

Peter Kovács
Ulrik Pettersson

**Solvärmda kombisystem
En jämförelse mellan vakuumrör
och plan solfångare genom mätning
och simulering**

SP Rapport 2002:20
Energiteknik
Borås 2002

Abstract

Solar combisystems

A comparison between vacuum tube- and flat plate collectors using measurements and simulations

Two solar combisystems were mounted side by side in an outdoor test facility and continuously operated during one year. The whole year, all relevant temperatures, flow rates and environment variables were thoroughly measured. The systems were identical apart from the collectors which were a 9m² vacuum tube and a 12,2 m² selective flat plate collector. A simulated space heating and tap water load of appr. 25 MWh/ a was applied to each system and auxiliary heat was charged to the stores from emulated pellet boilers. Additionally, the two collectors and the store was tested separately and the systems simulated according to the CTSS principle described in ENV 12977.

The aim of the project was to determine solar fractions in a solar combisystem from real measurements and to compare the two different collector types from different points of view. On the basis of the validated simulation model, the results from the long term measurements could be generalized and eight different loads were simulated.

The results showed that the vacuum tubes performed 45-60% better than the flat plate per m² depending on the load applied. The solar fractions (assuming no losses from the boiler) varied from 11% for the measured systems to appr. 30 % in a house with 25 % of the original space heating load. During the heating season, the vacuum tubes occasionally performed much worse than the flat plate due to the fact that snow and frost melted away much quicker from the flat plate. For the use of vacuum tubes in snowy regions, vertical mounting should therefore be strongly recommended.

Key words: comparison, flat plate collector, vacuum tube, solar combisystem, simulation, performance.

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2002:20
ISBN 91-7848-912-1
ISSN 0284-5172
Borås 2002

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2002:20

Postal address:
Box 857,
SE-501 15 BORÅS, Sweden
Telephone: +46 33 16 50 00
Telex: 36252 Testing S
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se

Innehållsförteckning

	Abstract	2
	Innehållsförteckning	3
	Förord	5
1	Sammanfattning	6
1.1	Solfångare i kombisystem- Bakgrund	6
1.2	Beskrivning av provade system	7
1.3	Projektbeskrivning	7
1.4	Resultat	7
1.5	Slutsatser och rekommendationer	8
2	Generellt om kombisystem	10
2.1	Vad är ett effektivt system?	10
2.2	Grundläggande förutsättningar för ett effektivt solvärmeutnyttjande	10
2.2.1	Brukaren	11
2.2.2	Systemet	11
2.2.3	Huset och dess omgivning	12
3	Dimensionering och utformning av solvärmda kombisystem	13
3.1	Generell dimensionering	13
3.2	Provningens dimensionerande laster	14
3.3	Utformning av provade system	14
4	Resultat från mätningar och simuleringar	16
4.1	Laster och solfångareareor för simuleringar	16
4.2	Resultat	17
4.2.1	Energiutbyten	18
4.2.2	Besparing	21
4.2.3	Driftstemperaturer	23
5	Plan solfångare eller vakuumsör	24
5.1	Energiutbyten	24
5.1.1	Förväntade resultat	24
5.1.2	Faktiska resultat	25
5.2	Installation	26
5.3	Estetik	27
6	Slutsatser	28
6.1	Solfångare	28
6.2	Kombisystem	28
6.3	Förbättringar av provade system	28
	Referenser	30

Bilagor

1	Teknisk beskrivning av systemen	31
2	Mätning på två solvärmda kombisystem under ett år	33
3	Utförande av mätning	38
4	Diagram från vissa specifika dagar under mätningen	40
5	Årsdiagram från mätning och simulering	47
6	Provning av solfångarna	52
7	Provning av kombitanken	54
8	Simulering med systemmodell	57

Förord

Denna rapport är resultatet av ett projekt som utförts på SP under titeln "Provning av större solvärmda villasystem". Projektet har dels bestått i mätningar av två solvärmda kombisystem under ett års tid vilket finansierats av Konsumentverket och SP, dels i komponentprovning och systemsimuleringar enligt den s k CTSS-metoden (Component Testing System Simulation), finansierat av Energimyndigheten. Den senare delen har samtidigt utgjort en del av SPs insats i IEA SH&C-projektet "Annex 26- Solar Combisystems".

Projektets syfte har varit att jämföra plana glasade solfångare och vakuumrörsolfångare i ett större villasystem samt att ta fram uppgifter om potentiella energibesparingar samt installations- och drifterfarenheter för dessa system.

Projektledare har varit Peter Kovács som även deltagit i utvärderingen. För mätningarna och huvuddelen av utvärderingen har Ulrik Pettersson svarat. Jörgen Eriksson har dessutom svarat för arbete med matematisk modellering. Dessutom har branschen genom Arnes Plåtslageri AB, Boröpannan AB, Thermoenergi i Örnköldsvik och Solentek AB deltagit med provobjekt och värdefulla erfarenheter.

Denna rapport vänder sig till tillverkare av energisystem för småhus, energirådgivare och specialintresserade privatpersoner.

Borås i oktober 2002

Peter Kovács

Ulrik Pettersson

1 Sammanfattning

1.1 Solfångare i kombisystem- Bakgrund

Ett uppvärmningssystem som utnyttjar solenergi för att värma både huset och det tappvarmvatten som husets brukare använder kallas inom solvärmekretsar för ett kombisystem. Ett system som enbart värmer tappvarmvatten kallas helt enkelt ett tappvarmvattensystem. Solvärmens kan, oberoende av vilken typ av system den ingår i, kombineras med de flesta tänkbara energiformer t ex el från en elpatron, olja, gas eller pellets från en brännare eller ved från en panna.

I Sverige har solvärme i den mån det förekommit i småhus i första hand funnit sin plats i kombisystem. Uppskattningsvis 90-95 % av alla småhusinstallationer har gällt kombisystem. Förklaringen ligger främst i vedeldningen i Sverige som ofta kombineras med ett ackumulatorsystem. Här finns alltså ett stort antal kombisystem där man haft ett ekonomiskt gynnsamt läge för att komplettera med solvärme. Det har helt enkelt räckt med en solfångare, en styrning och lite rör. Att många vedeldare attraherats av utsikten att slippa elda under sommarhalvåret har också bidragit till utvecklingen.

Vedeldning är den enda av de ”kompletterande” energiformerna nämnda ovan som har ett odiskutabelt behov av en lagringsvolym, ett behov som alltså sammanfaller med solvärmens. Övriga, utom möjligen pellets, har inget eller mycket lite att vinna på en ordentlig lagringsvolym genom att lagring alltid medför energiförluster. För en pelletsutrustning går det inte att ge ett generellt svar, men för att lagring skall vara en vinst (miljö- och/eller energimässigt) vid pelletseldning krävs en välisolerad tank och att styrningen av pannan mot tanken är väl genomtänkt. En pelletsbrännare som klarar att gå med låg belastning med bibehållet låga utsläppsvärden och förluster är (om den existerar) tveksam att elda mot en ackumulatortank. Annars är ett komplett system baserat på solvärme, pellets och möjligen också el ett miljömässigt intressant uppvärmningsalternativ för småhus. Detta har varit en av utgångspunkterna då de system som ingått i den här testen specificerades.

Med testet och de kompletterande simuleringar som gjorts visas potentialen för dessa system baserade på 100 % förnyelsebar energi. Samtidigt visar resultaten på vad som är rimligt att förvänta sig från solvärmens. I närheten av full täckning kommer man aldrig med dessa system. Solvärmens gör det möjligt att stänga av pelletspannan under större delen av sommarhalvåret och den bidrar även till husets uppvärmning vår och höst. Beroende på hur mycket energi husen i undersökningen gör åt till uppvärmning och varmvatten kommer solvärmens att kunna ge en besparing på mellan tjugofem och fyrtio procent.

En annan aspekt på undersökningen har rört jämförelsen mellan plan solfångare och vakuumsolfångare. Uppgifter om vakuumsolfångarens överlägsna effektivitet - upp till tre gånger bättre och mer - förekommer ofta och tydliga fakta har tidigare saknats. Även andra aspekter än de rent effektivitetsmässiga är ofta föremål för diskussioner och har därför utvärderats här.

1.2 Beskrivning av provade system

De provade systemen var identiska i alla avseenden utom för solfångarna som i system 1 består av en vakuumrörsolfångare och i system 2 av en plan enkelglasad solfångare.

Hjärtat i systemet är en kombitank på 1000 liter innehållande endast en solvärmeslinga i den undre halvan av tanken. Till tankarna kopplades sedan en vakuumrörsolfångare på 9,0 m² och en plan solfångare på 12,22 m². Dessa var monterade i 45° lutning i rak sydlig riktning. Tillskottsvärmen sköttes av en simulerad pelletspanna på cirka 15 kW som endast värmden den övre delen av kombitanken.

För varmvattenberedningen används en tappvattenautomat med flödesreglering av tappvattentemperaturen. Styrningen till tappvattenautomaten sköter även styrningen av solvärmeslingan. Radiatorlasten är ett normalt 55/45°C-system med en dimensionerande effekt på 9 kW vid -18°C utomhustemperatur. Lasten under uppvärmningssäsongen styrs i relation till den aktuellt uppmätta utetemperaturen.

Det totala uppvärmningsbehovet var för mätåret cirka 22 000 kWh och tappvattenlasten cirka 4 300 kWh.

1.3 Projektbeskrivning

Beställaren Konsumentverket har tillsammans med SP och berörda leverantörer av solfångare, tankar och tappvattenautomat specificerat innehållet i provuppställningen till att omfatta två system för villauppvärmning med pelletspanna och solvärme.

Systemen monterades sida vid sida på SPs provhus och kördes kontinuerligt under ett års tid. Båda systemen belastades med lika stor tappvatten- och värmelast. Provningsens syfte har inte varit att jämföra olika fabrikat. I stället har ett antal olika frågeställningar belysts. Bland dessa kan nämnas: Vilka täckningsgrader uppnås i praktiken för dessa system? Hur fungerar vakuumrörsolfångare i jämförelse med plana solfångare i ett kombisystem och i en solvärmearläggning generellt? Vad innebär eventuella skillnader mellan solfångarna för användningen i olika typer av system? Vilken potential till förbättringar finns i systemen?

Mätningarna följs också upp med en simuleringsstudie där ytterligare frågeställningar belyses, t ex: Hur påverkas de olika solfångartypernas energiutbyten och systemens täckningsgrader av olika dimensionering av solfångararean? Hur påverkas de olika solfångartypernas energiutbyten och systemens täckningsgrader av olika värme- och tappvarmvattenlaster?

1.4 Resultat

Rapporten utgår från resultaten av ett års mätningar på de två solvärmesystemen. Genom kompletterande mätningar på solfångare och tank har en simuleringsmodell för de två systemen byggts upp och sedan verifierats mot systemmätdata. Modellen har därefter använts för att simulera ett års drift av systemen i en serie olika driftfall. Simuleringsresultaten har använts för att generalisera slutsatserna av de ursprungliga systemmätningarna.

Mätningarna som redovisas mer i detalj i kapitel 4 och i bilaga 2 visade att skillnaderna mellan de två systemen över året som helhet är mycket små. Det innebär att vakuumrören vid de förutsättningar som gällt för mätningen varit ungefär 50

% effektivare än den plana solfångaren, räknat per kvadratmeter. Utbytet för vakuumsolfångaren (tillfört till tank) var 434 kWh/ (m²·år) jämfört med den plana solfångarens 294 kWh/ (m²·år). Genom att dimensioneringen av solfångarna gjorts i förhållandet 1,35:1, d v s den plana solfångaren hade 35 % större yta än vakuumsolfångaren, har solvärmeutbytet på årsbasis för de två systemen varit i stort sett lika. Under perioden höst- vinter har mätningarna mot förväntan visat att den plana solfångaren gett lika mycket som vakuumsolfångaren. Det innebär alltså att Vakuumsolfångaren under dessa perioder varit ca 35 % effektivare än den plana solfångaren per m². Detta förklaras av att dag, frost och snö ligger kvar längre på vakuumsolfångaren genom att den är så välisolerad.

Årsutbytet i form av en täckningsgrad för solvärme var för de två systemen ca 11 %. Instrålningen mot solfångarplanet uppgick under mätåret till 984 kWh/m² att jämföra med 1062 kWh/m² för normalåret Stockholm –86 som simuleringar och energideklarationer för solfångare baseras på.

Simuleringarna gav till att börja med ett normalårskorrigerat värde på solfångar- och systemutbyten, d v s resultat för de provade systemen om de körts med samma varmvattenlast, men med värmelast och solinstrålning svarande mot Stockholm –86. Detta påverkar inte jämförelsen plan/vakuumsolfångare, men resulterar i ökade solfångarutbyten vilka dock till stor del ”äts upp” av ökade tankförluster. Simuleringarna av de olika driftfallen visade framförallt hur solvärmens täckningsgrad ökar då man förflyttar systemen till successivt mer välisolerade hus och när tappvarmvattenlasten ändras. Variationer av solfångareareorna gav ett generaliserat underlag för dimensionering av solfångarytan. Simuleringsresultaten och bakgrunden till dessa redovisas mer i detalj i kapitel 4 och i bilaga 8.

Utöver mätningar och simuleringar redovisas även en generell jämförelse mellan vakuumsolfångare och plan solfångare i kapitel 5. Enligt denna bedöms de två solfångartyperna vara likvärdiga i fråga om installationstid och den plana solfångaren mer flexibel genom att den kan integreras i tak- eller väggbeklädning. Observationer av de två systemen har visat att snö och frost har en förmåga att bli liggande på vakuumsolfångaren vars effektivitet därmed reduceras markant. Detta bör man ta hänsyn till om man installerar en vakuumsolfångare i snörika delar av landet.

1.5 Slutsatser och rekommendationer

Vakuumsolfångare har i det provade systemet visat sig vara effektivare än plana solfångare, men inte mer än vad energideklarationen för solfångare antyder. Vakuumsolfångaren var ca 50 % bättre och skillnaden blir större ju högre temperaturer solfångaren får arbeta med. Det gäller t ex i ett ”sämre” system eller ett mer överdimensionerat system än detta. I ett sparsamt dimensionerat kombisystemsystem med bra temperaturskiktning och låga returtemperaturer, eller i ett bra tappvarmvattensystem blir skillnaden mindre. Detaljerade mätningar på solfångarna har visat på en något bättre karakteristik för vakuumsolfångaren vid vinklat infall, medan den plana solfångaren har en högre verkningsgrad för diffust ljus. Den helt övervägande orsaken till rörens högre totaleffektivitet är de extremt låga värmeförlusterna som gör att de kan leverera värme vid lägre instrålningsnivåer för en given temperaturnivå eller vid högre temperaturnivåer för en given instrålningsnivå.

Båda systemen har efter injusteringar fungerat klanderfritt. Vakuumsolfångarens utbyte har under några dagar reducerats genom att frost och snö legat kvar betydligt längre än på den plana solfångaren. Inverkan totalt under mätåret bedöms som mycket liten, men i snö- eller frostrika regioner kan det ha avgörande betydelse. Väggmontage framstår då som särskilt fördelaktigt.

Täckningsgraden i de provade systemen blir 11 eller 15 %, beroende på hur man definierar uppvärmningsbehovet. I ett mycket välisolerat hus med en fjärdedel av provhusets uppvärmningsbehov blir täckningsgraden ca 30 %. Motsvarande siffror för besparingen blir 25-40 %.

En stor fördel med det solvärmda kombisystemet är bekvämligheten. Under 4-6 månader av året blir behovet av tillsatsenergi nästan obefintligt och pelletspannan kan i princip läggas i malpåse. Vill man ändå vara säker på att alltid ha varmvatten kan det vara en bra idé att komplettera tanken med en elpatron på 3 kW. En elpatron ger under sommar-månaderna ett effektivare system än om pelletspannan ska svara för spetsvärmen. Dels därför att pelletspannan då kan stängas av helt och hållet, dels därför att man kan hålla en lägre temperatur i tanken. Resultatet blir lägre värmeförluster och högre verkningsgrad för solfångaren.

Att köra en pelletspanna mot en ackumulatortank är ingen självklarhet. Med en utformning som i testet och om pannan har eltändning finns goda förutsättningar för att pannan ska få bra driftförhållanden. I ett mindre genomtänkt system kan pannan mycket väl komma att gå sämre kopplad till en tank än om den arbetar mot husets värmesystem direkt. I sämsta fall kan solvärmebidraget helt ätas upp av ökade förluster från pannan.

2 Generellt om kombisystem

Även om solvärmda kombisystem är vanliga bland dem som arbetar med solvärmesystem till småhus är tekniken allmänt sett inte särskilt känd. Det finns därför anledning att här ge en kort introduktion för att belysa några frågeställningar som kan vara aktuella om man funderar på att välja ett sådant här system till sitt hus. Exempelvis: Passar solvärme in i mitt uppvärmningssystem? Har mitt hus bra förutsättningar för att utnyttja solvärme? Hur ska systemet utformas och dimensioneras för att det ska fungera bra?

2.1 Vad är ett effektivt system?

Hur effektivt ett system är kan bedömas genom att väga samman en rad olika aspekter. För ett kombisystem baserat på pellets och solvärme kan man sätta upp följande effektivitetskriterier:

- Systemet ska ha en effektiv panna/brännare med en bra styrning för att minimera miljöpåverkan
- Systemet ska ha en välisolerad tank
- Systemet skall utnyttja solvärmens så effektivt som möjligt

Vikten av de två första punkterna kan inte nog poängteras. Att lägga några extra tusenlappar på en effektiv styrning till pannan är generellt sett bättre än att lägga dem på en lite effektivare solfångare, eller ytterligare några kvadratmeter.

Den sista punkten kan antingen betyda att man (givet en viss solfångarmodell) vill ha så låg kostnad som möjligt för den producerade solvärmens eller att man vill ersätta så mycket som möjligt av den köpta energin (i det här fallet pellets) med solvärme. Går man strikt på det första kriteriet installerar man en förhållandevis liten solfångarearea. Då blir energiutbytet per kvadratmeter solfångare högt, men totalt för hela solfångaren inte så högt. Går man däremot strikt på det andra väljer man en förhållandevis stor area vilket ger ett lägre utbyte per kvadratmeter solfångare men ett högre för hela solfångaren.

Andra aspekter som talar för en generösare dimensionering är t ex mindre miljöpåverkan genom att tillsatsenergin används mindre. Har man en ineffektiv panna som står för tillsatsvärmens kan besparingen som solfångaren ger bli avsevärt mycket större än vad den teoretiskt ger. Då bör man å andra sidan kanske överväga att byta ut pannan först. Bättre komfort om man eldar med ved genom att man inte behöver elda lika ofta är ytterligare ett argument för generösare dimensionering. Det är med andra ord inte alls självklart vad ett effektivt solvärmeutnyttjande innebär. Som konsument får man själv avgöra vad man vill prioritera. Mer om dimensionering i avsnitt 3.

2.2 Grundläggande förutsättningar för ett effektivt solvärmeutnyttjande

Med föregående avsnitts diskussion om effektivitetskriterier som bakgrund följer här något om hur brukaren, systemutformningen och husets förutsättningar påverkar solvärmeutnyttjandet.

2.2.1 Brukaren

Dimensioneringen av solfångararean bör som regel utgå från den tappvarmvattenförbrukning man har i huset. En mycket liten förbrukning (t ex ett pensionärspar) kombinerat med en stor solfångararea ger visserligen en hög täckning under sommarhalvåret och även för året som helhet om huset har litet uppvärmningsbehov. Utbytet per kvadratmeter solfångare blir dock mycket lågt och risken är stor för kokning i solfångaren under sommarperioden. En stor tappvarmvattenförbrukning i hushållet ger på alla sätt bättre förutsättningar för ett kombisystem.

En god kompromiss i fallet med låg förbrukning kan vara att dimensionera sparsamt, men att samtidigt planera för en senare komplettering med fler solfångare om förbrukningen ökar.

Eftersom den övervägande delen av solenergin utnyttjas under sommarhalvåret och i synnerhet under perioden maj till augusti kommer ”sommarvanorna” i familjen att få stor inverkan på utbytet. Reser man ofta bort och i övrigt använder mindre varmvatten än vanligt under sommaren? Är man nästan alltid hemma och gör åt mer än vanligt under sommaren?

2.2.2 Systemet

För systemet som helhet gäller att det ska vara enkelt att använda och instrumenterat så att det går att få en uppfattning om ifall systemet arbetar som det ska. I denna studie har vi valt att kombinera solvärmen med en pelletspanna, men även ved, flis, el eller olja går naturligtvis bra att kombinera med solvärme. Det finns mycket tänkt och skrivet om hur man skall utforma ett kombisystem för att få så högt solvärmeutnyttjande som möjligt [3, 4, 6]. Här ges en mycket kort sammanfattning av några viktigare grundregler.

För tanken

- Solfångarens effektivitet är *högre* ju *lägre* temperatur den arbetar med. Det innebär att tanken som laddas av solfångaren ska vara utformad så att god temperaturskiktning upprätthålls.
- Låga returtemperaturer från radiatorkretsen till tanken är önskvärt.
- En tappvattenautomat ger bättre temperaturskiktning i tanken och lägre temperaturer i solfångarkretsen än en genomströmnings- eller förrådsberedare.
- En genomströmningsberedare ska, om den ingår i systemet, utformas som en för- och en eftervärmningsslinga. Förvärmningen placeras lågt i tanken, eftervärmningen högt.
- Om en elpatron monteras i tanken ska den placeras högt upp i tanken. Strax under eftervärmningsslingan om en sådan finns med. En så låg termostatinställning som möjligt bör eftersträvas.
- En förrådsberedare ska, om den ingår i systemet, vara hög och smal för att gynna skiktningen i tanken.
- Tanken skall vara välisolerad. Anslutningar på tanken topp ska om möjligt undvikas, expansionskärl ansluts långt ner på tanken.

Erfarenheter från en fältstudie utförd av SP [5] visar att ackumulatortankar som levereras som ”solförberedda” ofta inte är särskilt väl genomtänkta med hänsyn till vad som sagts ovan.

För solfångaren

- Ett kombisystem kräver en effektiv solfångare för att kunna bidra ordentligt under vår och höst. Ju större andel av den totala lasten man vill täcka, desto viktigare blir det att ha en effektiv solfångare. Det innebär också att ju sämre systemet i övrigt är, desto viktigare blir det med en effektiv solfångare.
- Styrningen av solfångaren sköts nästan alltid av temperaturgivare i solfångaren och i tanken. Det är viktigt att dessa givare placeras rätt och att de isoleras väl.

För en panna

- Oavsett om det är en ved- eller pelletspanna bör den ha ett laddningskoppel eller brännarstyrning som gör att pannan snabbt kommer upp i temperatur efter start och att laddningen av tanken sker med hög och jämn temperatur.
- En vedpanna behöver en stor ackumulatorvolym men en pelletspanna bör endast ladda en mindre del av tanken. Dels för att hålla nere värmeförlusterna, dels för att ge solvärmens möjlighet att arbeta.
- En pelletspanna som går mot en ackumulatortank ska ha eltändning för att minska utsläpp och förluster vid stillestånd.

2.2.3 Huset och dess omgivning

Ett kombisystem kommer bäst till sin rätt i ett välisolerat hus. Har man ett otätt och dåligt isolerat hus är det en bättre investering att tilläggsisolera än att installera ett solvärt kombisystem. Först därefter kan man fundera på solvärmens för att bidra till husets uppvärmning.

Solfångarens lutning och orientering inverkar naturligtvis på energiutbytet. Rör man sig inom vissa gränser är dock inverkan mindre än vad man skulle kunna tro. Optimal placering om man har ett kombisystem brukar sägas vara rakt emot söder och i ca 60 graders lutning. Oftast vill man dock att solfångaren skall ligga infälld i taket och då är man ju hänvisad till den lutning och orientering taket har. Mark- eller väggplacering kan vara andra alternativ.

Tabellen nedan ger några riktvärden för hur mycket extra solfångararea man behöver för att få samma utbyte som vid 45° rakt i söder om man har en annan placering. En solfångare i lutning 60° riktad mot väster behöver alltså vara ca 30% större än en i lutning 45° riktad rakt i söder.

Tabell 1.

Orientering	Söder	Sydost/sydväst	Väster/öster
Lutning 15°	1,25	1,39	1,67
Lutning 30°	1,06	1,20	1,45
Lutning 45°	1,00	1,12	1,35
Lutning 60°	0,97	1,11	1,33
Lutning 90°	1,04	1,16	1,41

Stora träd eller byggnader som skuggar solfångaren måste självklart undvikas. Det är lätt att glömma att solhöjden minskar radikalt vår och höst. Om man bor i en snörik del av landet och vill ha en vakuumrörsolfångare bör man fundera över placeringen med tanke på att snö och frost gärna ligger kvar om lutningen inte är väldigt brant.

3 Dimensionering och utformning av solvärmda kombisystem

3.1 Generell dimensionering

Solfångararea vs lagringsvolym

Generellt kan man utgå från dessa 2 tumregler för solfångararean kontra lagringsvolym när man skall dimensionera sin kombianläggning

- 2-3 m² plan solfångare eller 1,5-2,5 m² vakuumsolfångare per hushållsmedlem
- 50-100 liter lagringsvolym per m² plan solfångare och 75-125 liter per m² vakuumsolfångare

Dessa tumregler ger en årlig täckningsgrad på 10-35 % av energibehovet för uppvärmning och varmvatten. Enligt detta utgör tappvarmvattenbehovet grunden för dimensioneringen med en liten överkapacitet för att kunna ta en del av uppvärmningsbehovet. Tumreglerna förutsätter följande villkor:

- Att effektiva, selektiva solfångare används (utgångspunkten är plana solfångare)
- Att lutningen är mellan 45° och 70° mot horisontalplanet och avvikelser från söder inte överstiger 20°.
- Den dagliga vattenanvändningen är cirka 65 liter per person (normalförbrukning), uppvärmt från 10 till 45°C, motsvarande 1000 kWh per person och år.
- Avståndet från solfångaren till lagertanken är högst 5 meter.
- Tillskottsvärme värmer max halva tanken om den värmer samma tank som solfångaren och är inställd på max 60-65°C.
- Lagret är välisolerat och installationen väl utförd.

Lagringsvolym för pelletspanna

En pelletspanna med bra effektreglering klarar sig med att volymen på husets radiator-system tar upp svängningarna. Normalt används därför endast en varmvattenberedare som lagring av värmen från en pelletspanna. Det är dock ingen nackdel för pelletspannan att få några hundra liter extra att jobba emot. Den ökade volymen ger mindre utsläpp och bättre driftförhållanden för pannan, dock kanske till priset av lite högre värmeförluster. I kombisystem gäller det även att inte förstöra driftförutsättningarna för solvärmens. Detta undviks genom att endast värma den översta delen av tanken samt hålla en så låg temperatur som möjligt. Temperaturen måste dock vara tillräckligt hög för att undvika kondensation i pannan.

Lagringsvolym för varmvattenberedning

Enligt Boverkets byggregler skall en vattenberedare för en familj klara två tappningar a´ 4,9 kWh med en lägsta temperatur på 50°C. Detta betyder cirka 200 liter varmvatten uppvärmt från 10 till 50°C. Beroende på om beredningen i ackumulatortanken sker med förrådsberedare, tappvattenautomat eller slinga kommer kraven på uppvärmd tankvolym att variera. Det går därför inte att ange en enkel regel för dimensioneringen.

3.2 Provnings dimensionerande laster

Radiatorlast

Radiatorlasten för systemet motsvarar ett normalt äldre hus med ett värmebehov på 21.000 kWh per år. Dimensionerande värmelast var 9 kW vid -18°C och dimensionerande fram- och returtemperatur på $55/45^{\circ}\text{C}$. Värmelasten styrs via utomhusgivare.

Tappvarmvattenlast

Belastningen för tappvarmvattnet motsvarar ett förbrukningsmönster motsvarande 4 personer enligt SS 2095, cirka 11.2 kWh per dag. Flödet i tappningarna var på 720 l/h, varmvattentemperaturen konstant 50°C och med tappmönstret enligt följande:

Klockan	07.00	4.3 kWh
	12.00	2.3 kWh
	16.00	2.3 kWh
	19.00	2.3 kWh

Under perioden 4 till 29 juli ökades tappvarmvattenlasten med 50 % till totalt 16.8 kWh/dygn.

3.3 Utformning av provade system

Pelletspanna

Den simulerade pelletspannan motsvarar en pelletsbrännare monterad i en oljepanna. Pannan har en fast effekt på 15 kW och startas motsvarande eltändning när temperaturgivaren i tankens övre del ger en lägre temperatur än 60°C . Pannan styrs då med kontinuerlig effekt på 15 kW med framledningstemperaturen 77°C . Vid uppstarten, ”uppeldningen” av pannan styrdes laddning linjärt från 0 till 15 kW under 5 minuter, effekten reglerades med flödesstyrning. Omvänt gällde för ”nedeldningen”, vilken påbörjades när returtemperaturen från tanken till pannan uppnådde 60°C .

Solfångare

Solfångarna för de 2 systemen placerades på taket till SPs ”blå huset”. Taket har en lutning på 45° i rakt sydlig riktning.

Den plana enkelglasade solfångaren

Med utgångspunkt från tumreglerna valdes en solfångare med en area på 12.22 m^2 . Solfångaren har beteckningen Aquasol Big och levererades av Arnes Plåtslageri i Örebro. Den monterades infälld i taket, direkt på stroläkten och klädd med plåt längs sidorna. Enligt SPs lista är solfångarutbytet $408\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ år})$ vid medeltemperaturen 50°C i solfångaren. Detta ger för 12.22 m^2 cirka $4.990\text{ kWh}/\text{år}$. Mer om den plana solfångarens karakteristik finns i bilaga 6, mätning av solfångarna. Flödet för solfångarkretsen var cirka 310 l/h

Vakuumsolfångaren

För systemet med vakuumsolfångare valdes en solfångare med beteckningen Mazdon 30/TMA-400. Vakuumsolfångarens area har uppmätts till 9,0 m². Den levererades av Thermoenergi i Örnsköldsvik. Solfångaren monterades liggande utanpå taket. Enligt SPs lista är solfångarutbytet 640 kWh/m² vid medeltemperaturen 50°C i solfångaren. Detta ger för 9,0 m² cirka 5760 kWh. Mer om vakuumsolfångarens karakteristik finns i bilaga 6, mätning av solfångarna. Flödet för solfångarkretsen var cirka 440 l/h.

Styrning av solfångarkretsen

Solfångarkretsarna styr av samma enhet som styr tappvattenautomaterna. Laddningen från solfångarna startas då temperaturen i solfångaren överstiger den undre tankgivaren med 6°C. Laddningen stoppas när skillnaden understiger 2°C. För att förhindra kokning i ackumulatortanken stoppas solvärmeladdningen när den övre temperaturgivaren i tanken visar mer än 95°C samtidigt som den undre tankgivaren är över 85°C, se figur i bilaga 3.

Tappvattenautomat

För beredning av tappvarmvattnet valdes en tappvattenautomat av märket Solvis 6.08 WWS 50. Tappvattenautomaten har den fördelen att den ger en låg returtemperatur till tanken. Den låga returtemperaturen är till stor fördel för solvärmern. I en tappvattenautomat är även risken för legionella väldigt liten.

Tappvattenautomaten har tidigare provats av SERC i Borlänge med goda resultat [7]. Vid provning i ett så kallat sexdagarstest gav ett system med tappvattenautomat en betydligt högre täckningsgrad för solfångaren jämfört med ett referenssystem.

Akkumulatortank

Till de två systemen valdes en ackumulatortank på 1000 liter av typen BoRö TIP 1000/Sol15. 1000 liter ger en lagervolym på 82 respektive 111 liter per m² solfångare för systemen med plan- respektive vakuumsolfångare.

Anslutningarna för pellets pannan placeras så att den tillåts värma cirka 200 liter överst i tanken. Detta ger en lagom ”arbetsvolym” för pannan samt en tillräcklig mängd uppvärmt vatten för varmvattenberedningen.

Solfångarkretsens anslutningar placeras på cirka halva tankhöjden samt i botten. Anslutningarna för tappvattenautomaten placeras på maxhöjd och vid botten och anslutningarna för radiatorkretsen placeras på maxhöjd och vid cirka 0,3 relativt tankens höjd. Tankens alla anslutningar med dess höjder finns beskriven i bilaga 1, teknisk beskrivning.

4 Resultat från mätningar och simuleringar

För att generalisera resultaten från mätningarna av de två systemen har en systemmodell tagits fram, se även bilaga 8. Till grund för modellen ligger detaljerade mätningar på solfångare och tank. Baserat på resultat från årssimuleringar har ett antal nyckeltal beräknats. Simulering av kombisystemen har gjorts med fyra olika laster för uppvärmningen samt varmvattenberedningen. Simuleringar har även gjorts för en ökning respektive minskning av solfångarnas areor. Slutligen har en simulering gjorts för perioden maj t o m augusti med enbart den tappvattenlast som användes under SPs provningar av soluppvärmda tappvattensystem 2000 och 2001.

4.1 Laster och solfångareareor för simuleringar

Följande laster har använt som indata för simuleringarna. För samtliga simuleringar har Stockholm 1986 använts för väderdata (se bilaga 5 för en jämförelse med mätåret). I driftfall 0 har uppvärmningssäsongens längd liksom vid mätningen varit given i förväg (15/9-15/5). I övriga driftsfall har dess längd styrts av utomhustemperaturen, se även bilaga 8.

Tabell 2. Nominella laster och solfångareareor för simuleringarna.

Driftfall	Radiatorlast (kWh)	Tappvatten- last (kWh)	Total last exkl. förluster (kWh)	Solfångarnas areor (m ²)
0. Enligt mätning ¹⁾ , med uppvärmning sept.-maj	22 690	4 090	26 780	9,0 resp. 12,22
1. Enligt mätning ¹⁾ , men med uppvärm- ning vid behov	22 040	4 090	26 130	9,0 resp. 12,22
2. System med mindre solfångarearea, totalt energibehov på cirka 15 000 kWh	10 820	4 090	14 910	6,0 resp. 8,1
3. Totalt energibehov på cirka 15 000 kWh	10 820	4 090	14 910	9,0 resp. 12,22
4. System med större solfångarearea, hus som i fall 2.	10 820	4 090	14 910	12,0 resp. 16,3
5. Totalt energibehov på cirka 8 000 kWh	4 140	4 090	8 230	9,0 resp. 12,22
6. 50 % högre tapp- vattenlast, hus som i fall 3.	10 820	6 130	16 950	9,0 resp. 12,22
7. Sommarperiod ²⁾ 1 maj – 31 aug.	--	900	900	9,0 resp. 12,22

¹⁾ Exklusive den förhöjda lasten under juli månad

²⁾ I driftsfall 7 har använts samma last som för de solvärmda tappvattensystem som tidigare har provats för Konsumentverket, d.v.s. 7.32 kWh/dag

I bilaga 5 visas ett årsdiagram från simuleringen baserat på dessa laster, detta diagram kan jämföras med de förväntade utbyten per månad som visas i diagrammet under 5.1.1.

4.2 Resultat

Resultaten från återsimuleringar av de provade systemen (driftfall 0) visar en god överensstämmelse med mätresultaten. Tabell 3 och 4 redogör för de viktigaste delresultaten från mätning och simulering. Ur dessa kan även andra nyckeltal beräknas t.ex. solfångarens utbyte per kvadratmeter. Simuleringarna visar att skillnaderna mellan systemen ökar något till vakuumsrörens fördel med minskande belastning (och ökande systemtemperaturer), men i övrigt står sig jämförelsen från mätningen. Skillnaderna ökar märkbart mer på solfångarnas bruttoutbyte än på tillfört till tank eftersom en stor del av ökningen äts upp genom att även rörförlusterna ökar för vakuumsrörssystemet. I simuleringarna har ingen hänsyn tagits till eventuell snö- eller frosttäckning av solfångarna.

Solvärmen täckningsgrad beräknas som:

$$TG = \frac{\text{radiatorlast} + \text{tappvattenlast} - \text{tillförd energi från pelletspanna}}{\text{radiatorlast} + \text{tappvattenlast}}$$

Detta är ett mått på nyttiggjord solenergi. Vi har här valt att behandla tillförd energi från pellets som elenergi, dvs utan att inkludera de omvandlingsförluster som skulle uppstå i en pelletspanna. Man bör också vara medveten om att solvärmen enligt denna definition belastas med systemets samtliga värmeförluster. I praktiken genererar naturligtvis både solvärmen och pannan förluster i tanken och solvärmen täcker därmed en större del av lasten än vad som framgår här. Detta är dock det vedertagna sättet att beräkna täckningsgrad.

Ett mer användbart mått på solvärmens effektivitet ger besparingsgraden (BG) vilken beräknas som:

$$BG = 1 - \frac{\text{Tillförd köpt energi i det testade systemet}}{\text{Tillförd köpt energi i referenssystemet utan solvärme}}$$

En jämförelse mellan driftfall 1 (högt uppvärmningsbehov) och 5 (lågt uppvärmningsbehov) visar hur solvärmens täckningsgrad ökar från ca 15 % till ca 30 % medan solfångarens bidrag till tanken är i stort sett oförändrat. Besparingen i kronor räknat blir inte oväntat störst i driftfall 1, men skillnaden mot fall 6 med bara halva uppvärmningsbehovet och en större varmvattenlast är inte så stor.

Driftfall 7 har enbart tagits med för att jämföra med de rena tappvarmvattensystem som finns på den svenska marknaden. Resultatet visar att de två provade systemen ligger i nivå med de bästa tappvattensystemen, vilket kanske inte är så märkligt med tanke på att de har i stort sett fördubblad solfångararea jämfört med dessa. Skillnaden systemen emellan är sannolikt mindre än vad beräkningarna visar, vilket bekräftas i valideringen av systemmodellen i bilaga 8. Så värst mycket högre än de 90- 95 % täckning systemen har för perioden går dock inte att nå utan ett mindre säsongslager.

4.2.1 Energiutbyten

I tabell 3 och 4 nedan redovisas de primära resultaten från simuleringar och mätningar. Den främsta orsaken till skillnaderna i solvärmebidrag är att klimatdata Stockholm 86 har ca 8 % högre instrålning än mätåret 2001. Merparten av detta överskott har resulterat i ökade värmeförluster från tanken.

Tabell 3. Resultat från simuleringar av de provade systemen samt varianter på dessa.

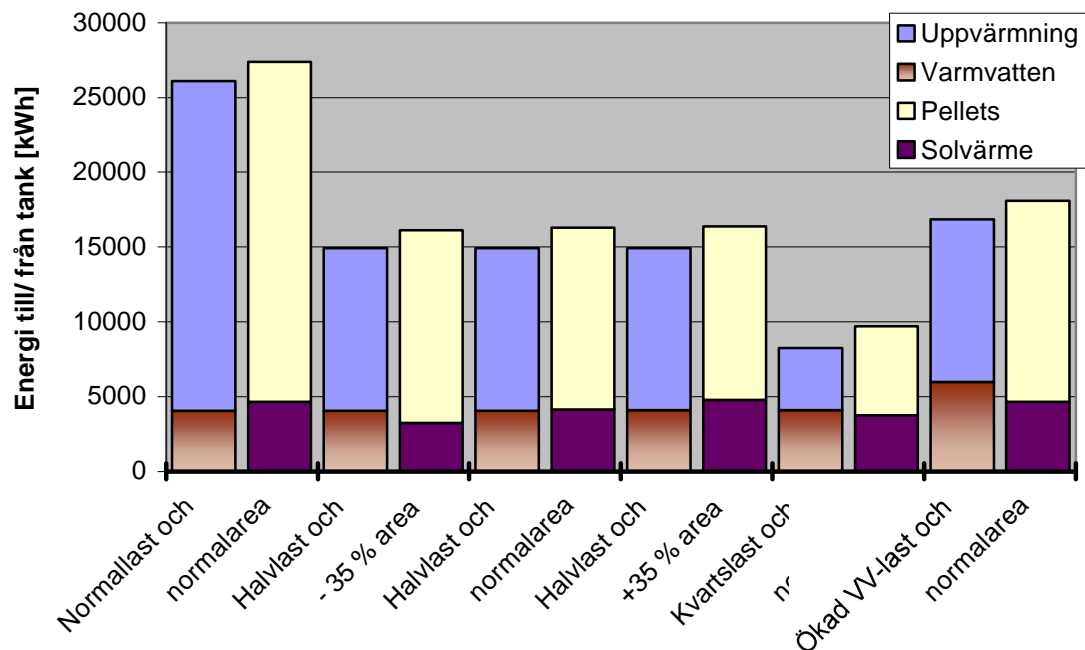
System	Driftfall	Solvärmens täckningsgrad	Pellets pannans bidrag till tanken under perioden	Solfångarens bidrag till tanken under perioden	Förluster från tanken
	(Totallast)	(%)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
System 1, vakuumsol	0. (26 790 kWh)	11.6	23690	4710	1610
	1. (26 130 kWh)	15	22320	5190	1370
	2. 6,0 m ² (14 930 kWh)	15	12710	3490	1270
	3. 9 m ² (14 940 kWh)	22	11670	4800	1520
	4. 12 m ² (14 930 kWh)	28	10830	5720	1610
	5. (8250 kWh)	33	5510	4420	1670
	6. (16 850 kWh)	22	13070	5170	1380
	7. (880 kWh)	98	22	1840	970
System 2, plan solf.	0. (26 780 kWh)	10.9	23850	4440	1510
	1. (26 120 kWh)	12.9	22750	4650	1270
	2. 8,1 m ² (14 930 kWh)	13.6	12890	3250	1210
	3. 12,2 m ² (14 930 kWh)	18.7	12140	4156	1370
	4. 16,3 m ² (14 930 kWh)	22.3	11600	4800	1470
	5. (8250 kWh)	28	5940	3770	1460
	6. (16 850 kWh)	20	13470	4620	1250
	7. (880 kWh)	88.4	102	1600	820

Eftersom tankförlusterna i mätningarna har beräknats som skillnaden mellan tillförd till- och uttaget från tankarna är den siffran mycket osäker. Detsamma gäller för täckningsgraden där ju systemens rangordning bytt plats mellan mätning och simulering av driftfall 0. Skillnaden på en knapp procent är alltså inte signifikant. Ett fel i mätningen av pannans effekt på 1% skulle resultera i ett fel av samma storleksordning (absolut) i solvärmens täckningsgrad.

Tabell 4. Resultat från mätningar under ett år.

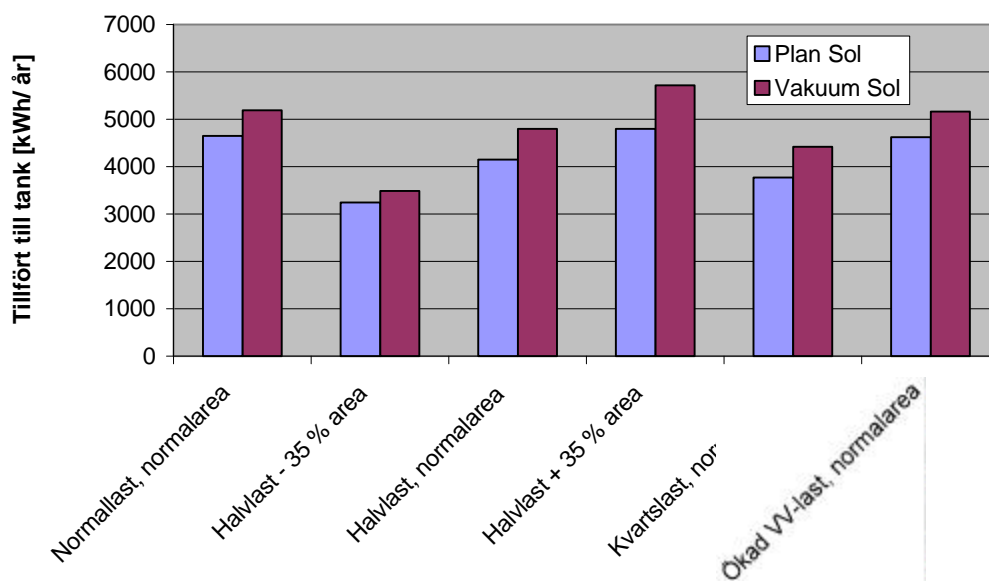
System	Driftfall (Totallast)	Solvärmens täckningsgrad	Pellets pannans bidrag till tanken under perioden	Solfångarens bidrag till tanken under perioden	Förluster från tanken
		(%)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
System 1, vakuumsrör	0. (25 970 kWh)	10.8	23160	3903	1094
System 2, plan solf.	0. (25 850 kWh)	11.6	22856	3589	599

I figur 1 nedan visas förhållandena mellan uttagen och tillförd energi till tanken för de simulerade driftfallen av systemet med plan solfångare. Figuren kan även representera vakuumsrörssystemet eftersom skillnaderna är så små, se figur 2. Tillförd solvärme svarar alltså i stort sett mot energibehovet för varmvatten eller mot 15-35 % av tankens totala energibehov. Pannans verkningsgrad är alltså inte medräknad i dessa siffror. Se även tabell 2 för en tydligare definition av de olika driftfallen.



Figur 1. Last och tillförd energi till tank för de simulerade driftfallen. Plana solfångaren.

I figur två nedan visas mer i detalj hur tillförd solvärme till tank varierar mellan driftfallen för de två systemen. Figur tre åskådliggör på ett annat sätt förhållandena mellan tillförd och uttagen energi för systemet med ”halvlast” och 12 respektive 16 kvadratmeter vakuumsrör- och plan solfångare. Dessutom framgår tillgänglig instrålad solenergi mot en yta på tio kvadratmeter.

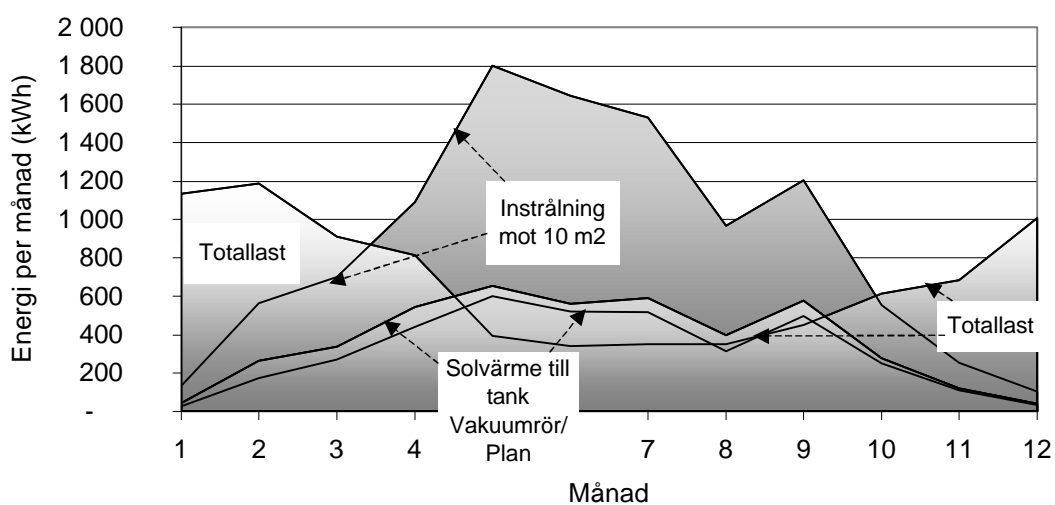


Figur 2. Tillförd solenergi till tanken för de olika driftfallen.

Här framgår att solvärmens i stort sett täcker hela lasten från mitten av april till mitten av september och att skillnaderna mellan de två solfångarna är mycket små. Under högsommarmånaderna är tillskottet från solfångarna nästan dubbelt så stort som behovet och tillgången i form av instrålad energi är mångfalt större. Under vintermånaderna är instrålad energi långt ifrån tillräcklig för att täcka behovet och solfångarnas bidrag till tanken är mycket blygsamt.

Kort sagt visar figuren på solvärmens dilemma och på vägen till huset som klarar sig utan pelletspanna eller annan spetslast. Genom att lagra sommarens överskott till vintern är problemet löst. Dit har vi dock inte kommit ännu.

Totallast och solbidrag för 8 252 kWh per år



Figur 3. Förhållande mellan tillgång på solenergi, systemets bidrag till tanken och last.

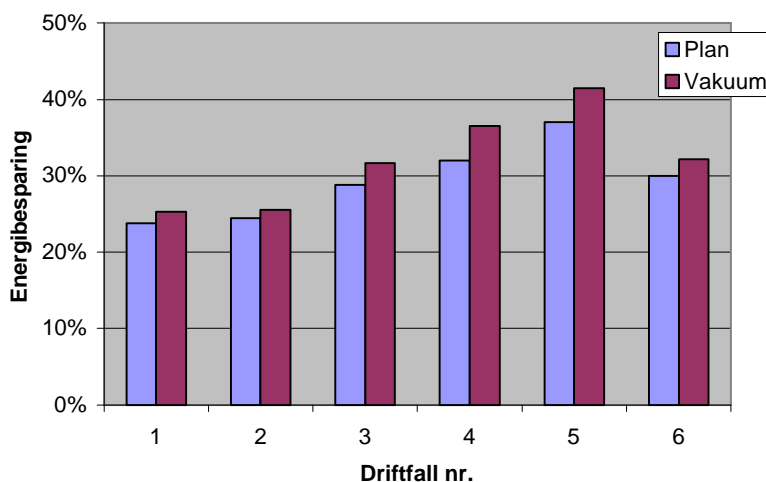
4.2.2 Besparing

Vilken besparing man gör genom att sätta in ett solvärmesystem i sitt hus beror på en lång rad olika faktorer. Förutom variationen med uppvärmnings- och varmvattenbehov samt solfångararea som simuleringarna har visat kommer tillsatsvärmens effektivitet att ha stor betydelse för besparingen. Ju större husets energiförbrukning är desto viktigare blir det att pannan arbetar med hög verkningsgrad. En ineffektiv panna kan i sämsta fall äta upp hela den besparing solvärmen kan ge. En panna som går riktigt dåligt under sommarhalvåret kan visserligen ge en mycket stor besparing under sommaren om man kompletterar med solvärme och då kan stänga av pannan. Sannolikt går dock inte pannan särskilt bra under resten av året heller varför ett klokt val i det läget bör vara att samtidigt byta panna och sätta in solvärme.

För att kunna beräkna besparingen man kan nå genom att installera ett kombisystem (i alt.3 även en ny panna) i sitt hus har tre olika alternativ ställts upp. Samtliga bygger på antagandet att en panna kopplas till den tank som solvärmen utnyttjar och att inkopplingen görs så att pannan går med få starter och stopp. Om en pelletspanna används mot en ackumulatortank måste den ha eltändning och inte underhållslåga för att kunna arbeta effektivt!

- Alt. 1: I huset finns redan en gammal panna (olja eller pellets) som kompletteras med solvärme och ackumulatortank. Genom att koppla pannan till en tank kan dess årsverkningsgrad höjas från 70 till 80 %. Pannans verkningsgrad innan komplettering antas ha varit 50 % under sommarperioden.
- Alt. 2: I huset finns redan en modern panna (olja eller pellets) som kompletteras med solvärme och ackumulatortank. Genom att koppla pannan till en tank kan dess årsverkningsgrad höjas från 80 till 88 %. Pannans verkningsgrad innan komplettering antas ha varit 60 % under sommarperioden.
- Alt.3: I huset finns redan en gammal panna (olja eller pellets) som kompletteras med solvärme, ackumulatortank och byts mot en modern pelletspanna. Genom investeringen kan pannans årsverkningsgrad höjas från 70 till 88 %. Pannans verkningsgrad innan komplettering antas ha varit 50 % under sommarperioden.

Besparingen baseras vidare på ett energipris på 0.6 kr/kWh. Ersätter man pellets blir besparingen något lägre, ersätter man olja blir den något högre. Siffrorna kan lätt räknas om till ett annat energipris.



Figur 4. Besparingar enligt alternativ 1, pannans verkningsgrad ökar från 70 till 80%.

Tabell 5. Exempel på besparingar som komplettering med solvärme och ackumulatortank kan ge. Förutsättningarna beskrivs ovan.

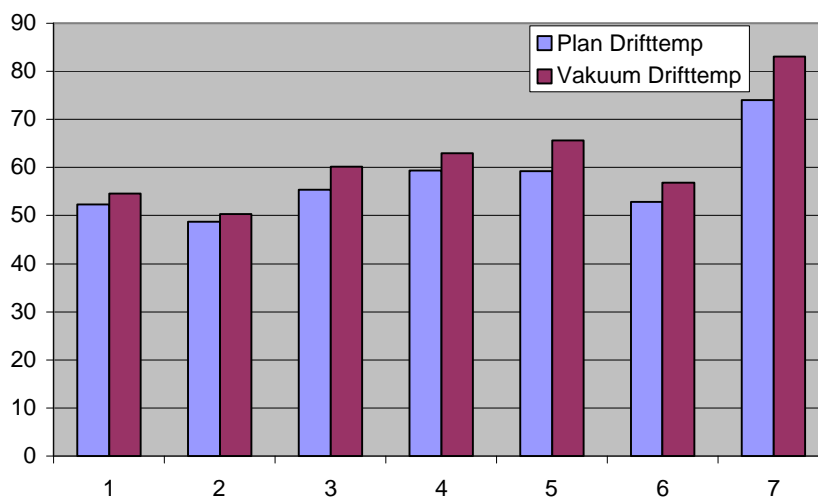
System	Driftfall (Totallast)	Solvärmesystemets besparingsgrad [%]			Besparing vid installation av solvärme + tank [kr / år]		
		"Alt. 1"	"Alt. 2"	"Alt. 3"	"Alt. 1"	"Alt. 2"	"Alt. 3"
System 1, vakuumrör	1. (26 130 kWh)	25	22	32	5600	4400	7200
	2. 6,0 m ² (14 930 kWh)	26	23	32	3300	2500	4100
	3. 9 m ² (14 940 kWh)	32	29	38	4100	3200	4800
	4. 12 m ² (14 930 kWh)	37	34	42	4700	3800	5400
	5. (8 250 kWh)	42	39	47	2900	2400	3300
	6. (16 850 kWh)	32	29	38	4600	3700	5500
System 2, plan solf.	1. (26 120 kWh)	24	21	31	5300	4100	6900
	2. 8,1 m ² (14 930 kWh)	24	21	31	3100	2400	4000
	3. 12,2 m ² (14 930 kWh)	29	26	35	3700	2900	4500
	4. 16,3 m ² (14 930 kWh)	32	29	38	4100	3300	4900
	5. (8 250 kWh)	37	35	43	2600	2100	3000
	6. (16 850 kWh)	30	27	36	4300	3400	5300

4.2.3 Driftstemperaturer

De energiviktade driftstemperaturerna för solfångarna i simuleringarna har under året varit enligt tabell 6. Då temperaturerna från mätning uppskattats från några få dagar är siffrorna från simuleringarna mer tillförlitliga. Värt att notera är den stora skillnaden mellan 2 och 3 jämfört med den lilla skillnaden mellan 3 och 4. I medeltal ligger systemen 5-10 grader över "normal" drifttemperatur i ett tappvattensystem, främst genom att systemen är överdimensionerade sommartid. Grovt förenklat kan man säga att solfångarna arbetar med 60-80 grader under sommarhalvåret och under resten av året med 30-40 grader. I fall 7 har varmvattenförbrukningen varit låg, ca 75 % av "normalförbrukningen" och driftsäsongen är begränsad till maj t.o.m. augusti. Solfångarna har arbetat med betydligt högre temperaturer (och lägre effektivitet) än i övriga driftfall.

Tabell 6. Medeldriftstemperaturer (energiviktade) för solfångarna från mätning och simulering.

Driftfall	System 1 Vakuumbör [°C]	System 2 Plan solfångare [°C]
0.(från mätning)	53	53
0.	62	60
1.	55	52
2.	50	49
3.	60	55
4.	63	59
5.	66	59
6.	57	53
7.	83	74



Figur 5. Energiviktade drifttemperaturer i solfångarkretsen vid de olika simulerade driftfallen.

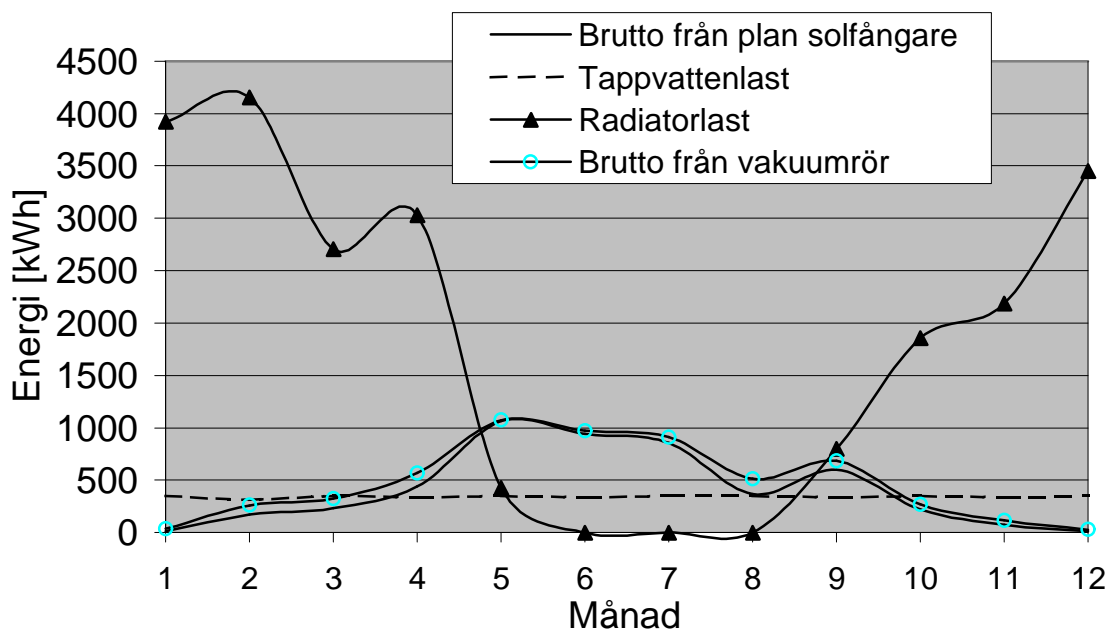
5 Plan solfångare eller vakuumsrör

5.1 Energiutbyten

5.1.1 Förväntade resultat

I nedanstående diagram visas energibehoven samt tillskottet från solfångarna som dimensioneringen av systemen väntas ge. Värdena är tagna från mätningen av solfångarna. Medeltemperaturen i solfångaren förväntas vara 50°C.

Med utgångspunkt från radiatorlasten och tappvattenlasten enligt ovan skulle lasterna samt bruttotillskottet från solfångarnas anslutningar se ut enligt nedanstående diagram. Radiatorlasten och solvärmens tillskott är beräknade utefter väderdata från Stockholm 1986.



Figur 6. Förväntad energi från solfångarna kontra lasterna.

Enligt diagrammet ser solvärmerna ut att täcka energiförbrukningen från maj till augusti med god marginal. Längre sammanhängande perioder än tre-fyra dagar utan sol måste dock pelletspannan gå in för att stödja även sommartid. Resterande månader behövs pelletspannan för att täcka energibehovet. Vid en uppskattning av förlusterna till 800 kWh per år ger detta en täckningsgrad på cirka 21 % för vakuumsrören och 18 % för den plana solfångaren.

Som synes ger detta väldigt lika förutsättningar för systemen, vakuumsrören är något effektivare under vår och höst (givet dimensioneringen 9 resp. 12.2 m²) men på grund av den låga solinstrålningen ger detta antagligen en marginell betydelse. I praktiken har drifttemperaturerna vår och höst varit lägre än 50 grader vilket minskar skillnaden mellan solfångarna.

Dessa energiutbyten tar dock inte hänsyn till att snö och frost fortare försvinner ifrån den plana solfångaren.

5.1.2 Faktiska resultat

Skillnaderna mellan de två systemen över året som helhet är mycket små. Det innebär att vakuumsrören vid de förutsättningar som gällt för mätningen varit ca 50 % effektivare än den plana solfångaren, räknat per kvadratmeter. Utbytet för vakuumsrörsolfångaren (tillfört till tank) var 434 kWh/ (m²·år) jämfört med den plana solfångarens 294 kWh/ (m²·år). I simuleringarna av de sju driftfallen varierar skillnaden mellan de två solfångarnas utbyten mellan som lägst 46 % för driftfall 2 och som högst 62 % för driftfall 4.

Begränsande för vakuumsrörens utbyte vid mätningarna i systemet har noterats:

- Snö, frost och dagg har legat kvar länge på rören och därmed begränsat instrålningen
- Under mätningarna har observerats att själv-cirkulation i systemet med vakuumsrör förekommer trots installerad backventil. Detta är egentligen inte specifikt för vakuumsrör, men eftersom solfångaren genom sin konstruktion har så lågt tryckfall underlättas själv-cirkulationen. Genom att solfångaren bygger på s k heatpipe blir dock värmeförlusterna genom själv-cirkulationen små.

Dessutom har några effekter som inte direkt är relaterade till skillnaderna i solfångarnas principer inverkat på utbytena.

- För system 1 har övertemperaturbegränsningen brutit vid 90°C istället för inställda 95°C

Inverkan av att övertemperaturbegränsningen brutit för tidigt har studerats med hjälp av simuleringssmodellen. Resultatet visar att utbytet skulle ökat med knappt 5 kWh/ (m²·år) om den fungerat som tänkt, vilket de redovisade siffrorna korrigerats för.

Under ett flertal tillfällen under året har det legat snö och frost på solfångarna. I bilaga 4 finns några dagar beskrivna med siffror och diagram. De visar att vid några tillfällen ligger frost kvar mycket längre på vakuumsrören och snö har mycket svårare att smälta bort. Detta är något som inte kan tas hänsyn till i simuleringen av systemen. Dessa dagar är relativt få och vissa dagar kan vakuumsrören kompensera detta med att gå längre på kvällen gentemot den plana solfångaren. Om vakuumsrör installeras i trakter med snö- eller frostrika vintrar bör man dock ta hänsyn till detta.

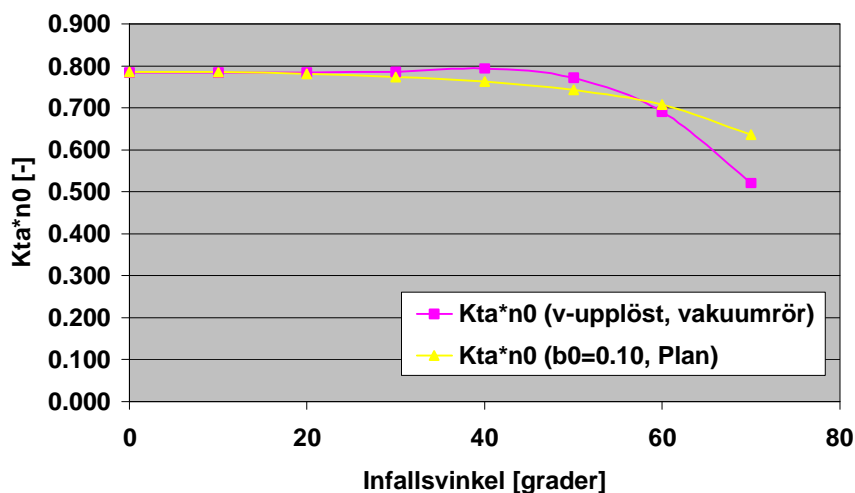
I bilaga 5 finns ett diagram som visar det faktiska resultatet från mätningen av de två kombisystemen. Där finns även några diagram som visar resultat från simuleringen med olika laster samt en jämförelse mellan Stockholm -86 och mätåret.

Tanken var inledningsvis att göra separata prestandaprov på de två solfångarna under drift i systemen, s k in situ test. Det visade sig dock omöjligt att komma ner i temperatur för att få en säker bestämning av solfångarnas förlustfria verkningsgrader. Därför har solfångarna prestandaprovats separat, efter att systemprovet slutförts, se bilaga 6. Energiutbyten beräknade utifrån dessa solfångarprovningar, enligt rutinerna för SPs energideklaration av solfångare redovisas i tabell 7 nedan.

Tabell 7. Bruttoutbyten från solfångarna enligt SP's energideklaration.

Totalt tillgängligt 1062 kWh	Årsutbyte [kWh / m ²] Plan solfångare	Årsutbyte [kWh / m ²] Vakuumrörsolfångare
Utbyte vid 25 °C	625	696
Utbyte vid 50 °C	409	642
Utbyte vid 75 °C	223	596

Ett annat resultat från solfångarprovningen var en detaljerad karakterisering av solfångarnas infallsvinkelberoende. Till vakuumrörsolfångarens förtjänster nämns ofta att den är betydligt bättre på att tillgodogöra sig diffus instrålning. Av diagrammet nedan framgår att vakuumrörsolfångaren visserligen har ett gynnsammare utfall för vinklar upp till 55 grader, men vid större vinklar är den plana bättre. Diffust ljus kan enligt en grov tumregel sägas överensstämma med direkt ljus vid sextio graders infallsvinkel och vid denna vinkel är som framgår av diagrammet de två solfångarna ungefär likvärdiga.



Figur 7. Vinkelberoendet för de två solfångarna.

5.2 Installation

Installationen av de två systemen är naturligtvis väldigt lika. Båda system behöver en kran för att få upp solfångarna på taket. Vakuumrör går dock att dela i tre mindre sektioner samt kräver också mindre plats på taket. Då tillopp och frånlopp för vakuumrören är placerade långt ifrån varandra måste vanligtvis två genomföringar i taket göras.

På grund av den plana solfångarens konstruktion är solvärmekretsen svårare att avlufta. Det rekommenderas att avstängningsventiler monteras för att kunna avlufta varje krets i solfångaren var för sig. Konstruktionen kräver också vanligtvis något större pumpar. Det låga tryckfallet genom vakuumrören gör däremot att det lätt uppstår självcirkulation om inte backventil installeras.

Den plana solfångaren går att få med infällt montage eller utanpåliggande. Utanpåliggande ger dock något lägre utbyte. Infällt montage har också den fördelen att alla anslutningsrör är skyddade under plåten. Det betyder längre livslängd för isoleringen och att risken för vattensador i takkonstruktionen minskar. Vakuumrören går praktiskt taget ej att montera infällt i taket, vilket gör att plåtslagare inte behöver anlitas. Med hänsyn till att vakuumrören lättare täcks av frost och snö kan det vara en stor fördel att montera dem vertikalt om huset står i en snö- eller frostrik region. Dels undviker man en stor del av

snön och frosten som kan lägga sig på solfångaren, dels utnyttjar man reflektion från den ljusa marken bättre än vid takmontage.

Vid montering av solfångarna är vakuumrören mycket ömtåligare. En fördel är att man kan byta ut varje rör för sig om något skulle gå sönder. På grund av den så kallade "heatpipe"-anslutningen är rören lätta att byta.

5.3 Estetik

Vad det gäller utseende får nog den bedömningen göras av varje person själv. Den plana solfångaren ger ett bättre intryck genom att vara en del av taket medan vakuumrören ger ett intryck av att vara mer avancerade.

Det finns ändå vissa punkter man tänka på vad det gäller utseendet. I tabell 1 under avsnitt 2.2.3. kan man utläsa att det endast behövs 4 procent större solfångararea om den monteras i 90° istället för 45° i rak sydlig riktning. Detta gör att t ex att en vakuumrör-solfångare skulle kunna sättas som ett räcke på en terrass eller en balkong. För en plan solfångare, vilken är lättare att skräddarsy, finns möjlighet till att utgöra ett helt tak på ett garage eller integreras i en vägg.

6 Slutsatser

6.1 Solfångare

Skillnaderna mellan vakuumrör och plana solfångare har genom mätningar och simuleringar visat sig vara nära de skillnader som energideklarationen för solfångare anger d v s vakuumrören är ca 55 % effektivare, med en spridning på ± 10 % beroende på driftfall. Skillnaderna beror främst på vakuumrörens låga förluster vilket gör att de inte kräver lika hög instrålning som den plana solfångaren för att börja leverera värme. Vakuumrören har också en något bättre karakteristik vid moderat vinklat infall, men verkningsgraden för diffust ljus och för branta infallsvinklar är däremot högre för den plana solfångaren. Plana solfångare bedöms som mer flexibla i sin användning främst genom att de kan integreras i takkonstruktionen.

Snö och frost som legat kvar på vakuumrören längre än på den plana solfångaren har i mätningen inte haft någon avgörande betydelse annat än under några få dagar. Det är dock något att ta hänsyn till om man bor i en trakt med rikligt med snö eller frost, där en vertikal montering både löser det problemet och dessutom ökar andelen markreflekterad strålning.

6.2 Kombisystem

Undersökningen har visat att ett solvärmte kombisystem kan ge en god besparing, framförallt om en mindre effektiv uppvärmning under sommarhalvåret kan ersättas. En olje- eller pelletspanna som går utan tank bör om den kopplas in på ett effektivt sätt kunna gynnas av kompletteringen. Besparingen av ett kombisystem blir visserligen större i hus med högt värmebehov än i ett energisnålt, men andelen av lasten som kan täckas blir inte stor. I lågenergihuset däremot, kan upp emot halva totalförbrukningen täckas med solenergi. I ett system baserat på vedeldning kommer fokus i mindre utsträckning att ligga på besparingen i kronor utan mer på bekvämlighet. Genom att komplettera vedpannan med ackumulatortank och solfångare slipper man elda under större delen av sommarhalvåret och den miljöbelastning som vedeldningen ger minskar väsentligt [4, 5].

6.3 Förbättringar av provade system

Utgående från ett års mätningar och iakttagelser av de två systemen har vi kunnat notera några åtgärder som kunde förbättra utbytet i systemen.

- Solfångarstyrningen har redan i dagsläget viss möjlighet att integrera styrning av tillsatsvärmen. Om denna möjlighet utnyttjas kan solvärmten utnyttjas mer effektivt, t ex genom att tillsatsvärmen bara kan starta under vissa givna betingelser.
- Om tanken även kompletterades med en elpatron som placerades i nivå med pellets pannans retur kunde pannan stängas av helt under sommarhalvåret. Elpatronen kan tillåtas hålla en lägre temperatur i tanken än vad pannan kan vilket ger ytterligare reducerade förluster och ökat solvärmeutnyttjande.
- Då en panna kopplas till tanken blir det extra viktigt att hushålla med värmen. Den provade tanken kunde haft en tjockare isolering och om tappvattenautomaten integrerats i tankisoleringen kunde förlusterna nedbringats ytterligare.

- Framförallt vakuumrören låg på gränsen till överdimensionering i systemet och vid en lägre tappvarmvattenbelastning skulle detta bli än mer uppenbart. Då borde en något mindre solfångare väljas. Energibesparingen blir visserligen något lägre, men kostnaderna minskar betydligt mer och dessutom minskar belastningarna p.g.a. övertemperaturer på systemkomponenterna under sommarhalvåret markant.
- Trycksättning av vakuumrörssystemet till 6 bar var inte tillräckligt för att hindra avblåsning. 9 bar krävs.
- Själv-cirkulationen i vakuumrörsolfångaren sker internt i rören och leder varm glykolblandning upp till solfångaren som där kyls av när solvärmepumparna står stilla. Problem kan säkrast undvikas med en magnetventil i solfångarkretsen som drar samtidigt som pumpen får startimpuls.
- Under några perioder då tanken varit väl laddad med solvärme har en viss själv-cirkulation genom tappvattenautomaten kunnat mätas. Eftersom det bara tycks inträffa då tanken är i det närmaste fulladdad är inverkan på energibesparingen antagligen helt försumbar.

Tidigare undersökningar [3] har vidare visat att ett radiator- eller golvvärmesystem med väsentligt lägre returtemperaturer, kring 25 grader i stället för 45, kan öka energibesparingen med ytterligare 200-250 kWh per år. Detta i ett system med 10 m² solfångare och en totallast på ca. 11 000 kWh per år. Större delen av denna ökning i solvärmestillskottet sker då under vinterhalvåret.

Referenser

1. Persson, T m.fl., Provning av tappvattenautomater kopplade till ackumulatortank, Centrum för solenergiforskning – Solar Energy Research Center, oktober 1996, Högskolan i Borlänge.
2. Byggforskningsrådet, ISBN 91-540-5802-3, Solvärmesystem för småhus – Kursmaterial för installatörer, 1998, Sundbyberg, Stockholm
3. Lorentz, K, ISBN 1400-9544, Kombisolvärmesystem – Utvärdering av möjliga systemförbättringar, Institutionen för Installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, 2001, Göteborg.
4. Konsumentverket och Energimyndigheten, ISBN 91-73987-166, Ackumulatorsystem – En installations- och dimensioneringsguide.
5. Pettersson, U m.fl., SP-AR 200:4, Småskalig värmeackumulering i praktiken, Borås 1999.
6. <http://www.iea-shc.org/task26/> Internationellt samarbetsprojekt om solvärmda kombi-system
7. Lorentz, K, m.fl. Konsumentverket Rapport 1995/96:3. Provning av ackumulator-system för solvärmeanläggningar.

Teknisk beskrivning

Vissa uppgifter är av leverantören givna.

Akkumulatortanken

Tillverkare:	BoRöpannan AB Bangårdsgatan 1 952 31 Kalix
RSK-nummer:	6136848
Typbeteckning:	TIP 1000*Sol 15
Utvändiga dimensioner (h*d):	1680*1090 mm
Volym:	1000 liter
Isolering:	100 mm mineralull, botten oisolerad.
Slingor:	Solslinga 15 meter, 22 mm diameter inloppshöjd 450 mm, utloppshöjd 30 mm från tankbotten
<i>Anslutningar (höjder från botten):</i>	
Pelletspanna, övre:	1400 mm, anslutning 50 mm
Pelletspanna, nedre:	1150 mm, anslutning 50 mm
Radiator-krets, övre:	1400 mm, anslutning 50 mm
Radiator-krets, nedre:	420 mm, anslutning 50 mm
Tappvattenautomat, övre:	1400 mm, anslutning 50 mm
Tappvattenautomat, nedre:	50 mm, anslutning 50 mm
Dykrör för styrgivare, tanktopp:	1310 mm, anslutning ½"
Dykrör för solkrets:	180 mm, anslutning ½"
Termometer:	1180 mm, anslutning ½"
Säkerhetsventil:	Toppansluten, 1,5 bar
Expansionskärl:	150 liter, förtryck 0,5 bar

Tappvattenautomat - solfångarstyrning

Leverantör:	Solentek AB
Typ:	6.08 WWS 50/ SI control 4.14
Serienummer:	003946 resp. 004061

Inställning under provning:

Varmvattentemperatur börvärde, utlopp	50 °C
Temperaturdifferens mellan solfångartemp. och tankbotten för till- och frånslag av pump	6° resp. 2°K

Maxtemperatur tanktopp	95 °C
Stoppdifferens mellan varmvattentemp och returtemperatur till tank	15°K
Min drifttid av varmvattenpump	20 sekunder
Hysteres solkrets (vid 65 °C temperaturavhängig)	4 °K
Temperaturbegränsning tank: diff. mellan tanktopp och Tsofref.	10°K

Solvärmekretsens pumpar ej varvtalsreglerade, varmvattencirkulationen avstängd.

Solfångare

System 1:

Leverantör:	Thermoenergi Skandinavien AB Box 365 891 21 Örnsköldsvik
Typ:	Vakuumsolfångare
Beteckning: Aperturarea:	Mazdon 30/TMA-400 9,0 m ²
Cirkulationspump:	Thermomax Gold Läge 3, 70-98 Watt
Säkerhetsventil:	9 bar

System 2:

Leverantör:	Arnes Plåtslageri AB Oskarsvägen 38 702 14 Örebro
Typ:	Plan solfångare
Beteckning: Aperturarea:	Aquasol Big 12,22 m ²
Cirkulationspump:	2 stycken Myson CP63 Läge 3, 107 Watt, totalt 214 Watt
Säkerhetsventil:	9 bar

Mätning på två solvärmda kombisystem under ett år

Jämförande provning av två solvärmda kombisystem under ett års drift. Systemen var identiska i alla avseenden utom för solfångarna som i system 1 bestod av en vakuumrör-solfångare och i system 2 av en plan enkelglasad solfångare.

Provföremål

2 stycken soluppvärmda kombisystem med 1000 liters ackumulatortank. Till tanken kopplades en simulerad pelletspanna på 15 kW, en tappvattenautomat samt en simulerad radiatorlast. Se bilaga 1 för teknisk beskrivning

Solfångarna och deras anslutningsrör till tank monterades av respektive leverantör och resten av systemen av SPs personal.

Provplats och tid

Provningarna utfördes vid enheten för Energiteknik, SP Borås under oktober 2000 till januari år 2002. Kompletterande mätningar på enbart solfångarna utfördes under april och augusti 2002.

Provningens utförande

De två kombisystemen är identiska så när som på solfångarna. Det ena systemet har en vakuumrör-solfångare med aperturarean $9,0 \text{ m}^2$ (system 1), det andra en plan solfångare med aperturarean $12,22 \text{ m}^2$. Systemen utnyttjar förutom solfångare en simulerad pelletspanna för uppvärmningen. De två systemen har körts parallellt, med i stort sett identisk belastning under ett års tid.

Omfattande mätningar med hög tidsupplösning (skanning var 6:e sekund, en minuts medelvärden) gjordes under hela mätperioden i solfångarkrets, pannkrets, tappvarmvattenkrets och radiatorkrets på de båda systemen. Dessutom mättes klimatvariabler som solinstrålning, temperatur och vindhastighet.

Installation och drift av systemen dokumenterades noggrant med hjälp av loggbok och fotografering. Inverkan av smuts, dagg, snö, frost på de olika solfångarna dokumenterades, liksom hur solfångarna monterats på/ i taket.

Systemen belastades med ett förbrukningsmönster för tappvatten motsvarande 4 personer enligt SS 2095, ca 11 kWh per dag. Under fyra veckor i juli ökades varmvattenlasten med 50 %. Värmelasten (simulerad radiatorlast med 55/45 som dimensionerande fram/returtemperatur) varierades med aktuell utetemperatur och motsvarade effekt/energibehovet hos ett normalt äldre hus: 25 000 kWh/år för varmvatten o värme.

Se bilaga 3 för en utförligare beskrivning av provningen samt mätpunkter.

Beräkningar av nyckeltal

Baserat på årets mätningar har ett antal nyckeltal beräknats för att kunna analysera systemens uppförande under mätåret och under de olika driftsäsongerna. Sammanfattningsvis gäller det:

- Systemens energibalanser
- Systemens täckningsgrader
- Systemens besparingsgrader relativt ett referenssystem
- Solfångarnas verkningsgrader

Dessutom har solfångarnas drifttemperaturer uppskattats från några karaktäristiska dagar. En sammanställning av de viktigaste resultaten från mätningarna följer nedan. Kompletterande resultat från mätningar redovisas i bilaga 4 och 5.

Provutrustning

De färdigmonterade systemen anslöts till temperaturreglerad kallvattenförsörjning. Med hjälp av magnetventiler på varmvattenutloppet styrdes tappningarna från en dator. Två utrustningar per system användes för att simulera pelletspanna och radiatorsystem. Samtliga kretsars flöden och temperaturer mättes med induktiva flödesmätare och Pt-100 givare. Solinstrålning mättes med precisionspyranometrar och utomhustemperatur med ventilerade och strålskyddade Pt-100 givare. Se även bilaga 3.

Mätutrustning

Följande mätutrustning användes under provningen:

- Datasamlingssystem baserat på en PC och en scanner, HP 1401B
- Resistanttemperaturgivare typ Pt-100 (1/10 DIN)
- Flödesmätare Enermet MP115 (5760 pulser/liter)
- Pyranometer för global instrålning Eppley PSP och KoZ CM 11
- Pyranometer för diffus instrålning KoZ CM 11 (Endast under separat solfångarprovning)

Sammanställning av resultat

Skillnaderna mellan de två systemen över året som helhet är sammanfattningsvis mycket små. Detta innebär att vakuumsystemet i detta system och under dessa driftförhållanden varit ungefär 50 % effektivare än den plana solfångaren, räknat per kvadratmeter och knappt 10% effektivare räknat på hela solfångaren. Skillnaderna blir något större under sommaren då vakuumsystemet har mindre nackdel av de högre drifttemperaturerna än den plana solfångaren. På vintern har de två solfångarna gett precis lika mycket, vilket främst kan förklaras med att vakuumsystemet ”missat” några bra soldagar genom att den haft snö- eller frosttäckning längre tid än den plana solfångaren. Dessutom har de relativt låga drifttemperaturerna gynnat den plana solfångaren under denna period. Höstperioden bjöd inte på mycket sol men torrt och förhållandevis varmt väder. Att de två solfångarna där gett lika mycket förklaras av låga drift- och övertemperaturer (hög utomhustemperatur), vilket gynnat den plana solfångaren.

Varken systemmätningarna eller de kompletterande verkningsgradsmätningarna på solfångarna styrker att vakuumrören skulle vara betydligt effektivare på att utnyttja diffus instrålning. Däremot har de genom sina låga värmeförluster förmåga att tillgodogöra sig låga instrålningsnivåer, särskilt i kombination med låg utetemperatur. Detta gör att vakuumrörsolfångaren ofta startar tidigare än den plana solfångaren, framförallt under den kalla delen av året.

I beräkningen av solvärmens täckningsgrad enligt formeln "Täckningsgrad = (Last-Tillförd energi från pellets)/ Last" har vi valt att behandla tillförd energi från pellets som elenergi, d.v.s. utan att inkludera de omvandlingsförluster som skulle uppstå i en pelletspanna. Skälet är dels att vi vill kunna jämföra resultaten med andra undersökningar där el oftast är den energiform som kompletterar solenergin, dels att en antagen verkningsgrad i det här fallet blir ganska godtycklig. Vid en antagen pannverkningsgrad lägre än 90 % blir dessutom täckningsgraden för de provade systemen negativ enligt denna definition, vilket knappast kan betraktas som en relevant information.

I tabellerna nedan och i bilaga 4 och 5 redovisas en del av de resultat som mätningarna lett fram till. Observera att vissa av nyckeltalen nedan är mycket osäkra genom att de beräknats som skillnaden mellan två stora tal.

Inverkan av ett fel som gjorde att solfångarkretsen i system 1 stoppade vid 90 grader i tanktoppen i stället för vid 95 grader har studerats i kompletterande simuleringar. Detta har lett till att solvärme till tank för system 1 har räknats upp med 1 % i resultaten som följer. På samma sätt har ett givarfel som upptäcktes vid kalibreringar då systemen demonterades lett till att solvärme till tank för system 1 räknats upp med ytterligare 8 %.

Tabell 1. Mätta täckningsgrader och energibidrag från solfångarna till tank för året som helhet och för delar av året.

	System 1 Vakuurrör	System 2 Plan solfångare
Solvärmens täckningsgrad och energibidrag till tank helår (1 jan – 31 dec 2001) %/ kWh	10,8 ¹⁾ / 3 903	11,6 ¹⁾ / 3 589
Solvärmens täckningsgrad och energibidrag till tank sommar (3 maj – 20 sep 2001) %/ kWh	83,2 / 2 247	82,0 / 2 040
Solvärmens täckningsgrad och energibidrag till tank uppvärmningssäsong höst (21 sep – 4 nov) 2001 %/ kWh	- ¹⁾ / 287	- ¹⁾ / 285
Solvärmens täckningsgrad och energibidrag till tank uppvärmningssäsong vår (1 mars – 2 maj 2001) %/ kWh	- ¹⁾ / 969	- ¹⁾ / 871
Solvärmens täckningsgrad och energibidrag till tank uppvärmningssäsong vinter (4 nov – 28 feb 2001) %/ kWh	- ¹⁾ / 400	- ¹⁾ / 393

¹⁾ Täckningsgraden beräknas som (Last- Tillförd energi från pellets)/ Last. Detta är ett mått på mängden nyttiggjord solenergi. Eftersom denna är förhållandevis liten (ca 15 % av tillförd från pellets och ca 5 % av totalt omsatt energi på årsbasis) kommer t.ex. en osäkerhet på 1 % i tillförd energi att resultera i en osäkerhet i täckningsgraden på närmare 10 %. Skillnaden i täckningsgrad på årsbasis mellan de två systemen är därmed inte statistiskt signifikant. Under sommarperioden däremot, utgör solvärmen huvuddelen av tillskottet till tanken och osäkerheten i den beräknade täckningsgraden blir därmed betydligt lägre.

Tabell 2. Mätta energiutbyten till tank och beräknade från solfångarna per m² solfångare för året som helhet.

	System 1 Vakuurrör	System 2 Plan solfångare
Solfångarens bidrag till tanken under året kWh/ m ²	434	294
Solfångarens bruttoutbyten under året kWh/ m ²	488	323

I tabell 2 redovisas dels uppmätta solfångarutbyten till tank, dels bruttoutbyten från solfångarna. De senare har beräknats ”baklänges” från uppmätta utbyten till tank plus rörförluster från årssimuleringen av driftfall 1, se avsnitt 4.1 och 4.2 i huvudrapporten. Bruttoutbytena kan jämföras med energideklarationen för solfångare där vakuurrören ger ett utbyte på 640 kWh/m² och den plana solfångaren ger 408 kWh/m² vid 50 graders medeltemperatur i solfångaren. Skillnaderna beror dels på att Stockholm –86 som ligger till grund för energideklarationen har 7 % högre instrålning än mätåret, dels

på att solfångarna i mätningen har haft en ca. tio grader högre drifttemperatur. Återstoden av skillnaden kan förklaras med att styrningen av solfångarna inte kan fungera optimalt vilket energideklarationen förutsätter, samt att systemen ett antal dagar varit fulladdade och då inte kunnat leverera mer energi trots att vädret varit bra.

Tabell 3. Uppskattade medeldrifttemperaturer för solfångarna under året som helhet och för delar av året

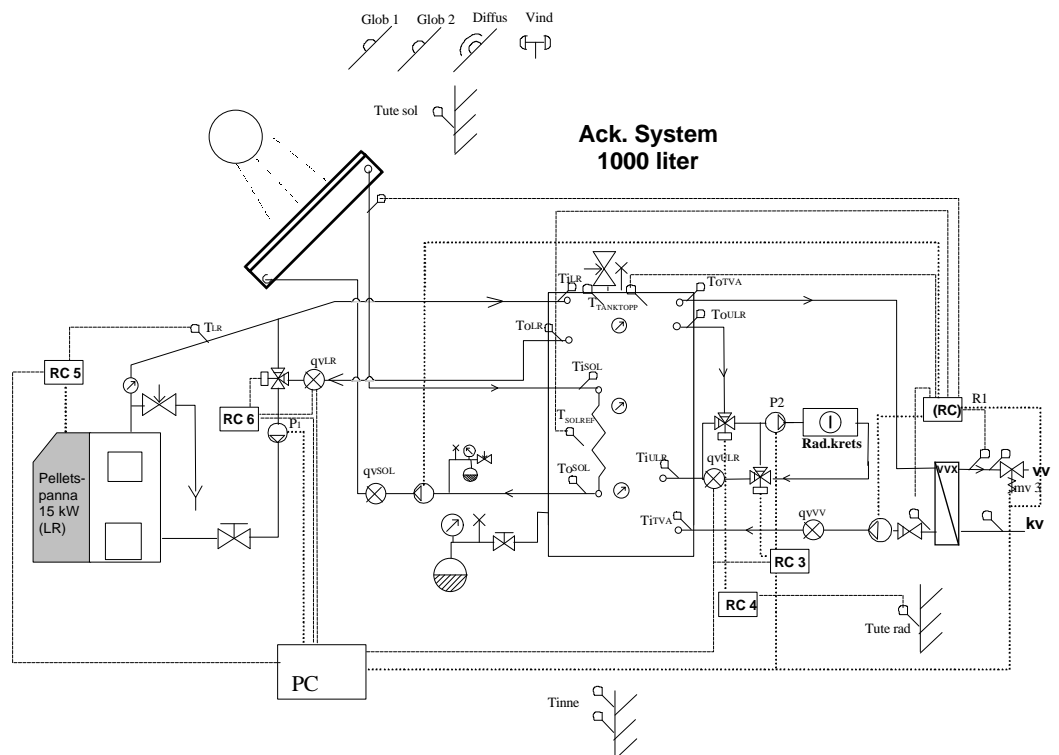
	System 1 Vakuumsrör	System 2 Plan solfångare
Drifttemperatur över året (Energiviktad) °C	53	53
Drifttemperatur vinter °C	42	44
Drifttemperatur vår/höst °C	45	46
Drifttemperatur sommar °C	59	58

Tabell 3 är resultatet av en ganska grov uppskattning från enskilda karakteristiska dagar under mätåret. Simuleringarna gav möjlighet till en noggrannare beräkning av temperaturerna vilka genomgående visade sig ligga ca 10 grader högre.

I bilaga 4 och 5 redovisas ytterligare resultat för systemen i diagramform. Dels systemens energibalanser (tillfört och avgivet) på månadsbasis under mätåret, dels enskilda dagar under mätåret som beskriver intressanta skillnader mellan de två systemen.

Utförande av mätning

Provningsen har syftat till att ge tillförlitliga mätdata för de två systemen under ett års drift. Av olika anledningar har det dock inte varit möjligt att ordna en enda sammanhängande mätsekvens. I stället har mätningarna delats upp i ett antal kortare sekvenser om vardera två till fem veckor. En sekvens startar och slutar alltid med att tankarna "konditioneras" d v s de återställs till ett väldefinierat tillstånd där temperaturen i hela tanken är densamma. Vid denna provning har vi valt att konditionera till 40°C. Det motsvarar väl den medeltemperatur över året som tankarna har haft och därmed har konditioneringarna också haft en mycket liten inverkan på systemens drift.



Figuren visar uppställningen som alltså var identisk för de två systemen, bortsett från solfångarna. Placeringen för alla viktigare mätställen framgår av figuren. I centrum ligger tanken på 1000 liter som enbart innehåller en växlarslinga för solvärmekretsen. Flöden och temperaturer i alla kretsar anslutna till tanken mäts.

Pellets pannan till vänster i figuren simulerades genom en uppsättning elpatroner direkt anslutna (utan växling) till tankens övre del. Solfångarna laddade tanken via en växlarslinga och styrdes med en enkel differenstermostat som ingick i tappvattenautomatens styrutrustning i respektive system.

Energiuttag i form av tappvarmvatten via tappvattenautomaten triggades från mät/styrdatorn som vid givna klockslag samtidigt tappade en viss energimängd från de båda systemen. Temperaturen på tappvarmvattnet reglerades av tappvattenautomatens egen styrning.

Radiatorkretsen simulerades av en värmväxlare ansluten till tankens radiatoruttag via en shuntautomatik styrd från mät/ styrdatorn. Växlarens kalla sida anslöts till det centrala kylsystemet som håller ca + 7 grader konstant. Dimensionerande värmelast var 9 kW vid -18 °C utetemperatur och dimensionerande fram- och returtemperaturerna 55/45 °C. Lasten har under uppvärmningssäsongen styrts omvänt proportionellt mot utemperaturen.

Styrningar:

Laddning från panna: Laddning startar då Ttanktopp understiger 60 °C. Elpatronerna styrdes av en regulator över en tyristor. Laddningskretsen cirkulerade vattnet internt i elpatronerna till laddningstemperaturen 77 °C uppnåtts och först därefter började tanken laddas. Effekten vid laddning ökade linjärt från 0 till 15 kW under fem minuter ("uppeeldning") för att därefter vara konstant 15 kW tills temperaturen vid ToLR översteg 60. Därefter vidtog en motsvarande "nedeldning" från 15 till 0 kW under fem minuter.

Laddning från solfångare: Solfångarkretsens pump startar då temperaturen i solfångaren överstiger temperaturen vid T_{solref} med 6 °C och stoppar då skillnaden understiger ca 2 °C. Pumpen stoppar också om temperaturen vid tanktoppen överstiger 95 °C samtidigt som T_{solref} är större än 85 °C.

Diagram från vissa specifika dagar under mätningen

Här följer ett antal diagram med vars hjälp vi vill visa på några skillnader mellan vaku-
umrören och den plana solfångaren som vi iakttagit under året. Skillnaderna över året
som helhet har sammanfattningsvis varit mycket små i den här tillämpningen. I andra
tillämpningar kan skillnaderna dock ha betydligt större inverkan.

Beskrivning av diagrammen

Samtliga diagrammen har på x-axeln tiden i minuter från dygnsskiftet. Detta betyder att
600 minuter är klockan 10.00 vintertid.

De negativa effekter som har uppmätts beror på att temperaturerna är uppmätta vid tan-
kens anslutningar och en viss fördröjning sker vid start och stopp av pumparna i solkret-
sen.

3 februari 2001

Vakuumrören är under dagen helt snötäckta medan den plana solfångaren endast har
frost på morgonen.

Energi till tank system 1:	0,5 kWh
Energi till tank system 2:	13,9 kWh
Medeltemperatur under dygnet:	-14,5 °C
Instrålningen under dagen:	4,0 kWh/m ²

13 april 2001

På morgonen finns frost på båda solfångarna. Frosten försvinner tidigt på den plana
medan den på vacuumrören ligger kvar till efter lunchtid. System 1 går lite längre på
eftermiddagen.

Energi till tank system 1:	35,9 kWh
Energi till tank system 2:	39,9 kWh
Medeltemperatur under dygnet:	-0,5 °C
Instrålningen under dagen:	7.6 kWh/m ²

1 maj 2001

Vacuomrören startar något tidigare på morgonen och stoppar något senare på eftermid-
dagen. Under dagen tar solkretsarna in ungefär samma energimängd.

Energi till tank system 1:	33,2 kWh
Energi till tank system 2:	32,3 kWh
Medeltemperatur under dygnet:	9,1 °C
Instrålningen under dagen:	6,4 kWh/m ²

2 juli 2001

Systemen startar ungefär samtidigt på morgonen men system 1 bryter pumpen i solkretsen vid 14-tiden på grund av fulladdad tank. System 2 bryter på samma sätt något senare på dagen. System 1 har då under de 3 tidigare dagarna tagit emot cirka 18 kWh mer än system 2. Båda systemen startar igen då temperaturen åter sjunkit i tanken.

Energi till tank system 1:	29,1 kWh
Energi till tank system 2:	32,5 kWh
Medeltemperatur under dygnet:	17,5 °C
Instrålningen under dagen:	7,4 kWh/m ²

27 juli 2001

Samma beteende som 2 juli. Vakuümörren startar tidigare än den plana solfångaren på morgonen vilket varit ganska vanligt förekommande. Innan denna dag har det varit 4 dagar med mer än 6,5 kWh/m² per dag i solinstrålning.

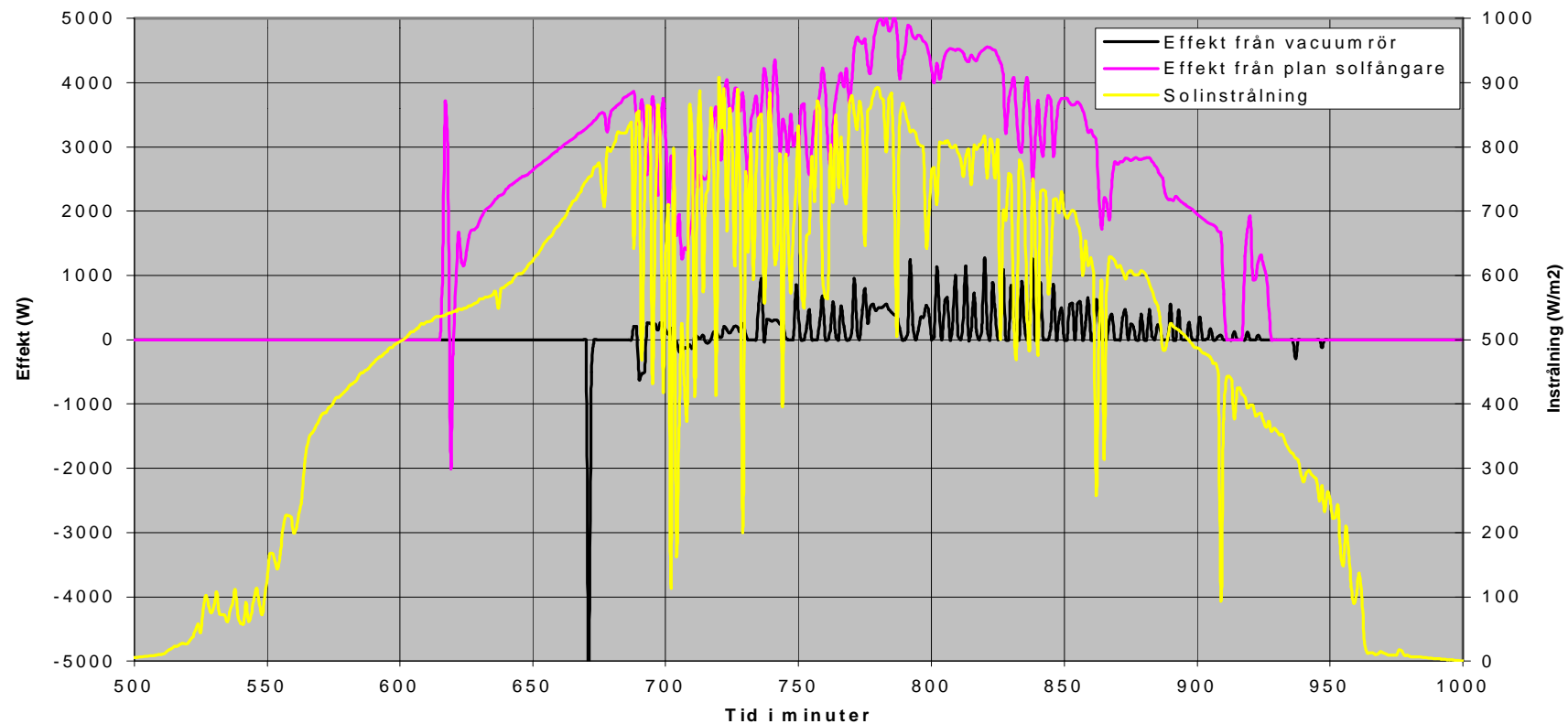
Energi till tank system 1:	25,9 kWh
Energi till tank system 2:	24,5 kWh
Medeltemperatur under dygnet:	18,5 °C
Instrålningen under dagen:	6,4 kWh/m ²

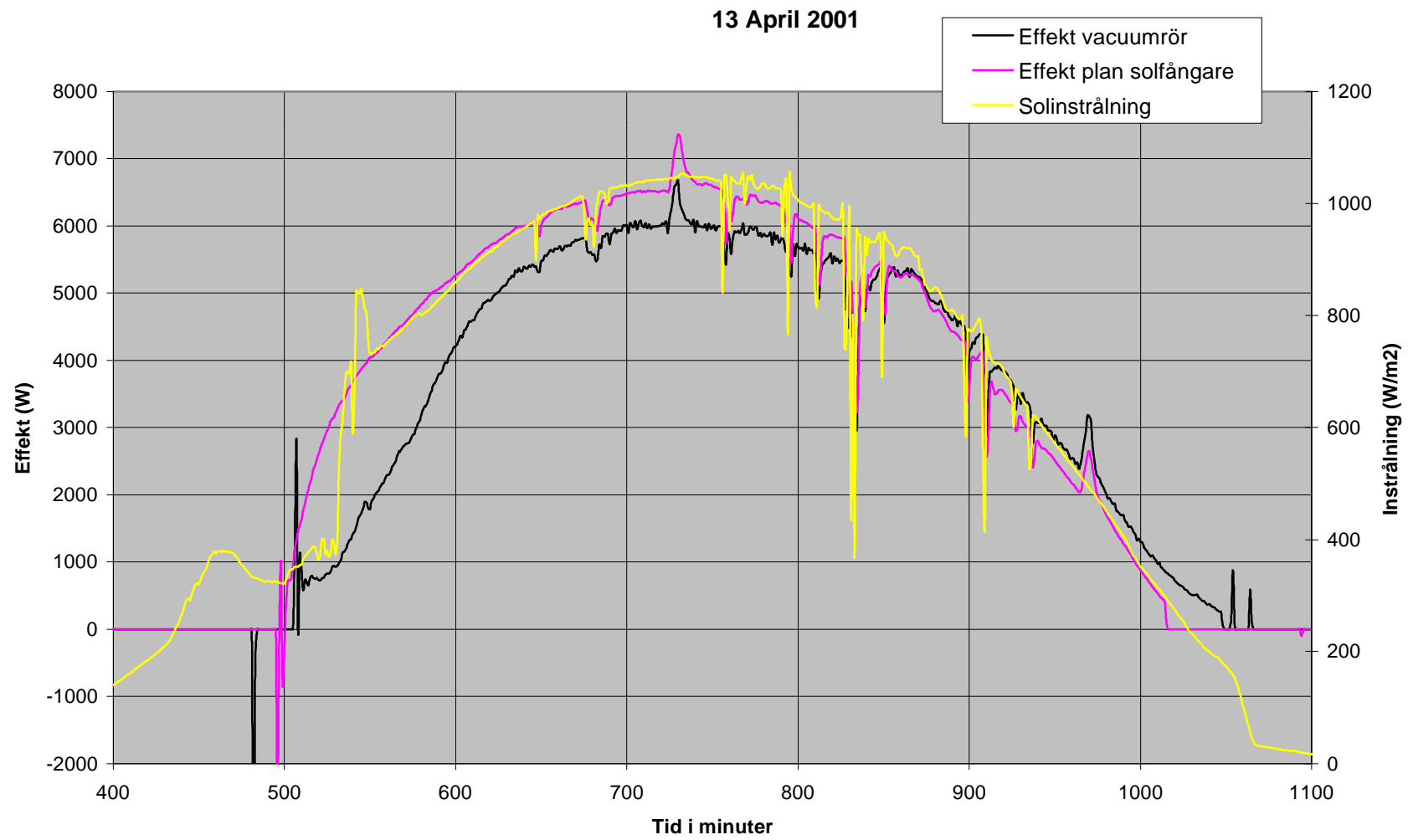
9 november 2001

Ett jämnt tjockt lager med frost ligger över solfångarna på morgonen. Vid 10-tiden är den plana solfångaren helt fri från frost medan vacuumörren fortfarande är helt täckta.

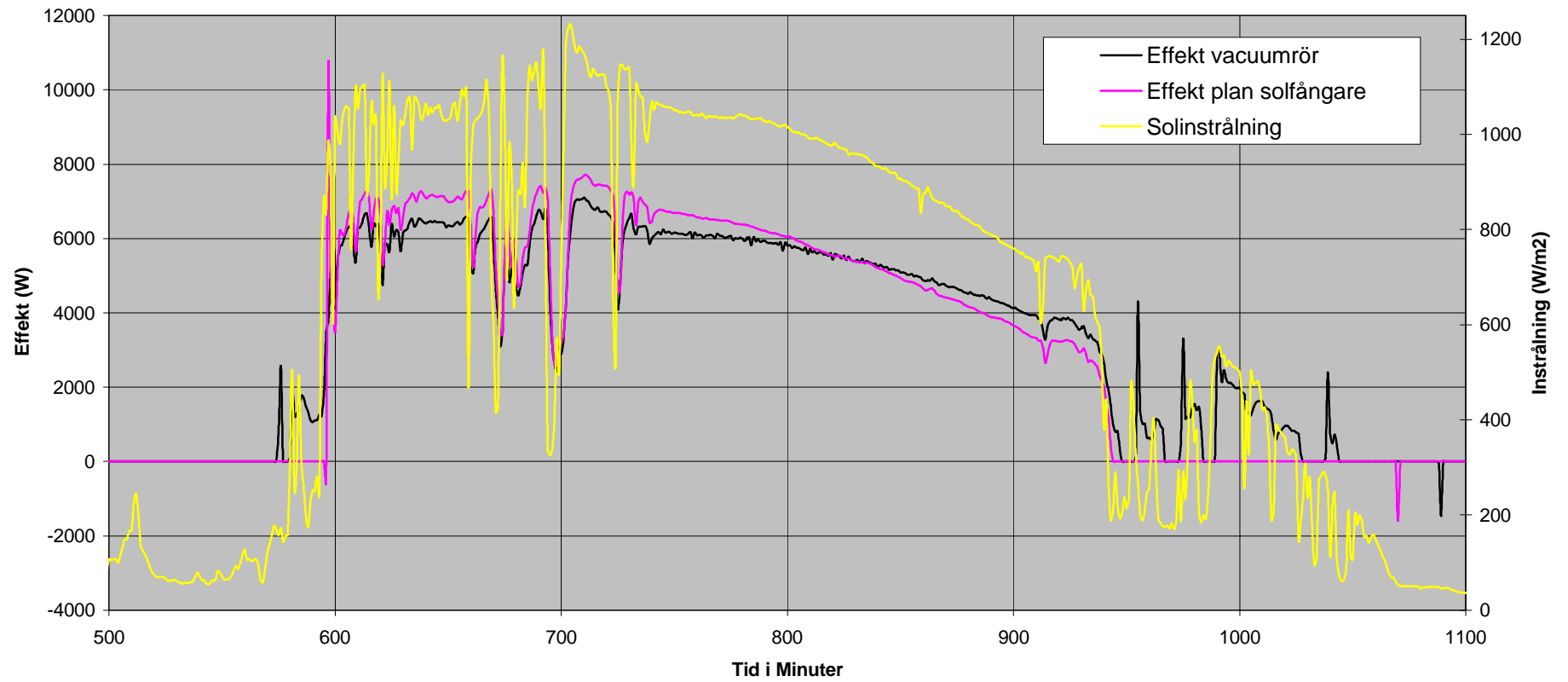
Energi till tank system 1:	16,2 kWh
Energi till tank system 2:	18,6 kWh
Medeltemperatur under dygnet:	-2,4 °C
Instrålningen under dagen:	3,9 kWh/m ²

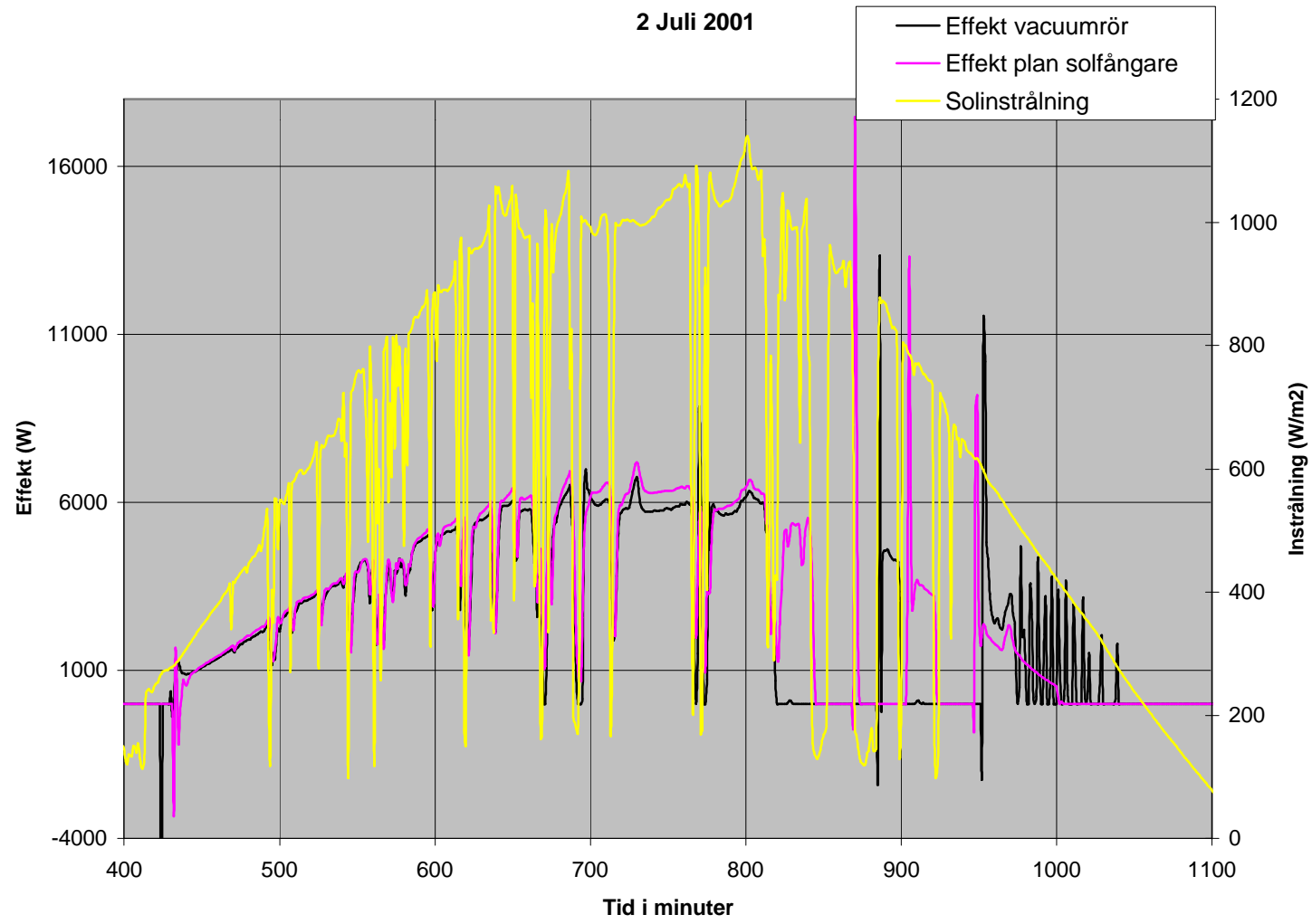
3 Februari 2001

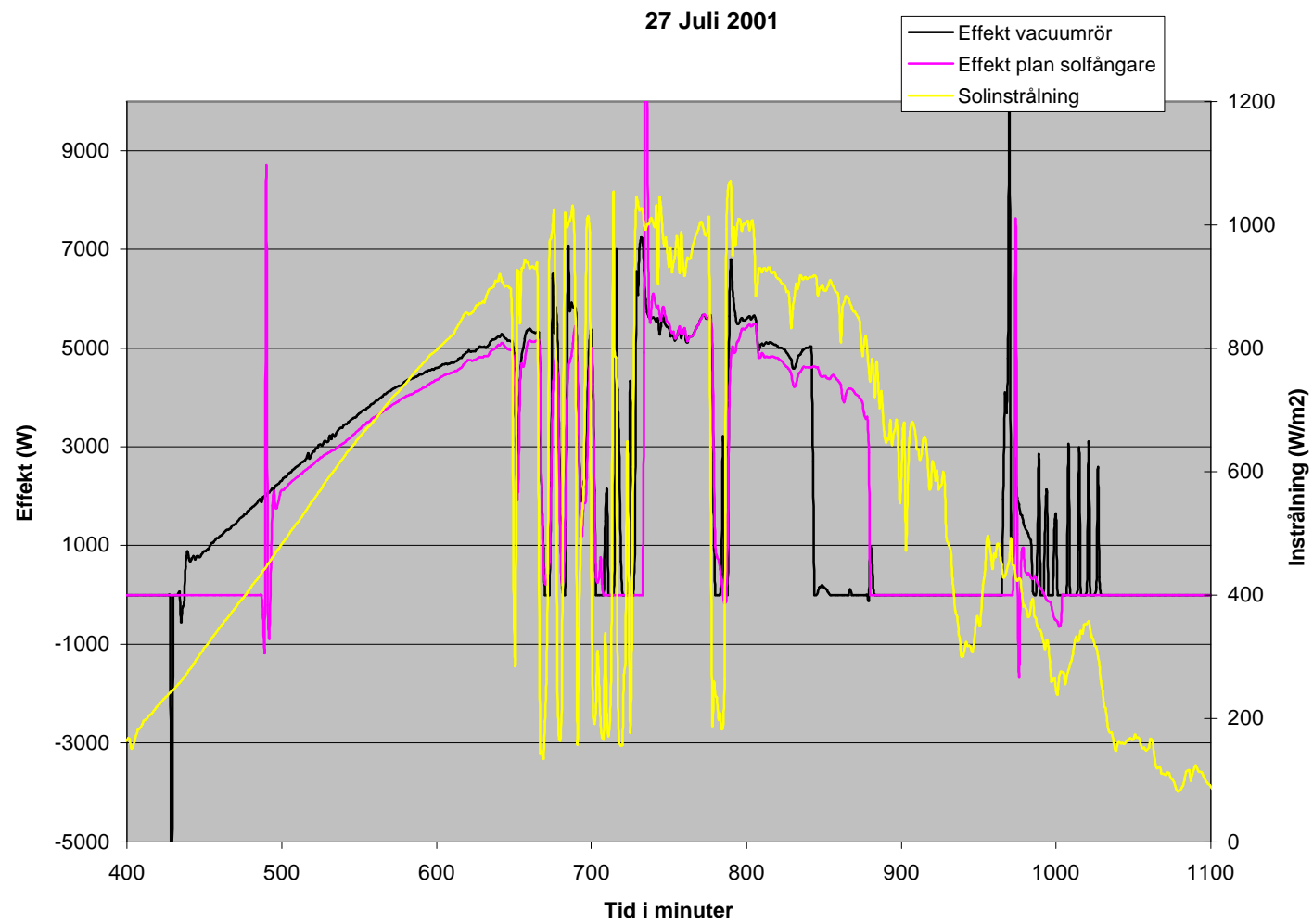




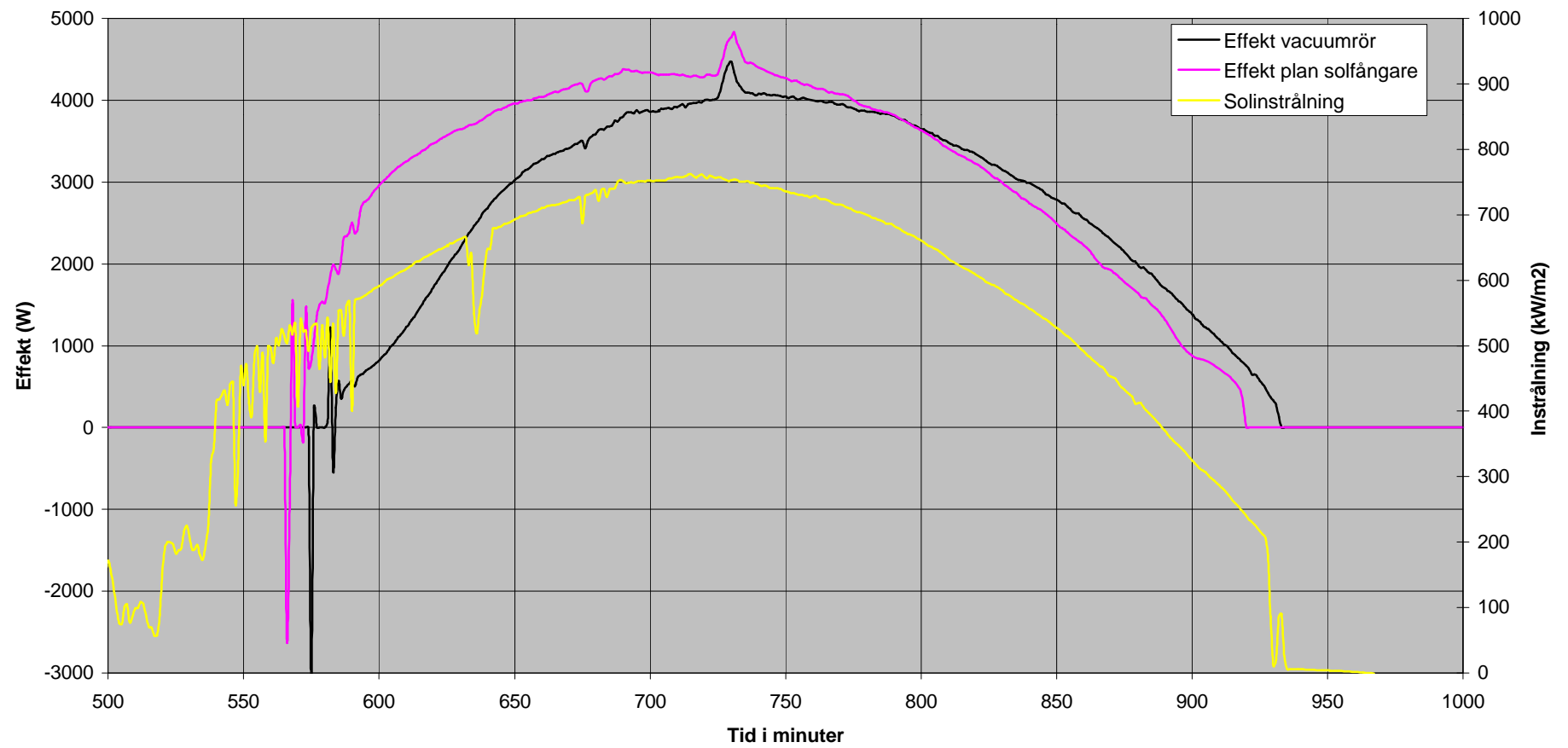
1 maj 2001





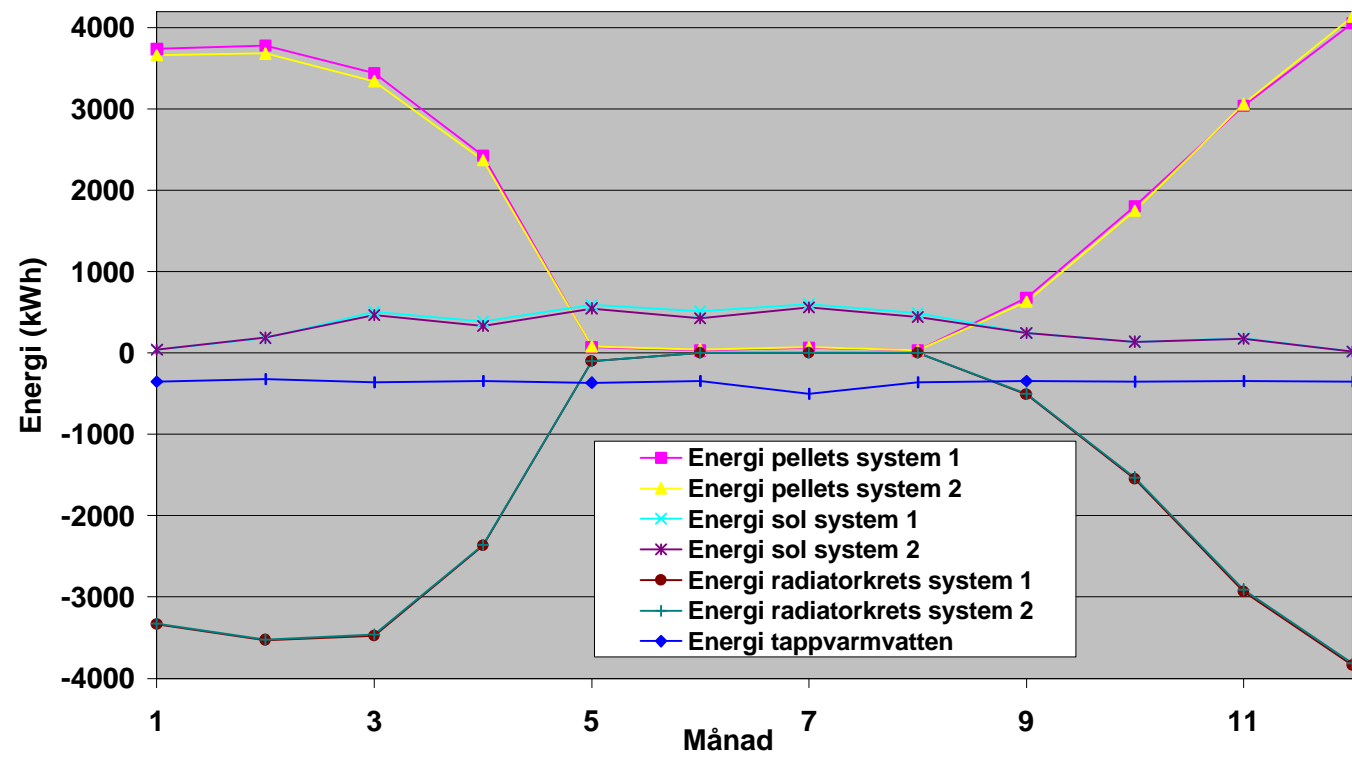


9 November 2001

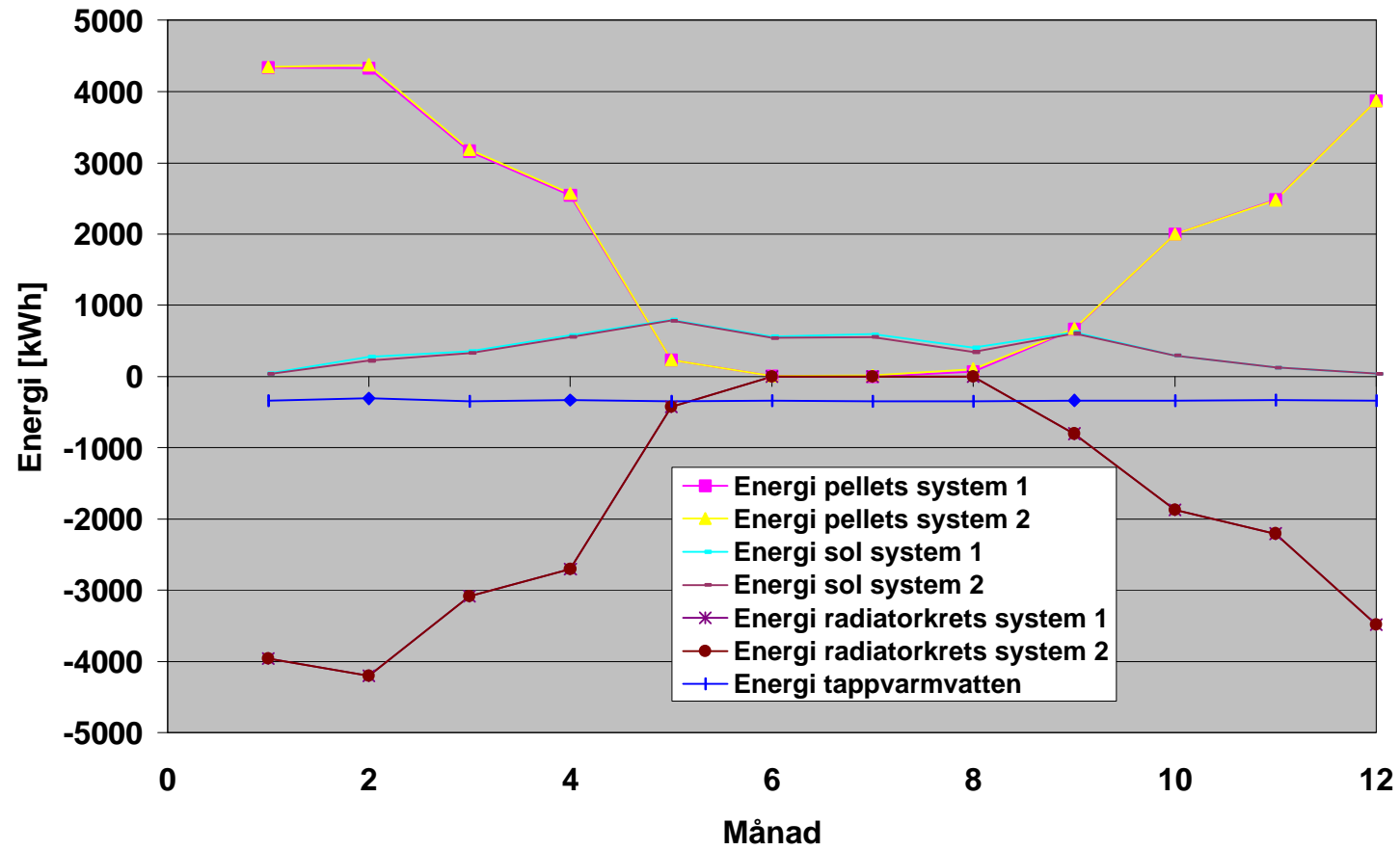


Årsdiagram från mätning och simulering

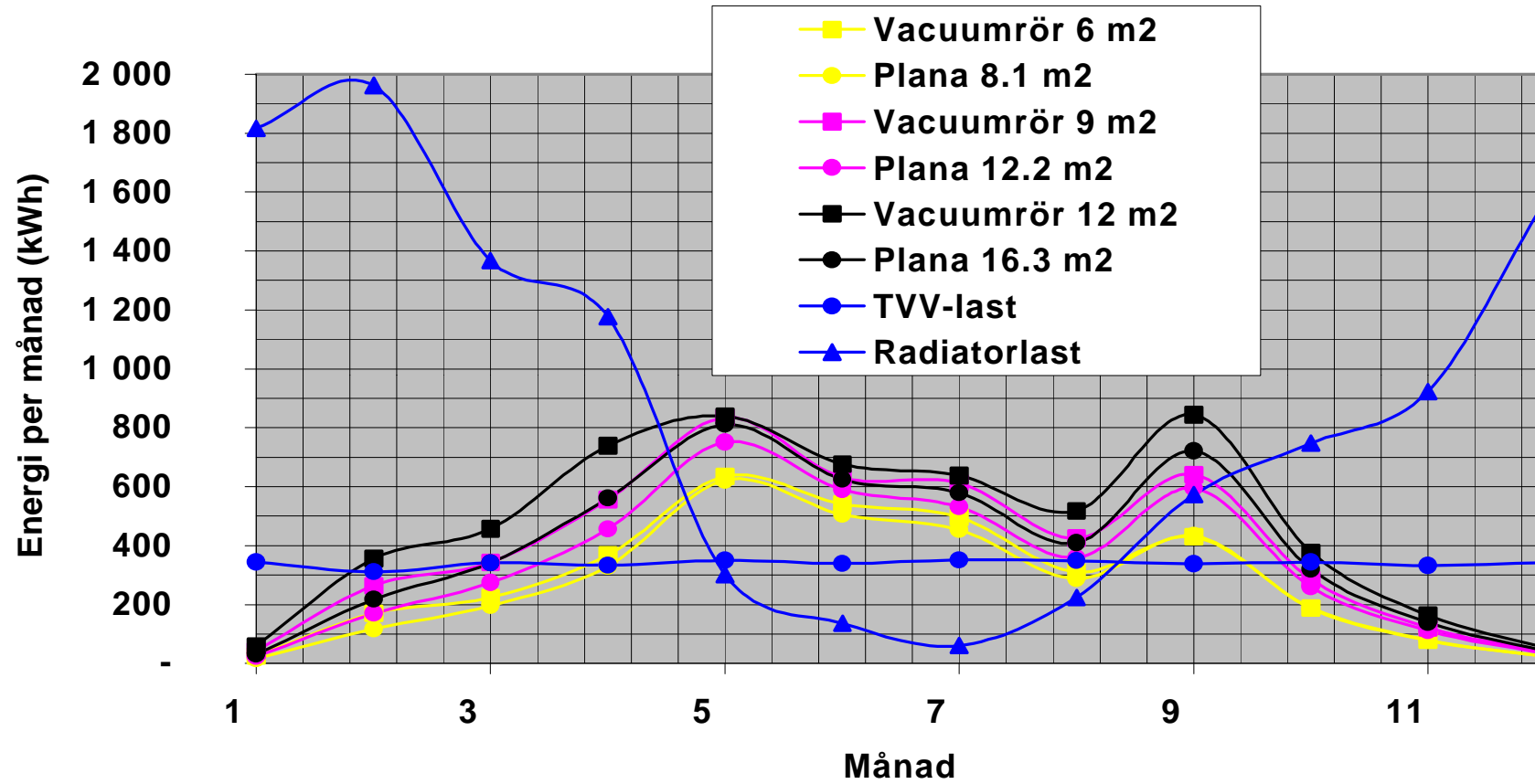
Årsdiagram mätta energier 2001



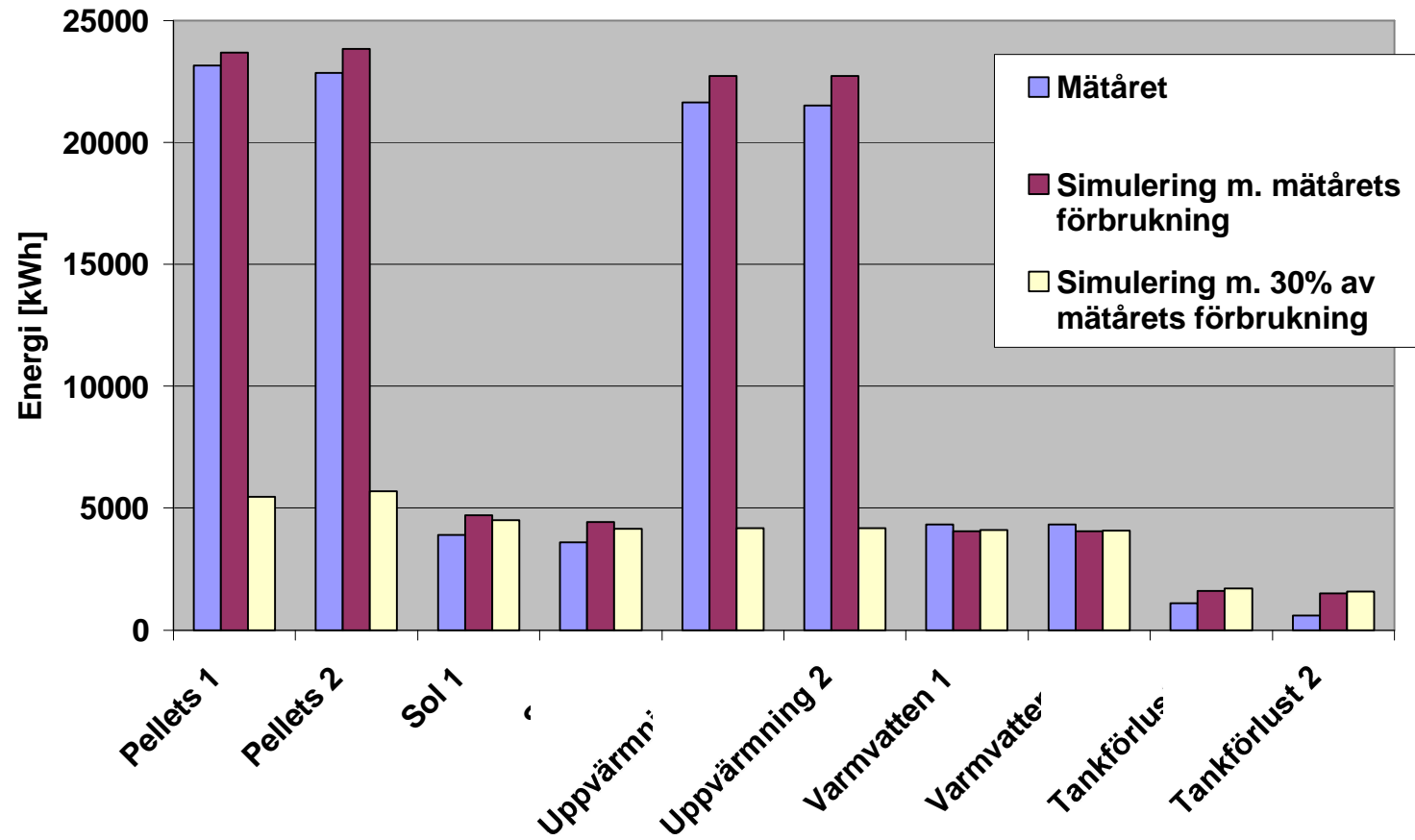
Simulering med väderdata Stockholm 86 och mätårets (2001) förbrukningar

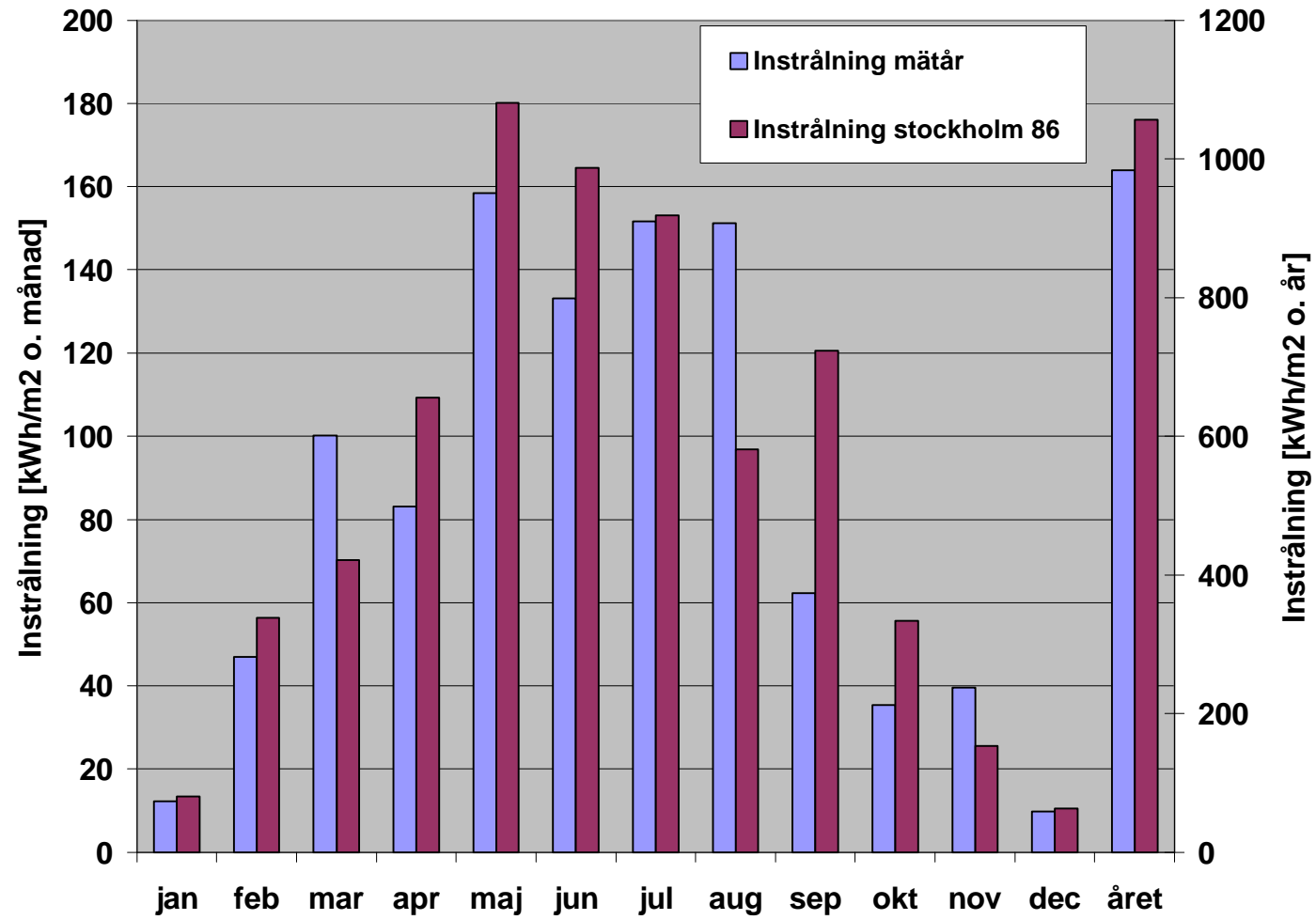


Soltillskott plus laster för 14 929 kWh per år



Omsatt energi i system 1 (vakuumrör) och 2 (plan) under mätåret och under 2 simulerade driftfall





Provning av solfångarna

Som underlag till årssimuleringarna behövdes en noggrann karakterisering av solfångarnas prestandaparametrar. Solfångarna har tidigare uppmätts men då på mindre moduler och enbart i s.k. steady state provning. Samtidigt har solfångarna genomgått mindre förändringar som skulle kunna förändra utbytet. Därför har solfångarna prestandaprovats enligt EN 12975/6.3 s.k. semidynamisk provning. Jämfört med de tidigare testvärdena har därmed förlustfri verkningsgrad för både direkt och diffust solljus bestämts liksom infallsvinkelberoende (b_0 för den plana solfångaren och vinkelupplösta värden för vakuumsrören) och termisk kapacitans.

Under sommaren gjordes ett försök till s.k. insitu-provning av solfångarna, d.v.s. mätningar för prestandabestämning samtidigt som solfångarna var i drift i de två systemen. Bestämningen av förlustfri verkningsgrad blev dock alltför osäker då det inte gick att komma ner tillräckligt lågt i temperatur. Därför fick mätningarna upprepas med solfångarna frikopplade från systemen under våren och sommaren 2002. Tre solfångarmodeller har använts för att ta fram modellparametrar i arbetet. För beräkningar enligt SP:s energideklaration, d.v.s. beräkning av solfångarnas brutto energiutbyte, har använts den kompletta semidynamiska modellen enligt SSEN 12975. För årssimuleringar av det kompletta systemet har använts samma modell i trnsys type 132 med b_0 -ekvation både för den plana solfångaren och för vakuumsrörsolfångaren. Eftersom type 132 (semidyn.) inte medger användning av vinkelupplöst infallsvinkelberoende har en parameteruppsättning med b_0 -värde tagits fram även för vakuumsrörsolfångaren. Slutligen har en förenklad modell tagits fram för valideringen av hela systemmodellen. Detta eftersom mätning av diffus solinstrålning saknades från årsmätningen.

Vid prestandaproven för solfångarna gällde följande:

	Plan solfångare	Vakuumsrör
Värmebärare	Tyfocor LS (43.5% propylenglykol)	Tyfocor LS (43.5% propylenglykol)
Testflöde	ca 50 l/(m ² h)	ca 80 l/(m ² h)
Referensarea	12.22 m ²	9.0 m ²

Tidigare uppmätta värden

Aquasol Big

Genom tidigare mätningar samt en omräkning av utbytet med hänsyn till vissa förändringar har följande parametrar tagits fram:

$$\eta_0 = 77.8 \% \qquad a_1 = 3.557 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1} \qquad a_2 = 0.0073 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-2}$$

Detta ger 408 kWh/m² i utbyte vid 50 graders medeltemperatur i solfångaren.

Mazdon 30/TMA-400

Vakuumsrören har tidigare mätts upp till följande värden

$$\eta_0 = 72.8 \%, \qquad a_1 = 0.29 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1} \qquad a_2 = 0.0163 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-2}$$

Detta ger 640 kWh/m² i utbyte vid 50 graders medeltemperatur i solfångaren.

Enligt ovanstående värden har alltså vakuumsrören 57 % högre utbyte vid 50°C.

Nya värden

Vid den nya mätningen som gjordes utomhus har fler parametrar kunnat identifieras. Följande värden har tagits fram (beteckningar enl. SSEN 12975).

Parameter	Aquasol Big		Mazdon 30/TMA-30	
	Simulering	Validering	Simulering	Validering
$\eta_{0(\text{Direkt})}$	0.786	-	0.801	-
$\eta_{0(\text{Diffus})}$	0.759	-	0.686	-
$\eta_{0(\text{Global})}$	-	0.772	-	0.761
a_1	2.73	2.39	0.63	0.84
a_2	0.030	0.042	- (ej signifikant)	- (ej signifikant)
b_0	0.10	-	0.18	-
MCE	5244	-	6316	-

Då vakuumsrören har ett vinkelberoende som inte följer en standard b_0 -funktion över hela området för infallsvinkeln har en vinkelupplöst anpassning gjorts, d.v.s. ett värde på $\eta_{0(\text{Direkt})}$ för varje vinkelintervall bestäms. Detta ger följande värden.

Vinkelområde (grader från normalen till solfångaren)	η_0 (Direkt)
0-20	0.785
20-30	0.787
30-40	0.795
40-50	0.772
50-60	0.691
60-70	0.522

De vinkelupplösta värdena har enbart använts för en jämförelse mellan de två solfångarnas vinkelberoenden i kapitel 5.

Ovanstående värden för solfångarna ger följande årsutbyten vid 50°C enligt SPs energideklaration för solfångare (Minsun):

Aquasol Big: 409 kWh/m²

Mazdon 30/TMA-400: 642 kWh/m²

Alltså oförändrade värden jämfört med tidigare mätningar.

Provning av kombitanken

Genom laboratorieprovningen (inom Task 26) har tankens fysikaliska parametrar bestämts. Dessa har sedan tillsammans med mätningarna av solfångarna legat till grund för de simuleringar som gjorts.

Provningen av tanken görs genom att varje slinga och dubbelpport brukas separat i ett antal olika uppladdningar och urladdningar med konditionering före och efter. I provningen har även tappvarmvattenautomaten ingått. Mätdata används sedan för att identifiera parametrarna i en halv fysikalisk modell av tanken (Trnsys Type 140). Detta görs enligt förstandarden ENV 12977-3.

Ekvationen för tappvattenautomatens UA-värde beskrivs genom ekvationen:

$UA_{tot} = uap * (q_p + q_s) ^ P$, där UA_{tot} är totala UA-värdet för växlaren, q_p är flödet på primärsidan, q_s är flödet på sekundärsidan och uap och P är konstanter.

Identifierade parametrar

Identifieringen har gett följande parametrar. Höjderna som anges nedan är relativa mot tankhöjden på 1600 mm.

Beskrivning:	relativ höjd	Temp-givare
Höjden för utloppet till tappvattenautomaten (zoVVdp1)	0.99	ToTVA
Höjden för inloppet från tappvattenautomaten (ziVVdp1)	0.08	TiTVA
Höjden för utloppet till radiatorkretsen (zoULRdp2)	0.97	ToULR
Höjden för inloppet från radiatorkretsen (ziULRdp2)	0.277	TiULR
Höjden för översta anslutningen som används vid konditionering (zoKonddp3)	0.979	ToTVA
Höjden för understa anslutningen som används vid konditioneringen (ziKonddp3)	0.01	TiTVA
Höjden för pelletsladdningens inlopp (ziLR1dp5)	0.99	TiLR
Höjden för pelletsladdningens utlopp (zoLR1dp5)	0.798	ToLR
Konstanten för beskrivning av tappvattenautomatens UA-värde (uap)	0.894	--
Exponenten för beskrivning av tappvattenautomatens UA-värde (P)	0.969	--
Tankens aktiva volym (Vs)	0.910	--

Den vertikala värmeledningen i tanken (ks)	2.72	--
Kombitankens UA-värde (UAtank)	21.42	--
Höjden för solvärmeladdningens inlopp (zhxsi)	0.525	TiSOL
Konstanten för UA-värdet på solvärmeslingan (UAhxso)	0.02	--
Första exponenten för solvärmeslingans UA-värde (b11)	0.552	--
Tredje exponenten för solvärmeslingans UA-värde (b13)	1.75	--
Höjden på temperaturgivaren för tanktoppen (zttt)	0.90	TTANKTOPP
Höjden på temperaturgivaren för solvärmens referenstemperatur (ztsolref)	0.15	TSOLREF
Fasta parametrar för modellen		
Tankens höjd	1.6 meter	--
Höjden för solvärmeladdningens utlopp (zhxso)	zhxsi-0.42	ToSOL

Observera att även om två portar har samma höjd så kan den ”matematiska” höjden vara olika beroende på vilket håll flöde går med mera. Även en port som används till olika saker kan få 2 olika höjder beroende på vad den används till, se t.ex. zoKonddp3 – zo-ULRdp2.

Validering

Efter identifieringen gjordes en validering mot en 200 timmar lång mätsekvens där alla dubbelportar och solvärmeslingan används. Mätsekvensen ingick inte i underlaget för parameteridentifieringen. Resultatet från valideringen m.a.p. energier blev följande:

Dubbelport / krets	Uppmätt energi (kWh)	Kalkylerad energi (kWh)	Skillnad (%)
Pelletsspanna	80.47	80.58	0.14
Radiatorkrets	77.31	78.17	1.11
Solvärme	30.97	31.72	2.42
Tappvarmvatten	25.44	24.98	-1.80

Som synes är skillnaderna väldigt små sett till energimängd över hela perioden. Även om man ser till energier över kortare perioder, i intervall om 10 timmar är skillnaden som störst -2.77% för pellets-kretsen.

Simulering med systemmodell

Mätningen av de två systemen under ett år har gett en bild av hur systemen arbetar under just de förhållanden som rått under mätåret. Hur systemen uppför sig då man ändrar dimensionering eller belastning vet man dock inte. För att inte behöva prova de två kombisystemen under ytterligare fyra-fem år med olika belastningar och solfångarareor kan man då i stället förlita sig på beräkningar utförda med hjälp av simuleringsmodeller av systemen. Dessa modeller är i huvudsak uppbyggda av komponentmodeller för solfångare, tank, panna och styrning. Var komponent beskrivs i modellerna av en uppsättning parametrar. I detta projekt har modellparametrar för solfångarna och för tanken bestämts genom särskilda komponentprov, se bilaga 6 och 7.

Programverktyg och indata

För systemsimuleringarna har använts programmet TRNSYS med komponentmodellen Type 140 ver. 1.95 för tanken. För solfångaren har använts Type 1 i valideringarna och Type 132 i årssimuleringarna. Att olika modeller använts beror på att mätdata för diffus solinstrålning saknades i valideringssekvenserna. Den solfångarmodell som använts för årssimuleringarna är med avgjort noggrannare än den som använts i valideringen. Klimatdata har varit i form av entimmasvärden och klimatet Stockholm 1986. Tidssteget i simuleringen har varit två minuter. Tappprofilen har bestått av fyra tappningar per dag kl. 07.00, 12.00, 16.00 och 19.00 med proportionerna 2, 1, 1 och 1 samt totalt ca 250 liter per dag. För driftfallet med förhöjd tappvattenlast har dygnssumman varit ca. 360 liter per dag och för driftfallet sommarlast jämförbar med tappvattensystem ca. 150 liter per dag.

Som underlag för simuleringsberäkningarna har tre olika hus definierats. Ett med högt uppvärmningsbehov, ett med relativt lågt uppvärmningsbehov och ett med ett mycket lågt uppvärmningsbehov. Samma typ av radiatorsystem har antagits för alla tre husen, men något energisnålare hushållsmaskiner ju lägre den totala energiförbrukningen varit. För driftfall 1 har antagits en genomsnittlig internlast motsvarande 780 W, för driftfall 2 700 W och för fall 3 620 W. Internlasten ger en temperaturhöjning som i sin tur gör att uppvärmningsbehov finns under färre timmar på året ju större höjningen är. Vid en höjning på tre grader behövs alltså uppvärmning från 17 graders utetemperatur och lägre, eftersom önskad inomhustemperatur satts till 20 grader.

Tabell 1. Parametrar som legat till grund för beräkning av de tre olika radiatorlasterna.

Driftfall/ radiatorlast [kWh]	Dim. ute- Temp. [°C]	Dim. fram- ledning- temp. [°C]	Dim. returtemp. [°C]	Temphöjning pga internlast [°C]	Husets Förlust- faktor [W/K]	Dim. effekt [kW]
1/ 22 080	- 22	55	45	3.0	224	8.7
2,3,4,6/ 10 860	- 22	55	45	5.3	133	4.9
5/ 4150	- 22	55	45	8.7	72	2.4

I beräkningen av radiatorlasterna har ingen hänsyn tagits till husens termiska tröghet. Det innebär att resultaten är mer giltiga för ett "lätt" hus än för ett trögt. I ett stenhus jämnas variationerna i utomhustemperatur ut och maximala effektbehovet sjunker. Be-

hovet av uppvärmning under enskilda dagar eller timmar med låga utetemperaturer minskar också, varför täckningsgraden och besparingen som solvärmern ger i ett sådant hus blir lite lägre.

Validering av systemmodellen

För att visa modellens giltighet eller överensstämmelse med verkligheten genomför man en s.k. validering, dels av de enskilda komponentmodellerna, dels av systemmodellen som helhet. I tabellen nedan redovisas resultaten av validering av systemsimuleringsmodellen mot två olika mätsekvenser från systemprovningen. Först en sommarsekvens med enbart tappvattenlast och sedan en höstsekvens med både radiator- och tappvattenlast.

Tabell 2. Resultat av modellvalideringen för systemen under 22 dagar i maj.

	Tillfört pellets [kWh]		Tillfört solvärme [kWh]		Radiatorlast [kWh]		Tappvattenlast [kWh]	
	Mätt	Beräknat	Mätt	Beräknat	Mätt	Beräknat	Mätt	Beräknat
System 1 Vakuumsör	39	23	421	424	-	-	263	267
System 2 Plan	44	36	384	374	-	-	262	250

Tabell 3. Resultat av modellvalideringen för systemen under 13 dagar i oktober.

	Tillfört pellets [kWh]		Tillfört solvärme [kWh]		Radiatorlast [kWh]		Tappvattenlast [kWh]	
	Mätt	Beräknat	Mätt	Beräknat	Mätt	Beräknat	Mätt	Beräknat
System 1	875	897	65	73	798	806	138	142
System 2	861	892	62	72	788	799	137	144

Valideringarna visar att avvikelserna mellan modell och mätning varierar mycket mellan olika kretsar och mellan de olika årstiderna. Relativa avvikelser för pannkretsen är störst under sommerperioden och för solkretsen under höstperioden. I termer av absolut andel av hela balansen i respektive period är avvikelserna helt acceptabla. En uppskattning av avvikelsernas inverkan på hela året har gjorts genom att anta att modellfelet för majsekvensen gällt icke uppvärmningssäsong och felet för oktobersekvensen gällt för uppvärmningssäsong. Detta ger en överskattning av tillförd solenergi till tank med 4.5 % för system 1 och med 3 % för system 2. Genom att vi i valideringen använt en förenklad modell av solfångaren jämfört med i årssimuleringen kan resultaten från årssimuleringen i realiteten förväntas ha en bättre överensstämmelse med verkligheten. En bidragande orsak till avvikelserna kan vara att modellen inte tar hänsyn till inverkan av dag och eventuell frost vilket skulle kunna bidra till en överskattning av solfångarutbytena. Rör-förlusterna är ytterligare en osäkerhetsfaktor genom att omgivande lufttemperaturen inte har mätts i vindsbjälklaget. Slutligen är styrningen av solfångarna en osäkerhet genom att temperaturen vid styrgivaren i tanken inte har ingått i mätupställningen. En mer detaljerad analys av hur styrningen arbetat har därför inte varit möjlig.

För systemens täckningsgrader är resultaten inte lika entydiga. För majsekvensen överskattar modellen båda systemens täckningsgrader med sju respektive tre procent relativt eller med 6 och 2.5 procent absolut och för höstsekvensen underskattas täckningsgraderna med ca. tjugo procent relativt eller 1-1.5 % absolut. Eftersom den senare beräknas som skillnaden mellan två stora tal kommer mätosäkerheten att vara större än det beräknade modellfelet vilket alltså inte är signifikant. En osäkerhet på tio procent relativt kan därmed med viss marginal antas gälla för de simulerade årstäckningsgraderna.