  
TF står för värmebärarens medeltemperatur i solfångaren.  
TL är benämningen för omgivningstemperaturen (lufttemperaturen)

Provningsresultaten av de klimatiska hållbarhets-  
egenskaperna

Provningarna utfördes med en vindlast på  $25 \text{ m/s}$  som simulerades med fläkt. Vinden träffade solfångaren rakt framifrån.

Provningsresultat, vindlastprov/snölast: Utan anmärkning.

## 6. BERÄKNINGAR

Beräkningarna för detta tappvattensystem utförs med hjälp av datorprogrammet SUNSYST.

SUNSYST är ett program som började utvecklas under senare delen av 1970-talet för att simulera energisystem som innehåller solfångare, värmepump och markvärmelager. I denna applikation har SUNSYST använts i Annex II inom IEA-arbetet.

Sedermera kompletterades SUNSYST så att även anläggningar för tappvarmvatten med lagringstank blev möjliga att simulera. Ett tappvarmvattenprojekt i Kungsbacka kallat Backa-projektet, BFR rapport R70:1981, dimensionerades med hjälp av SUNSYST. Jämförelse mellan uppmätta värden från detta projekt och SUNSYST visar att beräkningarna väl stämmer överens med verkligheten.

Beräkningarna tillgår så att för varje timme under ett år bestäms hur mycket solenergi som kan omvandlas till nyttig energi i solfångarna. Härvid tas hänsyn till solinstrålning (molnighet), vind, utetemperatur, solfångarens fysikaliska egenskaper samt skiktning i tanken.

Energibehovet varje timme beräknas enligt modellen i kap. 3. Temperaturen i ackumulatortanken bestämmer hur stor del av energibehovet som täcks med solenergi.

I de följande delkapitlen beskrivs hur klimatmodellen är uppbyggd samt hur beräkningarna för solfångarna tillgår och vad beräkningarna har givit för resultat.

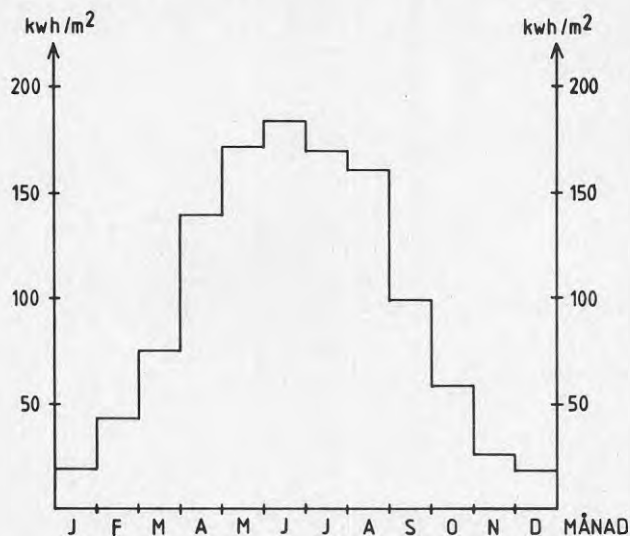
### 6.1 Omgivning

De omgivningsparametrar som är viktiga i detta sammanhang är utetemperatur, vind, solinstrålning samt temperaturen på inkommande kallvatten.

Utetemperaturen för varje timme beräknas utgående ifrån SMHI's statistik på dygnsmax och dygnsmin för Göteborg under åren 1931 - 60. Dygnet's kallaste utetemperatur antas inträffa kl. 3, och den varmaste kl. 15. Däremellan beskrivs utetemperaturen enligt en sinuskurva.

Vindhastigheten baseras likaså på statistik från SMHI. Solinstrålningen för klara dagar beräknas med geometriska formler enl. ref. 1. Vidare delas solinstrålningen upp i direkt och diffus instrålning och reduceras m h a molnstatistik från SMHI.

Månadssummor av beräknad total (direkt + diffus) solinstrålning mot solfångarna under ett normalår framgår av figur 14.

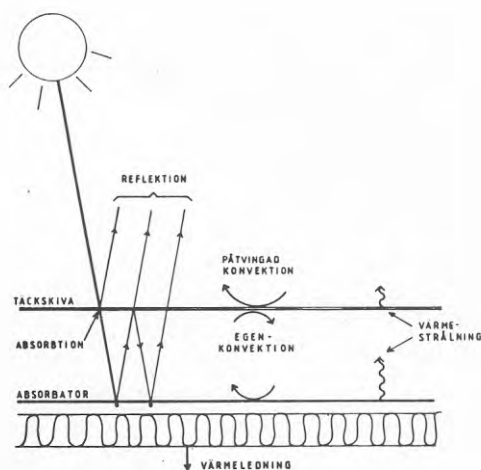


Figur 14 Beräknad total solinstrålning mot solfångare under ett normalår

En annan viktig parameter är temperaturen på inkommande kallvatten. Mätningar visar att denna temperatur i normala fall varierar mellan + 4 grad. C och + 15 grad. C i Göteborgsområdet. Lägsta temperaturen antas inträffa den 15 februari och den högsta 15 augusti. Däremellan beräknas temperaturen enligt en sinuskurva. Figur 19 i kap. 6.3 visar hur temperaturen på inkommande kallvatten beräknas i SUNSYST.

## 6.2 Solfångare

Första steget för att beräkna utbytet från solfångarna är att bestämma instrålad solenergi. Nyttiggjord solenergi beräknas som skillnaden mellan instrålad energi och förluster från solfångaren. Förlusterna består dels av reflektionsförluster i täckglas och dels av konvektionsförluster i täckglas och dels av konvektions- och strålningsförluster från absorbatoren samt värmeledning bakåt från absorbatoren.



Figur 15 Förlustbild i en plan solfångare

Som utgångspunkt för solfångarberäkningarna används medeltemperaturen på den i solfångaren cirkulerande vätskan. Absorbatorns medeltemperatur varierar i en iterativ process så att balans uppstår mellan instrålad energi, förluster och till vätskan avgiven nyttiggjord energi. Härvid används fysikaliska samband (ref. 1) för att beräkna hur mycket av den instrålade solenergin som absorberas i absorbatoren samt hur mycket av denna energi som försvinner till omgivningen genom konvektion, ledning och värmestrålning från absorbatoren.

Beräkningsprocessen upprepas så att balans uppstår mellan nyttiggjord solenergi och till tanken genom värmeväxlaren överförd energi d v s medeltemperaturen på den cirkulerande vätskan varierar. Som nämnts tidigare görs dessa beräkningen för varje timme under ett år.

### 6.3 Beräkningsresultat och dimensionering

Solvärmesystemet dimensioneras för 100 lägenheter. Medelantalet personer per lägenhet antas vara 2,2 st och energianvändningen har bestämts till 1300 kWh/pers. och år (se kap. 3). Årsenergibehovet för att bereda tappvarmvatten blir 286 MWh. Dimensioneringskriterium är att man skall uppnå en täckningsgrad av 45 - 50 % av årsenergibehovet.

Variabler i SUNSYST är aktiv solfångaryta, tankstorlek och storleken på värmeväxlaren mellan solfångare och tank.

Som första ansats på tankstorlek valdes 20 m<sup>3</sup> vilket ungefär motsvarar dygnsbehovet av varmvatten för 100 lägenheter. Med denna ansats varierades aktiv solfångaryta. Värmewäxlarkapaciteten valdes till 0,04 kW/grad. C x m<sup>2</sup> solf. d v s vid 300 m<sup>2</sup> aktiv solfångaryta räknas med en värmewäxlare som har kapaciteten 12 kW/grad C (k x A). Resultatet av dessa simuleringar framgår av figur 16.

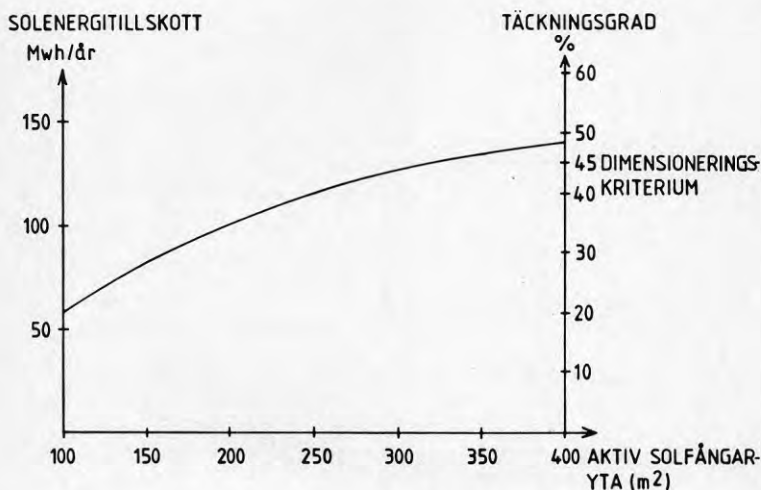


Fig. 16 Solenergitillskott och täckningsgrad s.f.a. solfångaryta. Tank = 20 m<sup>3</sup>, vvx = 0.04 kW/grad C x m<sup>2</sup> solf.

För att uppnå en acceptabel täckningsgrad behövs ca 350 m<sup>2</sup> aktiv solfångaryta. Ur fig. 16 framgår vidare hur utbytet per m<sup>2</sup> solfångare ökar om man godtar en lägre täckningsgrad.

Beräkningarna visar att en ändring av värmeväxlar- kapaciteten till  $0.075 \text{ kW/grad.C} \times \text{m}^2 \text{ solf.}$  ( $k \times A$  blir  $22,5 \text{ kW/C}$  vid  $300 \text{ m}^2 \text{ solf.}$ ) har en obetydlig inverkan på utbytet från solfångarna. Likaså måste denna parameter minska kraftigt för att åstadkomma en betydelsefull minskning av utbytet i solfångarna.

För att få en uppfattning om betydelsen av storleken på tanken varierades denna då solfångarytan hölls konstant  $350 \text{ m}^2$ . Resultatet framgår av följande figur.

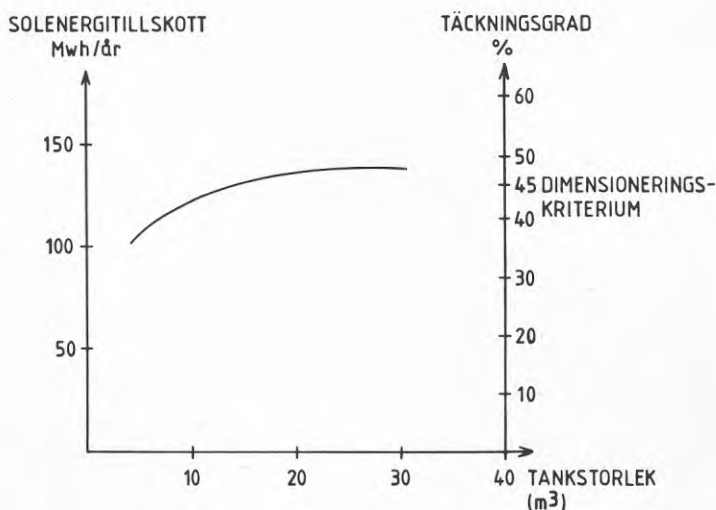


Fig. 17 Solenergitillskott och täckningsgrad s.f.a. tankstorlek vid solfångarytan  $350 \text{ m}^2$ .

En ytterligare ökning av tanken utöver  $20 \text{ m}^3$  är ej motiverat då utbytet i stort sett är konstant. Minskning av tankstorleken till mindre än  $10 \text{ m}^3$  är ett dåligt alternativ då täckningsgraden i detta fall sjunker drastiskt. För att uppnå 45% täckningsgrad behöver tanken vara i storleksordningen  $15 - 17 \text{ m}^3$ . Eftersom tanken i detta fallet är trycklös och därmed relativt billig väljes tankstorleken till  $20 \text{ m}^3$ .



Med solsystemet valt till 350 m<sup>2</sup> aktiv solfångaryta och 20 m<sup>3</sup> tank blir resultatet enligt ovan 134 MWh solenergitillskott d v s ca 47% täckningsgrad. Räknat per aktiv solfångaryta (aperturyta) blir utbytet ca 382 kWh/m<sup>2</sup> och år. Tar man hänsyn till total solfångaryta d v s räknar med plåttäckning och lister erhålls utbytet 329 kWh/m<sup>2</sup> och år då ytan i detta fall blir 407 m<sup>2</sup>.

Fördelningen av tillförd solenergi under året för valt system samt förbrukningen framgår av följande figur.

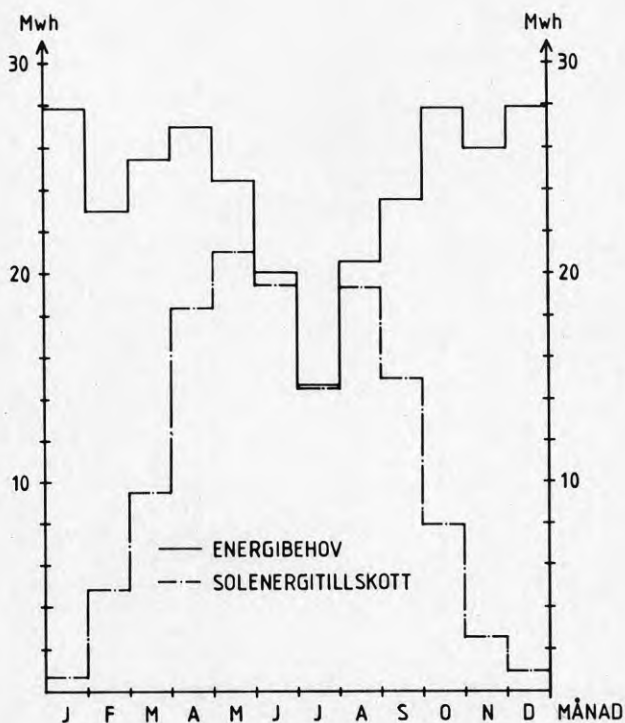


Fig. 18 Fördelning av solenergitillskottet och beräknad total energiförbrukning.

Följande figur visar beräknad medeltemperatur i toppen av tanken samt beräknad temperatur på inkommande kallvatten.

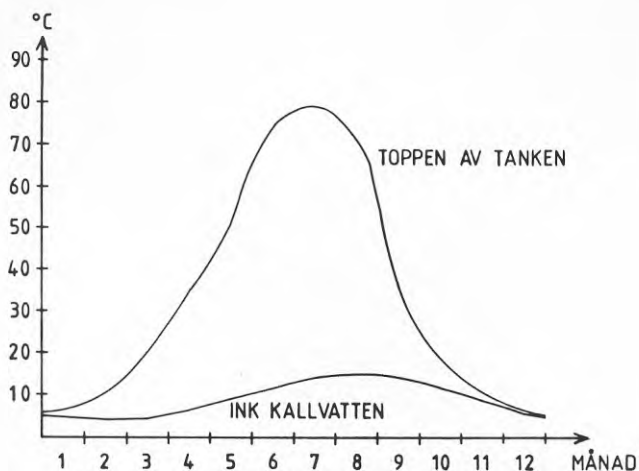


Fig. 19 Temperatur i toppen av tanken samt temperaturen på inkommande kallvatten under ett normalår

Energibehovet för att bereda tappvarmvatten är vanskligt att bedöma. Detta energibehov beror i hög grad på människors individuella vanor. Som utgångspunkt för denna dimensionering har använts statistik från Bostadsbolaget (kap. 3), vilket torde vara det bästa sättet att bestämma denna parameter. För att belysa vad en felbedömning av energibehovet innebär, för det ovan valda systemet, gjordes en beräkning där energibehovet hade minskat med 15% till 240 MWh.

Beräkningarna visade att tillskottet av solenergi skulle minska till 117 MWh. Räknat per aperturyta sjunker utbytet till 334 kWh/m<sup>2</sup> eller 287 kWh per m<sup>2</sup> totalyta.

Täckningsgraden ökar något till ca 49%. Således sjunker lönsamheten för detta valda system i ungefär samma takt som förbrukningen vid en måttlig förbrukningsminskning enligt ovan.

## 7. EKONOMI

## 7.1 Investeringskostnad

Denna kalkyl är upprättad för en solfångaranläggning om 407 m<sup>2</sup> total solfångaryta, kalkylen baseras på priser i prisläge 1983-09-01.

Kostnadsbärare	Systemtyp				VVC
	1	2	3	4	
Solfångare, rör, ventiler, styr, pump, inkl mont. Glykolfyllning	442000	442000	442000	442000	
Tank, expansions- kärl, inkl mont.	145000	38000	38000	38000	
SOLSIDA					
Värmeväxlare, pump rör, ventiler, styr, inkl montering	32000	29000	29000	29000	
TAPPVATTENSIDA					
Värmeväxlare, pump rör, ventiler, styr, ansl till bef. system, inkl montering	31000	48000	61000	60000	8000*
	650000	557000	570000	569000	12000
Total entrepre- nad 8%	52000	45000	46000	46000	1000
Summa kr	702000	602000	616000	615000	13000
Specifik kostn. kr/m <sup>2</sup>	1725	1479	1513	1511	22*
					32

Tabell 2

\* För systemtyp 1

Kostnaderna i tabell 2 är framtagna med likvärdiga förutsättningar vad avser temperaturer, tryckfall, flöden etc. för de olika systemtyperna. Ur denna kalkyl väljs systemtyp 2 och system VVC.

## 7.2 Underhållskostnad och livslängd

Underhållet för solfångaranläggningen torde inskränka sig till undercentralen, där pumpar, värmeväxlare och styrutrustning skall ha ett kontinuerligt underhåll. Underhållskostnaden bedöms vara 2000 kr/år.

Solfångaranläggningens livslängd beror på de ingående komponenternas hållbarhet.

Solfångarna är uppbyggda av aluminium med rostfria förbindningar. Isoleringen utgörs av stenull. Dessa material har en livslängd på 45 år.

Täckglaset är en komponent i solfångaren som kan komma att behöva bytas ut efter cirka 20 år.

De pumpar och den reglerutrustning som ingår i anläggningen har en kontinuerlig service vilket ger dessa en livslängd på minst 15 år.

I lönsamhetsberäkningarna har vi tagit med en kostnad för byte av pumpar, reglerutrustning, täckglas etc. på 1000 kr/år.

Ledningar, tank och växlare är standardkomponenter som i ett konventionellt VVS-system med en livslängd på minst 30 år.

## 7.3 Lönsamhet

Kostnaden för den energi som produceras med solfångarna beror på finansieringsvillkoren. Två finansieringsalternativ studeras där lönsamheten för ett komplett solsystem om 407 m<sup>2</sup> total solfångaryta beräknas.

- I det första alternativet har vi gjort en kalkyl där finansieringen görs med ett konventionellt banklån med följande förutsättningar:

Investeringskostnad:	$1479+32 \times 407=615\ 000$ kr
Avgår för konv. taktäckning:	$70 \times 407=28\ 500$ kr
Avskrivningstid:	20 år
Årlig inflation:	9 %
Ränta:	13 %
Underhållskostnad:	3000 kr/år
Besparad energi under de första 20 åren $20 \times 134$ :	2680 MWh

Med ovanstående antagande blir medelenergi-priset 29,5 öre/kWh i år 0's penningvärde under de 20 första åren.

Medelenergi-priset blir 33,1 öre/kWh då 12,87 % moms läggs på investeringskostnaden.

- I det andra alternativet används de statliga ROT-bidragen och räntesubventionerna för ombyggnad av flerfamiljshus. Bidraget är 50 % av fakturerad kostnad upp till 1600 kr/m<sup>2</sup> solfångaryta. Räntebidraget är 6 % på räntan på det resterande beloppet vilket finansieras med ett konventionellt banklån.

Kalkylförutsättningarna blir då:

Investeringskostnad:	$0,5 \times 615.000=307\ 500$ kr
Avgår för konv. taktäckning:	$70 \times 407=28\ 500$ kr
Avskrivningstid:	20 år
Årlig inflation:	9 %
Ränta:	$13 - 6 = 7$ %
Underhållskostnad:	3 000 kr/år
Besparad energi under de första 20 åren:	2 680 MWh

Med ovanstående förutsättningar blir medelenergi-  
priset 11,4 öre/kWh i år 0's penningvärde.

Medelenergipriset blir 14,5 öre/kWh då 12,87 %  
moms läggs på investeringskostnaden.

## 8. REFERENSLISTA

- ( 1 ) Duffie & Beckman: Solar Energy Thermal Processes  
John Wiley & Sons  
New York, 1974
- ( 2 ) Göran Hultmark Stefan Olsson Solfångare integrerad i tak för beredning av tappvarmvatten  
BFR-Rapport R70:1981  
Stockholm, 1981
- ( 3 ) Anders Bernestål Anläggningsrapport Kvarngården, Ingelstad
- ( 4 ) Folke Peterson VVS:SPECIAL  
Solvärme 2:1980  
Varmvattenberedning med solenergi - några synpunkter på projektering









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831059-9  
från Statens råd för byggnadsforskning till Göteborgs  
Stads Bostadsaktiebolag, Göteborg.**

1

**Art.nr: 6704192**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

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

**R192: 1984**

**ISBN 91-540-4291-7**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**