



Mätcentralen
Leif Nilsson

ISSN 1400-5840
Dokument 17:2004

Takmonterade solfångare i Rud

Utvärdering



Leif Nilsson
Bengt Perers

Statens Energimyndighet projekt nr P21427-1

Göteborg 2004

INNEHÅLL

1	SUMMARY IN ENGLISH	3
2	SAMMANFATTNING	4
3	BAKGRUND	5
4	RUD / KARLSTADS BOSTADSAKTIEBOLAG	7
5	PROJEKTETS GENOMFÖRANDE	10
5.1	Förprojektering	10
5.2	Entreprenörer och byggnation	10
6	BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN	13
6.1	Solfångarna	13
6.2	Laddkretsen och ackumulatorm	14
6.3	Systemets uppbyggnad och funktion	16
7	MÄTNINGAR	18
8	DRIFTRESULTAT	19
9	RESULTAT FRÅN SIMULERING / MINSUN	25
10	NORMALISERING OCH OPTIMERING	27
11	EKONOMI	29
12	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	30
13	REFERENSER	31
B1	MÄTUTRUSTNING	32
B2	ADRESSLISTA, DELTAGANDE FÖRETAG	34

1. SUMMARY IN ENGLISH

A solar heating plant with roof-placed collectors was built at Rud, a few km north of Karlstad city centre, by Karlstads Bostadsaktiebolag (KBAB). The collectors, Aquasol Big AR 13.0, have a total aperture of 98.3 m². The plant produces pre-heated domestic hot water and is built to cover only a small fraction of the annual DHW demand. The purpose of this strategy is to create low collector temperatures and thus high efficiency.

The collectors are linked to a combined solar heat/ventilation heat recovery system in a room just below the roof where the collectors are placed. A heat accumulator consisting of 5 cylindrical tanks is used as a short-time store and heat moderator. The pre-heated water can be additionally heated from the district heating net, if necessary.

Monitoring of the plant was performed for 14 months during 2003 and 2004. This report is a summary of the results and analysis.

Rud is a very attractive plant from an architectural point of view, with the collectors discreetly fitted on the roof. It has performed very well, with unusually high heat production. With an average collector temperature of 37 °C, it produces 575 kWh/m²,annum, corresponding to a specific investment of 6.59 SEK/kWh,år. The plant can be expected to produce 56.5 MWh per annum, which is 9 % of the demand for domestic hot water.

The system flow in the solar collectors and in their secondary circuit is too high. A reduction with 50 % would improve the heat production further.

This report also comprises a simulation of the results to an average year and some comments on the plant's production under normalised conditions. The results, in short, were :

- The plant in its present condition :
Production 575 kWh/m²,annum
Specific investment 6.59 SEK/kWh,annum
- The plant, with reduced system flow :
Production 625 kWh/m²,annum
Specific investment 6.06 SEK/kWh,annum
- The plant, with reduced system flow and with optimum collector tilt :
Production 675 kWh/m²,annum
Specific investment 5.61 SEK/kWh,annum

The results from this investigation clearly rank the Rud solar heating plant at a top position among Swedish demonstration plants.

2. SAMMANFATTNING

I bostadsområdet Rud, några km norr om Karlstads centrum, har Karlstads Bostadsaktiebolag (KBAB) uppfört ett takplacerat solvärmesystem med 98.3 m² apertur. Solfångarna är av typ Aquasol Big AR 13.0. Anläggningen, som producerar förvämt tappvarmvatten, har avsiktligt dimensionerats med låg täckningsgrad, för att solfångarna skall kunna drivas vid låg medeltemperatur och därmed med hög verkningsgrad.

Solvärmeanläggningen är kopplad till ett kombinerat solvärme/värmeåtervinningssystem som byggts upp i ett vindsutrymme omedelbart under taket med solfångarmodulerna. En varmvattenackumulator bestående av 5 seriekopplade tankar om tillsammans 2500 liter tjänar som korttidslager och effektutjämnare. Förvämt vatten leds från anläggningen till en undercentral i en angränsande byggnad, där spetsning med fjärrvärme kan ske vid behov.

Mätcentralen har mätt och utvärderat anläggningen under sommaren 2003 till hösten 2004. I denna rapport redovisas erfarenheterna och resultaten av uppföljningen.

Anläggningen är mycket välbyggd och ger ett prydligt och gediget intryck. Solvärmesystemet har fungerat väl och givit sällsynt höga produktionsresultat. Vid en drifttemperatur av drygt 37 °C produceras ca 575 kWh/m²,år. Det förväntade årsutbytet är 56.5 MWh, motsvarande en årstäckningsgrad för VV av ca 9 %.

Systemflödet i solfångarna samt i laddkretsen är för högt. En minskning till hälften skulle ytterligare förbättra anläggningens produktion.

Utvärderingen har också omfattat en simulering till medelår och en begränsad normalisering av resultaten. Resultaten av detta kan sammanfattas med följande nyckeltal:

- Anläggningen i nuvarande skick :
Produktion 575 kWh/m²,år
Specifik investering 6.59 SEK/kWh,år
- Anläggningen med reducerat systemflöde :
Produktion 625 kWh/m²,år
Specifik investering 6.06 SEK/kWh,år
- Anläggningen med reducerat systemflöde och optimal solfångarlutning :
Produktion 675 kWh/m²,år
Specifik investering 5.61 SEK/kWh,år

Utvärderingens resultat placerar anläggningen i absolut toppklass bland svenska demonstrationsanläggningar.

3. BAKGRUND

Det finns många exempel på solvärmeanläggningar som integrerats i byggd bostadsmiljö. En vanlig användning av värmeproduktionen i sådana sammanhang är till förvärmning av tappvarmvatten. Eftersom solvärmesystem alltid har störst verkningsgrad då de drivs vid låg systemtemperatur är VV-förvärmning ett särskilt väl lämpat användningsområde – producerad värme kan i princip nyttiggöras vid alla temperaturer som är högre än inkommande kallvatten. Förutom att den låga drifttemperaturen kan ge god verkningsgrad vinner man också fördelen att solvärmesystemets drifttid kan bli lång, både på årsbasis och på dygnsbasis.

Inkopplingen av solvärmesystemen för tappvarmvattenförvärmning sker som regel via fastighetens varmvattenackumulator. Helt avgörande för driftresultatet blir då att denna har god temperaturstratifiering. Det har också stor betydelse hur hög täckningsgrad solvärmens har i den totala varmvattenproduktionen. Vid en högre täckningsgrad kommer solvärmesystemet som helhet att arbeta vid högre temperatur under en stor del av drifttiden, och detta måste hanteras med en väl fungerande driftstrategi om inte förlusten av verkningsgrad skall bli besvärande.

Solvärmeanläggningar har ett symbolvärde och visar på ett påtagligt sätt att man driver en miljövänlig policy, något de flesta bostadsbolag numera gärna vill uppvisa. Som regel är solvärmens bara en av flera energiåtgärder – i bostadsbolagbolag där man driver ett solvärme-program är det vanligt att man också i andra sammanhang har ett aktivt energitekniskt program. Detta är också i hög grad fallet i Karlstads Bostadsaktiebolag (KBAB), där man har två ”energijägare” anställda på 100 %. Deras verksamhet har visat sig mycket lönsam och en stor del av den ekonomiska vinsten återinvesteras i nya energiprojekt.

Det är viktigt att solvärmeinstallationer i bostadsmiljö blir attraktiva även ur arkitektonisk synvinkel. Takplacerade solfångare kan byggas som en integrerad del av taket, där omständigheterna så medger, alternativt kan taket användas som underlag för fristående, stativmonterade solfångarmoduler.

Den i tiden mest närliggande referensramen för svenska demonstrationsanläggningar finns att söka i materialet från FUD-programmet 1996-99, som sammanfattats i en rapport [1]. Några av delprojekten, som kan tjäna som jämförelse för den föreliggande studien, genomfördes av Mätcentralen. Bland dessa t.ex. ett system med takmonterade solfångare och flödesstyrning [2], takmonterade system med måttlig totalarea [3] samt ett relativt kostnadseffektivt system med dränerande solfångare [4], för att endast nämna några.

Genomgående för projekten inom FUD-programmet 1996-99 var att anläggningarna inte nådde upp till (de mycket krävande) ekonomiska målen. Däremot var flera av delprojekten tekniskt lyckade anläggningar, många av dem hade mycket goda driftprestanda.

Nyckeltalen för de uppmätta anläggningarna *utan reflektorer* var sammanfattningsvis : årsutbyte 240 – 450 kWh/m² och specifik investering 6 – 16 SEK/årlig kWh. För anläggningar av Ruds storlek är det ekonomiska målet en specifik investering av 5 SEK/årlig kWh.

I bostadsområdet Rud har solfångarna placerats liggande på taket. De är mycket välintegrerade, och genom takets låga lutning (22 °) är de egentligen bara synliga från marken på ganska stort avstånd från byggnaden. Solfångarmodulerna är samlade i tre sammanhållna grupper som täcker endast en del av den tillgängliga takytan. Byggnadens förutsättningar har fått bestämma solfångarnas inriktning, de har alltså 22 ° lutning och är riktade i kompassriktning 170 ° (10 ° öster om syd). Solfångararean, apertur 98.3 m² har medvetet valts liten, vilket kommenteras utförligare senare i denna rapport.

Demonstrationsprojektet Rud är det första i en serie om 5 st. som beställdes under sommaren 2003, inom programmet FUD/beställardrivna projekt. De 5 projekten genomförs med stöd från Statens Energimyndighet. Ett stort tack riktas till Anita Larsson, handläggare hos STEM, som med sin resoluta och effektiva handläggning gjort så mycket för att underlätta arbetet. Tack också till Hans Isaksson, K-konsult, som varit den stimulerande och sammanhållande kraften i BD-gruppen.

Ett stort tack riktas också till några andra personer som på olika sätt bidragit till genomförandet av projektet : Willy Ociansson och Anders Björbole hos Karlstads Bostadsaktiebolag (KBAB) som med stor entusiasm och kunnighet på många sätt bidragit till projektet. Deras glada och vänliga gästfrihet har gjort projektarbetet till ett rent nöje. Ett stort tack också till Kenneth Eriksson, KBAB, för all hjälp med datakommunikation, och till husvärderna Bertil Engström för god hjälp med att hålla mätstationen i gång.

4. RUD / KARLSTADS BOSTADSAKTIEBOLAG

KBAB:s bostadsområde i Rud är beläget ca 2 km norr om Karlstads centrum. Området ligger i en slinga av Horsensgatan och består av ett 20-tal huskroppar, fördelade på två kvarter, Mangen och Rottnen. Huskropparna är 3-4 våningar höga och är byggda så att de bildar ett antal skyddade gårdar. Områdets geografiska belägenhet är ca 59.41 °N, 13.55 °Ö.

Husen byggdes i slutet av 60-talet och påbyggdes med en extra 4:e våning i lätt konstruktion 1991. I samband med påbyggnaden gjordes också en allmän uppfräschning av byggnaderna samt installerades hissar.

En vecka före julhelgen, i december 2001, eldhärjades det västligaste huset i kvarteret Mangen svårt. Skadorna på huset, både av brand och av vatten, blev avsevärda. Vid den ombyggnad som blev nödvändig ökades nivån på brandsäkerheten högst väsentligt (mera om detta i avsnitt 5). Vid rekonstruktionen valde man att inte återuppbygga den översta utbrända våningen. Solvärmesystemet installerades i samband med den mycket omfattande rekonstruktionen och apparatur för värmeanläggningen placerades i det nyskapade vindsplanet. Återinflyttning av de boende skedde efter drygt ett år, under oktober 2002 – februari 2003.



Figur 4.1 Branden i december 2001 vållade stora skador på byggnaden. Observera hur brandgaserna från den övertända översta våningen kan strömma in genom takfoten.

Husen i kvarteret Mangen innehåller sammanlagt 177 lägenheter av varierande storlek, från 1RK till 4RK. Den totala boendeytan är 13246 m².

Solfångarna finns på taket till den husflygel som i fig. 4.2 har siffermarkering 92, 98. En kort kulvert förbinder solvärmecentralen med en värmeundercentral i huset omedelbart till sydost. Solvärmesystemet levererar förvämt tappvarmvatten till de fem husen i kvarteret Mangen, med nummer 82-126.

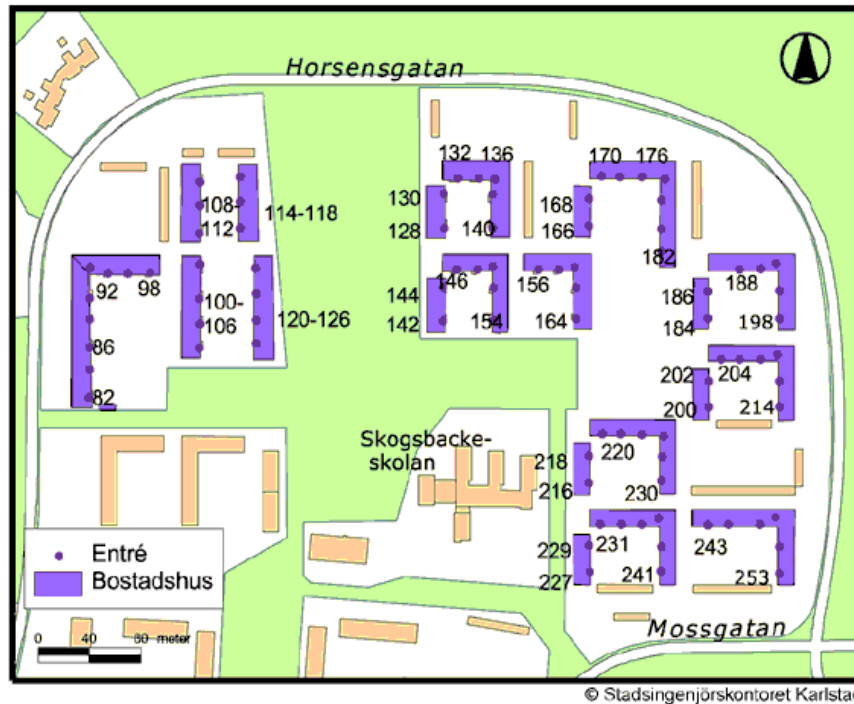


Fig. 4.2

Bostadsområdet i Rud. Solfångarna är placerade på den södervända delen av taket på byggnadskroppen längst i väster, på den flygel som i figuren har beteckning nr. 92-98. Från flygeln vid nr. 98 har en kulvert dragits till en undercentral i huset med nr. 100-106.



Figur 4.3 Solfångarna från gårdssidan. Ytan är uppdelad i tre grupper. Solfångarna ansluter på ett prydligt sätt till taket. På grund av den relativt låga taklutningen är de endast synliga från marken på lite avstånd från fasaden. Den centrala solfångargruppen skuggas obetydligt i det sydöstra hörnet i morgonsolen, av taket till det angränsande trapphuset. Även kvällstid kan viss skuggning förekomma. Skuggeffekterna har dock obetydlig betydelse för utbytet från anläggningen.

5. PROJEKTETS GENOMFÖRANDE

5.1 Förprojektering

Planerna att installera solvärme blev aktuella i samband med restaurationen av det brandskadade huset i Rud. Man beslöt sig för att inte återuppbygga det översta våningsplanet utan i stället ha vindskonstruktionen ovanpå det tredje våningsplanet, så som huset ursprungligen var byggt i slutet av 60-talet. Planeringen och förprojekteringen av solvärmesystemet utfördes som ett eget projekt av KBAB. Appartrummet, i det nybyggda vindsplanet, planerades för att användas både för anslutning av solvärmens och för husets värmeåtervinningssystem.

Installationen av solfångarna på taket utfördes så att de ersatte takbeläggningen (taktegel) på den area de täcker. Takstolarnas bärighet var inget problem i sammanhanget.

För KBAB var solvärmeinstallationen också ett eget utvecklingsprojekt avsett att ge erfarenheter inför vidare utbyggnad. Man valde att bygga en anläggning med liten total apertur i förhållande till VV-behovet, i medvetande om att man då kunde räkna med att få en anläggning med hög driftprestanda. En fördel med denna strategi är också att samverkan mellan solvärme och övrig värmeproduktion blir mycket enklare. Vid högre täckningsgrad ställs långt större krav på noggrann förprojektering och dimensionering om anläggningen skall kunna drivas med god lönsamhet.

En anläggning av Rud:s typ blir alltså inte så ”känslig” för varierande förutsättningar och kan därför sägas ha hög repeterbarhet : om förutsättningar finns med lämpliga ytor för modulerna, och solfångarytan väljs måttlig, kan man uppföra sådana anläggningar på många fastigheter, med minimala krav på detaljerade förstudier.

5.2 Entreprenörer och byggnation

Entreprenaden genomfördes som en samordnad generalentreprenad, styrd av KBAB. Entreprenörerna var :

Rör : YIT AB Karlstad

El : Elservice i Karlstad AB

Entreprenaden genomfördes utan problem eller missöden, och KBAB fick intrycket att entreprenörerna uppfattade uppdraget som annorlunda och stimulerande och därför utförde ett extra engagerat och fullgott arbete.

Kontaktinformation till entreprenörerna finns sammanställd i bilaga B2.

Särskilt stor vikt lades vid brandskyddsåtgärder vid ombyggnaden. Enligt KBAB:s analys var det påbyggda 4:e våningsplanet en del av förklaringen till att brandförloppet varit så häftigt och skadorna så omfattande, på grund av att det inte haft lika gott brandskydd som de underliggande våningsplanen. Brandgaserna från det brinnande 4:e planet tog sig in på vinden genom takfoten och bidrog till att branden snabbt spreds i husets längsriktning (detta förlopp kan man ana i figur 4.1). För att förebygga problem i framtiden vidtog KBAB åtgärder som kan vara intressanta även för andra bostadsbolag att ta del av :

Vid ombyggnaden av ”brandhuset” byggdes en helt tät takfot, utförd i ”Protect-skivor”, se figur 5.1. Brandsektioneringen av det nyuppbyggda vindsplanet gjordes med stor omsorg och uppfyller med god marginal aktuell brandskyddstandard.

Vattenskadorna på huset var avsevärda. Det som nu är vindsbjälklaget var mättat med släckvatten. För att förhindra att vattenånga från torkprocessen kondenserar på undersidan av yttertaket har man installerat rotoravfuktare av Munters fabrikat. se figur 5.2. Avfuktarna styrs av fuktgivare som anslutits till reglersystemet i apparatrummet.

I de övriga husen i Rud, de med påbyggd 4:e våning, har man kompletterat med nya brandväggar på vind, satt upp trådlösa branddetektorer på vindarna, och installerat boendesprinklersystem i översta våningen. Vid ny- och ombyggnader bygger man med brandtätad takfot, brandsäkrar hisschakten samt utför kabel- och rör genomföringar med extra stor omsorg.



Fig 5.1 Tät takfot uppbyggd av Protect-skiva. Isolering av lösull.



Fig 5.2 Rotoravfuktare på vinden, av fabrikat Munters. Avfuktarna styrs av fuktsensorer (Vaisala) kopplade till styr/reglersystemet i apparatrummet.

6 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN

6.1 Solfångarna

De plana solfångarna är av typ Aquasol Big AR 13.0 (Arnes Plåtslageri AB). De är fördelade över tre områden på taket, med en central grupp om 4 moduler, och med två grupper om 2 moduler vardera på sidorna av denna. Se figur 4.2 och 6.1.

Aquasol Big har en absorbatör helt i koppar med selektiv beläggning. Absorbatorn tillverkas av en kopparfläns som svetsats på ett heldraget kopparrör utan skarvningar. Glaset är härdat, järnfritt och antireflexbehandlat. Modulramarna är utförda i lackerad galvad plåt. Absorbatorns baksida är isolerad med 60 mm mineralull med aluminiumfolie, och sidorna med samma material men med 30 mm tjocklek.

Solfångarnas totala aperturyta uppmättes på plats till 98.3 m³. Lutningen är 22 ° och de är riktade mot kompassriktning 170 ° (10 grader öster om syd). Som värmebärare används vatten med 35 % propylenglykol (Dowcal). Värmebärarflödet i solfångarkretsen är fast inreglerat till ca 1.13 l/s. Solvärmekretsens säkerhetsventil utlöser vid 6 bar övertryck. Solfångarna och deras montering på taket ger ett mycket sobert intryck.

I nederkanten av solfångarmodulerna finns snörasskydd. Snö som samlas på glatta solfångarglas har ofta en tendens att lossna och rasa av i form av en lavin. Detta inträffade också i Rud vid ett tillfälle innan snörasskydden hunnit monteras. Raset förorsakade betydande skador på ett arbetsfordon som var parkerat nära söderfasaden.



Figur 6.1 Solfångare på tak, med snörasskydd.

6.2 Laddkretsen och ackumulatorn

Glykolkretsen från solfångarna värmeväxlas mot en laddkrets i ett rum i vindsplanet omedelbart under solfångarna. Laddkretsens överför också värme från värmeåtervinningen i frånluften till ackumulatorsystemet. Flödet i laddkretsen drivs med en varvtalsstyrd pump och varierar beroende på drifttillstånd, se nedan. Laddkretsen är en lågtryckskrets, försedd med ett öppet expansionskärl i apparatrummets tak.

Ackumulatorn består av fem seriekopplade cylindriska tankar med en volym om sammanlagt 2500 l. Värmeväxlingen mot laddkretsen sker genom att denna cirkulerar genom en yttre mantel kring varje ackumulator. Den totala volymen av mantlingen är 720 l, en volym som alltså i viss mån bidrar till lagrets kapacitet och effektutjämning. Ackumulatortankarna är isolerade med Armaflex.

Hela ackumulatorsystemet och systemet med pumpar och ventiler visas i figur 6.2 och figur 6.3

Solvärmesystemet, frånluftsvärmeåtervinningen och laddkretsen styrs av en reglercentral av typ Siemens DUC PRU 64.



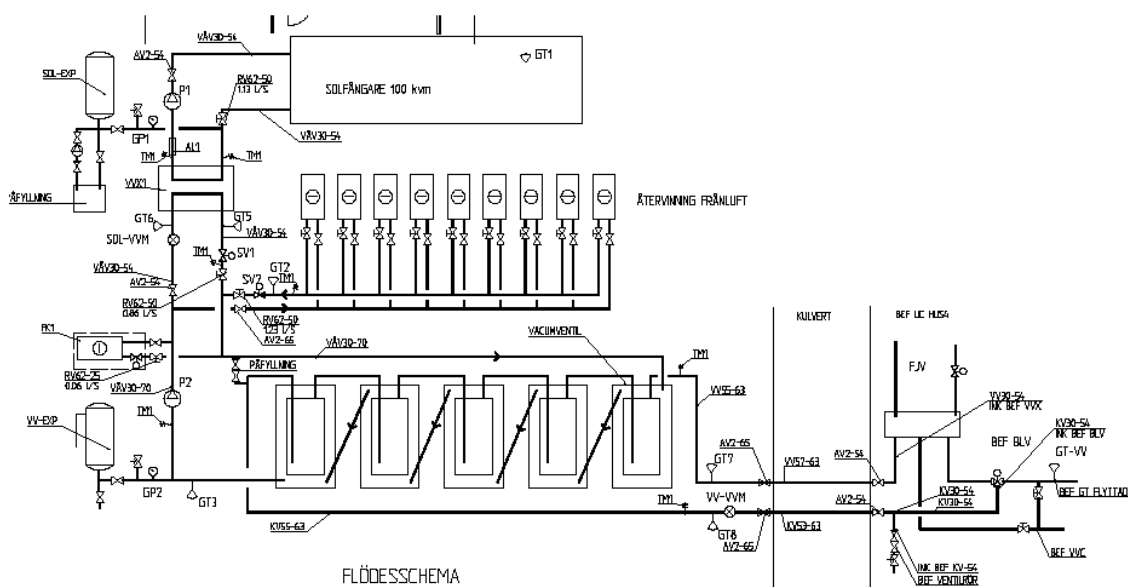
Figur 6.2 Ackumulatorn består av 5 cylindriska tankar, placerade i ett rymligt apparatrum i vindsplanet under solfångarna.



Figur 6.3 I apparatrummet finns också pumpar, ventiler och reglerutrustning för anläggningen. Hela pump- och ackumulatorsystemet har placerats över ett invallat och väldränerat område på golvytan, för att garantera att ett eventuellt läckage inte skall kunna tränga ned genom byggnaden. Den ljusblå flödesmätaren i bildens förgrund är Mätcentralens. Hela systeminstallationen är mycket prydlig och välgjord.

6.3 Systemets uppbyggnad och funktion

I flödesschemat, figur 6.4, visas hela systemuppbyggnaden. Större delen av systemet är uppbyggt i det tidigare nämnda apparatrummet på vindsplanet omedelbart under solfångarna, men ventilationsåtervinningen är utfördelad över hela vindsytan, per trapphus. Det förvärmade tappvarmvattnet förs vidare i en kulvert till en undercentral i angränsande hus (i sydost).



Figur 6.4 Flödesschema

Beskrivning

Solfångarkretsen, med de takplacerade solfångarna, drivs av pump P1. Värmen från solfångarna överförs till laddkretsen via värmeväxlare VVX1.

Systemet för frånluftsvärmeåtervinning är inkopplat parallellt med VVX1.

Flödet i laddkretsen drivs av en varvtalsstyrd pump, P2. Flödesfördelningen i laddkretsen mellan de två parallella grenarna, till sol respektive återvinning, styrs av ventilerna SV1 och SV2. Laddkretsen cirkulerar genom de seriekopplade mantlarna på de fem ackumulatorerna.

Förvämt tappvarmvatten tas ut ur ackumulatorsystemet via den ledning som syns till höger, (med temperaturmätficka TM1). Motsvarande mängd nytt kallvatten för förvärmning tas in i ackumulatören längst till vänster. Laddkretsen och konsumtionsvattnet är dragna så att de bildar ett system för motströmskopplad värmeväxling. Det förvärmade vattnet leds i en kulvert till en närbelägen undercentral där spetsvärmning med fjärrvärme sker, vid behov.

Funktion

I laddkretsen cirkulerar ständigt ett flöde som drivs av P2. När temperaturen från värmeåtervinningen (GT2) överstiger returtemperaturen från ackumulatormantlingen (GT3) öppnar ventilen SV2 för ett flöde på en konstant, injusterad nivå. Värmeåtervinningen ger en konstant temperaturnivå på ca 20-22 °C.

När GT3 överstiger GT2 stänger SV2 till 99 %. Endast ett minimalt basflöde får passera för att differensstemperaturmätningen GT2 / GT3 skall fungera.

Då solen värmer solfångaren kommer temperaturen GT1 att överstiga GT3, och då differensen uppgår till 5 °C startar cirkulationen i solfångarkretsen genom pump P1. Samtidigt öppnar ventilen SV1 och varvas pumpen P2 upp för att ta emot insamlad solvärme. Pumpen P2 varvtalsstyrs mot ett önskad värde på GT1 på 25 °C. Det ökade flödet i laddkretsen växlar solvärme mot ackumulatorn. Solvärmedriftfallet slås från då GT1 överstiger GT3 med mindre än 2 °C, genom att P1 stoppar och SV1 stänger.

7 MÄTNINGAR

Mätcentralen fick uppdraget att mäta och utvärdera solvärmeprojektet Rud genom beslut från STEM i slutet av juni 2003. Anläggningen hade då redan varit i drift en tid.

Planeringen av mätningarna och utvärderingen har fokuserats på systemfunktionen, med särskild inriktning på konsekvenserna av det medvetna valet av låg täckningsgrad för solvärmen och den okonventionella uppbyggnaden av varmvattenackumulatorn. Anläggningen har byggts för att ge låg medeldrifttemperatur och därmed hög verkningsgrad för solfångarna. Eftersom solvärmeinstallationen var en del av en större ombyggnad som blev nödvändig på grund av de svåra brandskadorna på fastigheten har också vissa byggnadstekniska åtgärder rörande brandsäkerhet kortfattat beskrivits (i avsnitt 5.2). Slutligen redovisas också anläggningens ekonomi i denna rapport (i avsnitt 11).

Anläggningen är försedd med ett antal mätgivare för övervakning, styr och regler, men som vanligen är fallet är dessas noggrannhet och omfattning inte tillräcklig för utvärderingsändamål. Därför byggdes ett mätdatasystem upp för utvärderingens behov. Solfångarnas och ventilationsvärmeåtervinningens energiproduktion mäts på sekundärsidan av VVX1 (laddkretsen) med tre temperaturgivare (Pt100) av god klass, samt två induktiva flödesmätare (Krohne). Vidare mäts ett antal systemtemperaturer för att klarlägga ackumulatorns temperaturstratifiering samt temperatur i inkommande kallvatten och utgående förvärrat VV (samtliga tempgivare av typ PT100). Solvärmekretsens status (pump P1) registreras via ett driftrelä i reglercentralen.

Utomhus mäts utetemperatur med en strålningskyddad tempgivare, samt solinstrålningen i solfångarnas plan med en pyranometer (Kipp & Zonen CM11).

Mätningarna har genomförts enligt en föreslagen CEN-standard [5]. Denna specificerar högsta tillåten mätosäkerhet samt samplingsfrekvens för mätningarna. Enligt denna standard skall mätdata ha så god kvalitet att några veckors mätningar skall räcka för att man med hjälp av parameteranpassning och simuleringsberäkningar skall kunna förutsäga energiutbytet per månad under ett normalår.

Mätningarna pågick under perioden 03-06-27 till 04-08-31 med mycket få avbrott (sammanslagt ett par dagar). Det finns alltså mera än ett helt års driftdata för utvärderingen.

En fullständig förteckning över de använda givarna och deras mätosäkerheter samt mera detaljer om uppläggen av mätningarna finns i bilaga B1.

8 DRIFTRESULTAT

I detta avsnitt summeras anläggningens driftresultat under de 14 månader mätningarna pågick.

Vidare demonstreras anläggningens systemfunktion genom några exempel, som valts ur insamlade data från början av juni -04.

Solvärmesystemet har fungerat mycket bra, helt utan egentliga driftavbrott eller behov av manuell betjäning. Start och stopp sker helt automatiskt så som avsetts vid programmeringen av reglerautomatiken.

Solvärmesystemets prestanda tas upp till detaljerad diskussion i avsnitt 9 i denna rapport.

I tabell 8.1 visas uppmätta driftresultat för solvärmesystemet samt för ventilationsvärmeåtervinningen. Som jämförelse har angivits förväntad varmvattenförbrukning. Denna har uppskattats utifrån tidigare uppmätt fjärrvärmeleverans och antagandet att 30 % av värmeleveransen går till VV-beredning (inklusive VVC-förluster), jämför [7]. I brist på detaljerade data har varmvattenförbrukningen antagits jämnt fördelad över samtliga månader.

	Förväntad förbrukning VV	Från sol	Täckning	Från v-återv	Täckning
	MWh	MWh	%	MWh	%
År -03					
Juli	55	10.30	18.7	1.33	2.4
Augusti	55	8.36	15.2	1.58	2.9
September	55	5.20	9.4	1.46	2.7
Oktober	55	3.17	5.8	1.28	2.3
November	55	0.26	0.5	2.48	4.5
December	55	0.06	0.1	2.73	5.0
År -04					
Januari	55	0.00	0.0	2.63	4.8
Februari	55	1.27	2.3	1.88	3.4
Mars	55	4.17	7.6	1.65	3.0
April	55	6.93	12.6	1.43	2.6
Maj	55	9.43	17.2	1.19	2.2
Juni	55	9.99	18.1	0.89	1.6
Juli	55	3.79	6.9	0.94	1.7
Augusti	55	7.74	14.1	0.94	1.7
Juli -03 - Juni -04	Summa	59.1	9.0	20.5	3.1

Tabell 8.1 Totalt varmvattenbehov samt förvärmning från solvärme respektive värmeåtervinning.

Som framgår av tabell 8.1 producerades 59.1 MWh solvärme på ett driftår. Detta motsvarar ca 9.0 % av VV-behovet. Räknat som specifik solvärmeproduktion gav året 601 kWh/m² år.

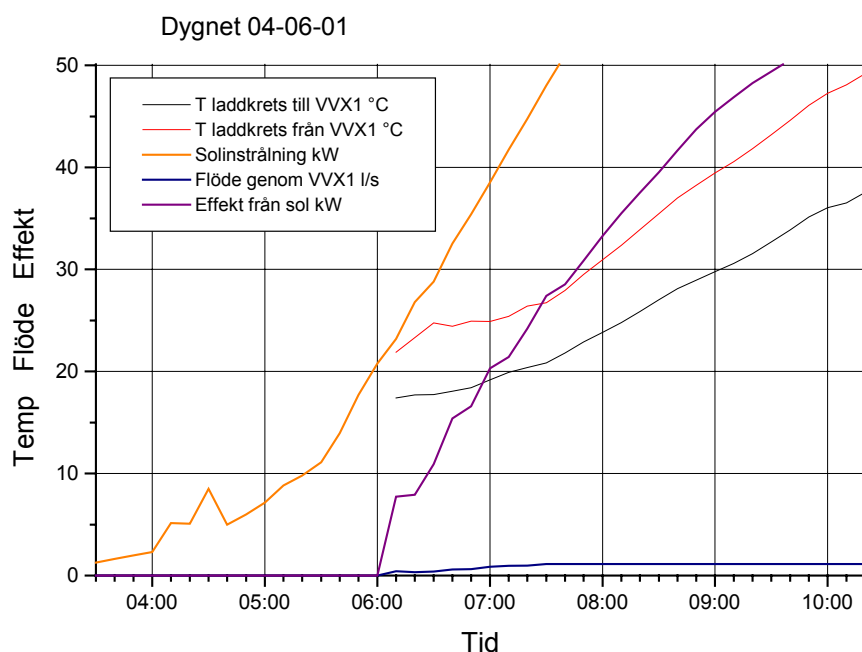
Värmeåtervinningen gav under samma år 20.5 MWh, ca 3.1 % av VV-behovet. Värmeåtervinningen tycks ha givit något bättre utbyte under -03 än under -04, troligen på grund av viss omprogrammering av reglersystemet under vintern 03-04. Omprogrammeringen syftade till att maximera utbytet från sol.

Det är också tydligt från tabell 8.1 att värmeutbytet från återvinningen och från sol konkurrerar. Under vintertid får man typiskt ca 4 MWh per månad från återvinningen, mot ca 2 MWh sommartid. Detta är en ofrånkomlig konsekvens av systemets driftstrategi och något man valt att acceptera.

Av totalt levererat värme från det kombinerade systemet kom 74 % från solvärme och 26 % från värmeåtervinningen. Denna fördelning används i den ekonomiska redovisningen i avsnitt 11 för uppdelning av vissa investeringskostnader.

Solvärmesystemets start/stoppförlopp

I figur 8.1 visas ett exempel på solfångarsystemets startförlopp. Den valda dagen, 04-06-01 var en solig och molnfri sommardag med god solvärmeproduktion. Tidsupplösningen i mätdata är 10 minuter.



Figur 8.1 Uppstartförlopp på morgonen 04-06-01.

Som framgår av figur 8.1 startade solfångarna kl 06.00. Vid denna tidpunkt var solinstrålningens effekt (summa över hela solfångarytan) ca 20 kW. Under tiden 06.00 till 07.20 reglerades flödet i laddkretsen upp av reglerystemet.

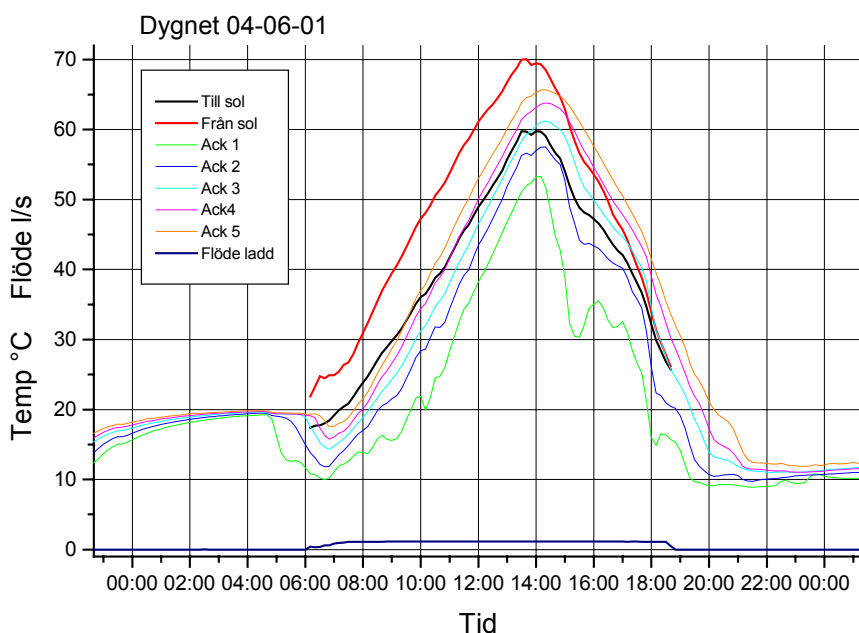
Vid driftstarten var temperaturdifferensen över VVX1 ca 4 °C. Temperaturen ”från VVX1” var vid starten ca 2 °C högre än ackumulatorsystemets högsta temperatur (jämför fig 8.2).

Startförloppet var lugnt och kontrollerat, utan tendens till svängningar. Insamlad effekt steg gradvis under förmiddagstimmarna (maximum nåddes ca 12.30).

Även stoppförloppet (syns ej i fig 8.1) skedde under god kontroll från reglercentralen. Det inträffade kl 18.20 då temperaturen i laddkretsen var ca 25 °C och Δt över VVX1 var 0 °C.

Systemtemperaturer under drift

Figur 8.2 visar temperaturer i laddkretsen och ackumulatorsystemet under drift, hela dygnet 04-06-01.



Figur 8.2 Systemtemperaturer i laddkretsen och ackumulatorsystemet. Temperaturerna i ackumulatorerna är mätta högt uppe i den inre delen ”i VV-volymen”, genom dykrör från ackumulatorernas tak.

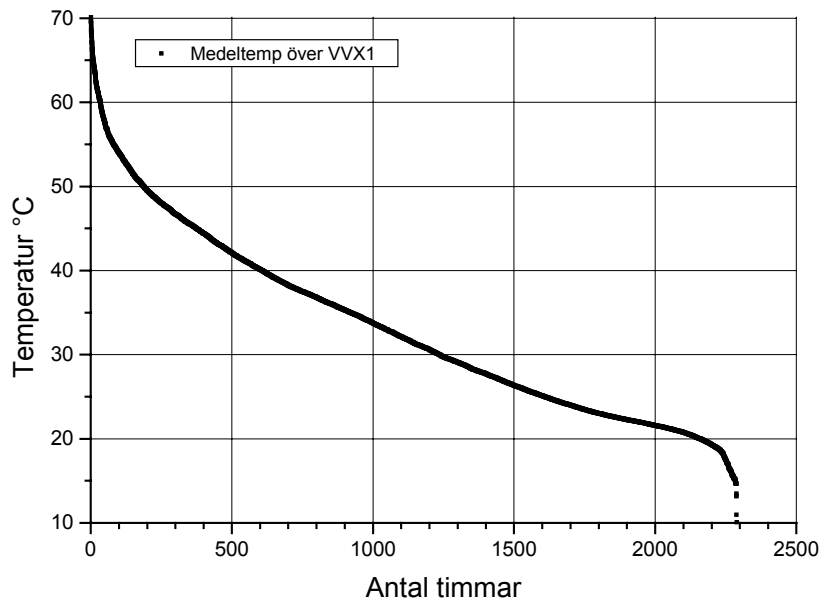
Som framgår av fig 8.2 stiger temperaturen i ackumulatorsystemet under inladdning av solvärme fram till ett temperaturmaximum strax efter kl 14. Värmeöverföringen mellan laddkretsen och den inre VV-volymen är inte den allra bästa, men bilden kompliceras också av uttag av VV och intag av KV ständigt sker under dagen. Ackumulatorvolymen är liten i förhållande till VV-konsumtionen, varför genomflödet av vatten till förvärmning spelar en stor roll för systemtemperaturerna.

Den tydliga sänkningen av ackumulatorernas temperaturer som syns mellan kl 05 och kl 07 beror på sedvanlig morgonförbrukning av VV, troligen främst till duschning etc.

Under eftermiddagen framgår trögheten i värmeöverföringen tydligt, när laddkretsens värme främst påverkar den kallare delen av ackumulatorsystemet. De två varmaste ackumulatorerna (5 och 4) dröjer kvar vid en högre temperatur än laddkretsen, medan värmen från denna i första hand överförs till ackumulatorerna 3,2 och 1.

Solvärmesystemets drifttemperatur

Ett solvärmesystems verkningsgrad är starkt kopplat till dess drifttemperatur. I Rud har systemet uppbyggts med sikte på låg drifttemperatur och hög systemverkningsgrad. Figur 8.3 visar varaktigheten av medeltemperaturen över VVX1.



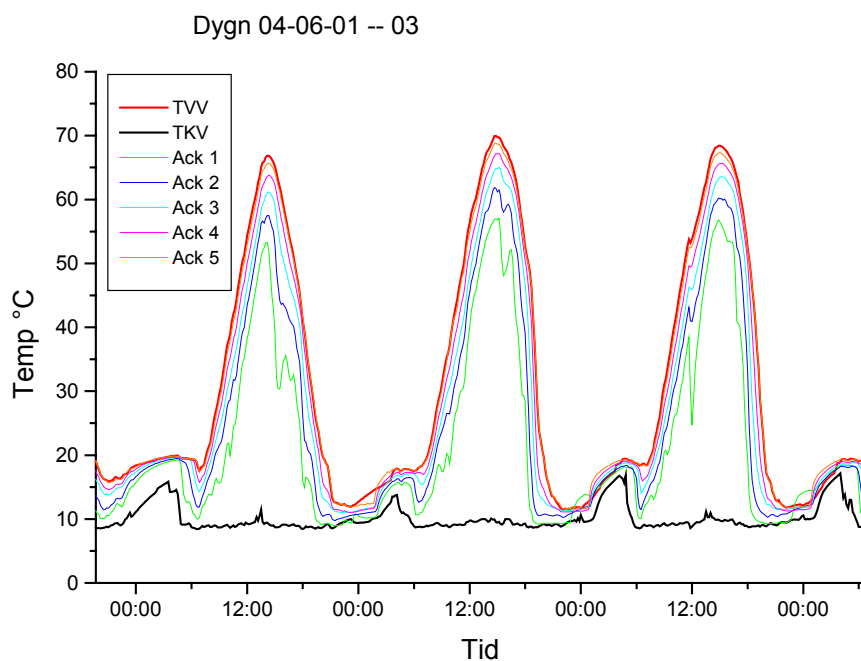
Figur 8.3 Varaktighet av medeltemperaturen i laddkretsen över VVX1. Data är för samtliga timmar av drift av solvärmesystemet under ett år.

Solvärmesystemets drifttemperatur är ovanligt låg. För driftåret 03-09-01 tom 04-08-31 (totalt 2290 timmars drift) kan temperaturen över sekundärsidan av VVX1 sammanfattas :

Temperaturintervall °C	Antal timmar	Andel av driftåret (%)
> 50	188	8.2
40 – 50	420	18.3
30 – 40	626	27.3
20 – 30	924	40.4
< 20	132	5.8

Värmelagring och uttag av VV

I figur 8.3 visas temperaturförlopp för uttaget förvämt VV, inkommande KV, samt temperaturen i de fem ackumulatorerna för tre hela dygn, 04-06-01 --- 03. Alla tre dyggen var soliga sommark dagar med hög insamling av solvärme. Veckodagarna var tisdag – torsdag.



Figur 8.3 Temperatur förvämt VV, inkommande KV, temperaturer i ackumulatorerna. Data för tre sommardygna i följd.

Temperaturen i förvämt VV överensstämmer, som sig bör, bra med temperaturen i toppen av ackumulator 5. Den högsta temperatur som uppmättes i ackumulatorn under de 14 månader som mätningarna omfattar var ca 72 °C. Ingen risk för kokning, således.

Den höjning man observerar varje natt i temperaturen för inkommande kallvatten är en ren skeneffekt som beror på att ingen tappning sker under dessa timmar, varför kallvattenledningen värms upp av rumstemperaturen i apparatrummet.

Den lilla höjning av ackumulatortemperaturerna som sker varje natt fram till kl 05 beror på inladdning av värme från värmeåtervinningen. Denna värmemängd förbrukas till största delen vid den morgontappning av VV som typiskt sker under timmarna 05 – 07.

Inladdning av solvärme börjar som regel vid 06-07-tiden under sommaren.

Akkumulatortsystemet fungerar enbart som ett effektutjämningslager – solvärmens förbrukas varje dag i omedelbar konsumtion av VV. Som regel har all insamlad solvärme förbrukats före kl 22 varje kväll.

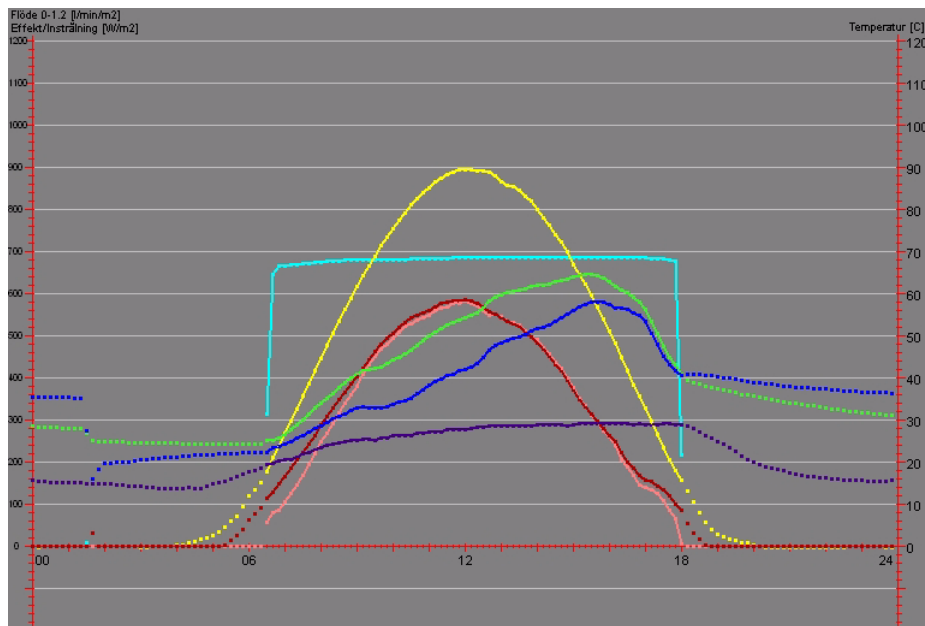
9 RESULTAT FRÅN SIMULERING / MINSUN

Insamlade mätvärden från solfångarnas laddkrets, solinstrålningsdata och utetemperatur användes för att göra en dynamisk parameteranpassning och simulering av systemet enligt en metod som finns beskriven i en avhandling av Perers [6]. Analysen utgick från insamlade data för ett helt uppmätt år, september -03 --- augusti-04. Skillnaden mellan uppmätt värde för insamlad solenergi och modellerat värde är endast ca 5 %.

Under det uppmätta året var solfångarnas summerade drifttid 2457 timmar. Den totala insamlade solenergin under mätperioden var 57.01 MWh under det att den instrålade energin var 104.20 MWh. Råverkningsgraden på solfångarnas värmebärarsida var alltså i genomsnitt 55 %.

Solfångarna arbetar vid en genomsnittlig temperaturdifferens av ca 6 °C. Genomsnittligt har laddkretsens systemtemperaturer legat på 35.5 / 29.4 °C. Det genomsnittliga uppmätta flödet i laddkretsen har varit 1.02 l/s. I solkretsen var flödet fast inreglerat till 1.13 l/s.

Fig 9.1 visar data för en klar dag, 040808. Flödet genom laddkretsen var ca 0.69 l/min m². Solinstrålningen var maximalt 900 W/ m².

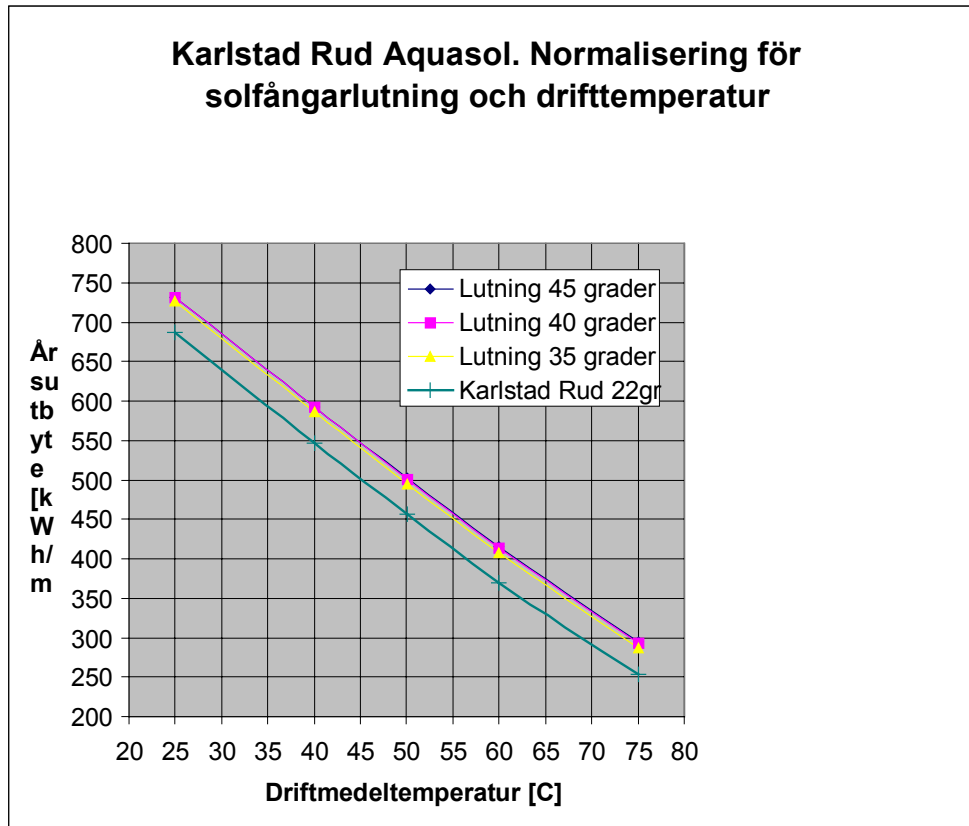


Figur 9.1 Insamlade och modellerade data för dygnet 040808. Kurvorna betyder :

Gul = solinstrålning	Röd = effekt, modell	Rosa = effekt, uppmätt
Turkos = flöde	Grön = temp varma sidan	Blå = temp, kalla sidan
Lila = temp utomhus		

I Fig. 9.2 visas modellerat årsutbytet för ett medelår (1983-92). Under den mätta perioden var medeltemperaturen över VVX1 på laddkretssidan 32.4 °C. Medeltemperaturen över solfångarna uppskattades med hänsyn till den valda värmeväxlaren att ligga 5 °C högre, alltså vid 37.4 °C.

Vid denna årsmedeltemperatur kan man för ett normalår förvänta ett årligt utbyte av 575 kWh/m², vilket är ett mycket gott resultat. Med aperturen 98.3 m² motsvarar detta 56.5 kWh ett normalår.



Figur 9.2 Årsutbyte för solvärmesystemet i Rud.

10. NORMALISERING OCH OPTIMERING

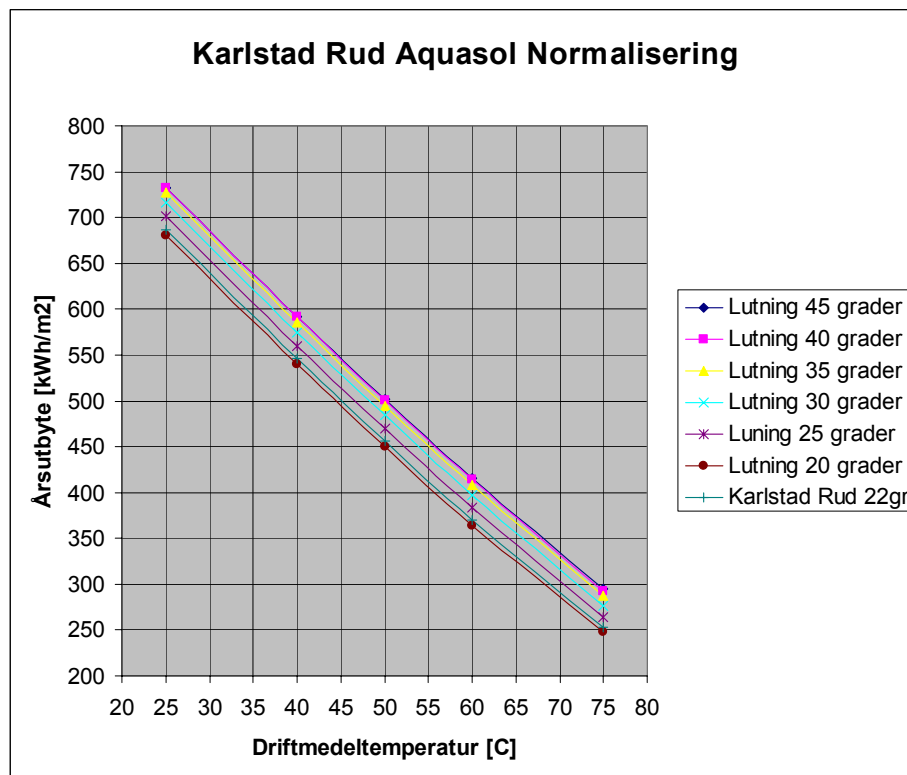
I ett dokument från 2003 [8] diskuteras hur en värdering och jämförelse skall kunna ske mellan demonstrationsanläggningar som sinsemellan haft väsentligt skilda förutsättningar. Det ligger i sakens natur att demoanläggningar ofta är unika i något avseende – och i många fall har kanske anläggningens drifttegenskaper och ekonomi fått stå tillbaka inför en önskan att få pröva någon ny solvärmestrategi. Det kan också vara så, att byggtkniska, drifttekniska eller andra sådana faktorer tvingat fram en utformning av anläggningen som inte kunnat bli helt optimal.

Mot denna bakgrund kan det vara intressant att ställa sig frågan om hur anläggningen skulle kunna prestera om förutsättningarna vore mera ”normala”. En sådan analys blir av rent hypotetisk karaktär, men kan ge upphov till tänkvärda slutsatser.

Några få av de mest dominerande faktorerna som påverkar en solvärmearbetsanläggnings egenskaper och som identifierades i [8] kan sammanfattas :

1. Variationen av solinstrålning mellan olika år.
2. Lastens temperaturnivå och systemets dimensionering i förhållande till denna.
3. Inverkan av lutning och orientering.

Av dessa faktorer elimineras inverkan av den första redan genom att systemprestanda med simuleringsberäkning relateras till ett normalår. De andra två kan däremot vara av intresse att kommentera kortfattat för Rudanläggningen, en kortfattad analys följer på nästa sida.



Figur 10.1 Normalisering av lutning och driftmedeltemperatur.

Solvärmsystemet i Rud är dimensionerat för att ha låg täckningsgrad och därmed låg drifttemperatur för solfångarna. Så som det för närvarande drivs, vid en årsmedeltemperatur i solfångarna av ca 37.4 °C, kan det förväntas producera 575 kWh/m²,år, som framgår av diagrammet i figur 10.1. Systemflödena är väl balanserade i solfångar- respektive laddkretsarna, men de är däremot väl höga, nästan 3 ggr högre än lastmedelflödet (VV). I solfångarna och i laddkretsen är det specifika flödet ca 0.69 l/min,m². Detta höga flöde orsakar dålig temperaturstratifiering i ackumulatortank och flyttar ut temperaturgradienten mot ackumulatortankens kalla sida. Solfångaren får då betydligt högre inloppstemperatur än lastens ingående temperatur vilket reducerar energiutbytet. Speciellt på eftermiddagarna blir drifttemperaturen för solfångaren onödigt hög jämfört med lastens temperaturnivå.

En minskning av flödena i solfångarna och laddkretsen till hälften, 0.35 l/min,m² skulle kunna ge ca 5 °C lägre medeldrifttemperatur i solfångarna och därmed öka årsutbytet med ca 50 kWh/m²,år. Det resulterande utbytet skulle då bli 625 kWh/m²,år.

En undre gräns för flödet i solfångarna sätts av omslaget till laminärt flöde. Detta kan, för de aktuella solfångarna och för aktuell drifttemperatur, beräknas ske vid ca 0.26 l/min,m².

Lutningen av solfångarna i Rud har givetvis bestämts av taket de placerats på. Lutningen är inte optimal, vilket alltså accepterats vid projekteringen. Om lutningen kunnat uppgå till ca 40-45 grader i stället skulle anläggningen kunnat prestera ytterligare ca 50 kWh/m²,år, alltså maximalt 675 kWh/m²,år.

11. EKONOMI

Kostnaderna i projektet har hållit de ramar som beräknades under projekteringsfasen. Tillgängliga ekonomiska fakta från KBAB innefattar både kostnader för uppbyggnaden av solvärmesystemet och kostnader för uppbyggnaden av värmeåtervinningen.

Värmeåtervinningssystem bygger KBAB numera standardmässigt in i sina fastigheter och så skulle också ha skett i det brandskadade huset i Rud, även om solvärmeutbyggnaden inte hade genomförts.

Mot denna bakgrund har de kostnader som är gemensamma för både sol- och värmeåtervinningssystemen delats i proportion till systemens årliga värmeproduktion (jfr kommentar i kapitel 8), så att 74 % av dem har ansetts belasta solvärmeanläggningen. De uppdelade kostnaderna har särskilt markerats i kostnadssammanställningen.

I nedanstående uppställning redovisas projektets verkliga kostnader. Kostnader för mätning, utvärdering och annat som enbart varit kopplade till projektets status som forskningsprojekt har lyfts bort. Siffrorna citeras ur material som ställts till förfogande av KBAB.

Kostnader (exkl. moms):

Solfångare	238250:-	
Akkumulatortankar	68800:-	*
Arbetskostnader	80500:-	*
Avgår, 100 m ² tegeltak	-15000:-	
Summa	372550:-	

* Kostnad som delats mellan solvärme- och värmeåtervinningssystemen.

Fördelningen av kostnaderna var alltså :

Solfångare	60 %
Akkumulatortankar	18 %
Arbetskostnader	22 %

Projektet finansierades av KBAB (75 %) med sedvanligt solvärmestöd (25 %).

Solfångarna kan antas producera 575 kWh/m²·år. Detta innebär en genomsnittlig årsproduktion av ca 56.5 MWh.

Det ekonomiska nyckeltalet för specifik investering blir alltså 6.59 SEK per årlig kWh.

KBAB:s årliga inbesparing av köpt fjärrvärme blir ca 31100 SEK.

11. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Solvärmeanläggningen i Rud är mycket välbyggd och en god representant för svensk solvärme, väl värd att visas upp vid studiebesök eller liknande. Solfångarna, med antireflexbehandlade glas, smälter mycket väl in i husets arkitektur och har mycket goda prestanda. Anläggningen fungerar helt komplikationsfritt och är praktiskt taget underhållsfri. Energiproduktionen är mycket hög, $575 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$, alltså åtskilligt högre än hos någon av demoanläggningarna (utan reflektorer) i förra FUD-omgången.

KBAB:s strategi vid projekteringen, att uppföra en solvärmeanläggning för VV-förvärmning med liten täckningsgrad och därmed hög driftsprestanda har alltså visat sig uppfylla förväntningarna. Samtidigt har man uppnått en hög grad av repeterbarhet ; en anläggning byggd enligt denna enkla dimensioneringsprincip kan uppföras på många ställen i det befintliga fastighetsbeståndet med minimalt behov av detaljerad förstudie.

Anläggningen kunde uppföras till ett nyckeltal för specifik investering på 6.59 SEK/kWh,år , att jämföra med det långsiktiga målet 5 SEK/kWh,år . Arbetskostnaderna och kostnaden för ackumulatortank kunde hållas på låga nivåer, solfångarna ensamma representerar 60 % av investeringen. Det är därför tydligt att målet för specifik investering är inom räckhåll och troligen kan uppnås om komponenttillverkningen av solvärmemoduler kunde bedrivas vid högre volymer.

Flödet i solfångarnas värmebärarkrets är för högt. En kraftig sänkning till ca 1/2 av nuvarande flöde skulle kunna leda till en betydligt högre produktion, troligen en förbättring med ca $50 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$. Flödet i laddkretsen bör samtidigt sänkas och justeras in så att det ligger ca 5-10 % lägre än solfångarnas flöde (kompensation för skillnaden i vätskornas relativa värmekapacitet). Temperaturskiktningen i ackumulatorerna skulle härigenom bli mycket bättre, och solfångarnas medeldrifttemperatur skulle sänkas med ca 5 °C .

Med denna enkla optimering kan anläggningen förväntas producera ca $625 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$. Det ekonomiska nyckeltalet för specifik investering skulle då bli 6.06 SEK/kWh,år .

Om dessutom solfångarnas lutning hade varit optimal skulle anläggningen producera så mycket som $675 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$. Det ekonomiska nyckeltalet för specifik investering skulle då bli 5.61 SEK/kWh,år .

Med de resultat denna studie har visat måste solvärmeanläggningen i Rud anses stå i absolut toppklass bland svenska demoanläggningar.

12. REFERENSER

- [1] Helgesson A, et.al. Solvärme 1996-99 Slutrapport. VUAB Rapport nr UD 00:12
- [2] Nilsson L, Perers B Solvärme i Håga by – ett modernt system med flödesstyrning. Mätcentralen Dokument D10:1999
- [3] Nilsson L, Perers B Solvärmeanläggningarna Svartsjö och Färingsö. Mätcentralen Dokument D14:2000
- [4] Nilsson L, Perers B Dränerande taksolfångare i Ekbacken, Åmål. Mätcentralen Dokument D15:2001
- [5] prEN 12975
- [6] Perers, B Optical Modelling of Solar Collectors and Booster Reflectors under Non Stationary Conditions, Thesis, Uppsala Universitet, 1995.
- [7] Aronsson, S Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov, avhandling, Doc D35:1996 Installationsteknik CTH.
- [8] Perers, B, Nilsson, L och Helgesson, A VUAB/STEM Rapport UD02:142 : 2003

B1. MÄTUTRUSTNING

Mätningarna har utförts i enlighet med en föreslagen CEN standard [5]. Denna specificerar vilka givare, som skall användas, hur ofta mätningarna skall göras samt för vilka tidsintervall data skall reduceras och sparas. Önskade mätosäkerheter samt hur beräkningsrutinerna skall vara utformade finns också redovisade.

En datoriserad mätstation har använts. Ett mätprogram har genomfört mätningar var 15:e sekund på samtliga givare utom för solinstrålning, där mätningar har utförts var 7.5:e sekund. Efter varje mätning har aktuella temperaturer, effekter samt energimängder beräknats med hänsyn tagen till vätskans densitet och värmekapacitivitet vid aktuell temperatur.

Var 10:e minut har data reducerats till summor respektive medelvärden för perioden. Dessa 10-minutersvärden har därefter sparats på datorns skivminne för att senare överföras till Mätcentralen.



Fig B1 Mätcentralens givare på yttertaket : pyranometer samt i bakgrunden strålningsskyddad utetemperatur. För att undvika onödig håltagning drogs givarkablaget in på vinden via avloppsventilationen.

Följande givare har använts i systemet:

- Sol Pyranometer, Kipp & Zonen, CM11. Monterad i solfångarnas riktning och med samma lutning som solfångarna. Onoggrannhet +/- 3 % enligt kalibreringsprotokoll från SP.
- Tute Utomhustemperatur. Pt100-givare, 1/10 DIN. Monterad i speciell hållare med dubbla strålskydd. Placerad över taket Onoggrannhet +/- 0.05 K.
- Ttsol Temperatur i laddkretsens framledning (till VVX1. Pt100-givare, 1/10 DIN, i specialutförande med kapsel av syrafast, rostfritt stål. Dykficka monterad i flödet. Vid monteringen har värmeldande pasta anbringats på givaren. Onoggrannhet +/- 0.03 K.
- Tfsol Temperatur i laddkretsens returledning (från VVX1). I övrigt som ovan.
- Tfåt Temperatur i laddkretsen från värmeåtervinningen. I övrigt som ovan.
- TVV Temperatur i förvärrmt VV från ackumulatorn monterad i befintlig termometerficka. I övrigt som ovan.
- TKV Temperatur KV till ackumulatorn. I övrigt som ovan.
- TA1 Temperatur i toppen av ackumulator 1. Djup dykficka.
- TA2 Temperatur i toppen av ackumulator 2. Djup dykficka.
- TA3 Temperatur i toppen av ackumulator 3. Djup dykficka.
- TA4 Temperatur i toppen av ackumulator 4. Djup dykficka.
- TA5 Temperatur i toppen av ackumulator 5. Djup dykficka.
- Ftot Summaflöde i laddkretsen. Krohne induktiv flödesmätare. Monterad i raksträcka i ostört flöde. Onoggrannhet +/- 0.5%.
- Fsol Flöde i laddkretsens gren till VVX1. Krohne induktiv flödesmätare. Monterad i raksträcka i ostört flöde. Onoggrannhet +/- 0.5 %.
- SP1 Status för pump P1. Registrering via relä i reglercentral.

Följande energier har beräknats:

- Qsol Energi från solfångarna. Beräknad från Fsol, Ttsol och Tfsol. Uppskattad onoggrannhet +/- 3 %.
- Qåt Energi från värmeåtervinning. Beräknad från (Ftot-Fsol), Ttsol och Tfåt. Uppskattad onoggrannhet +/- 3 %.

B2. ADRESSLISTA, DELTAGANDE FÖRETAG

Tabell B2. I nedanstående tabell redovisas de aktörer, som deltagit i arbetet med solvärmeanläggningen i Rud.

<i>Leverans</i>	<i>Företag</i>	<i>Telefon</i>
Solfångare	Arnes Plåt AB Oskarsvägen 38 702 14 Örebro	Tel: 019-165680
Rörentreprenad	YIT AB Karlstad Sågverksgatan 22 Box 36 651 02 Karlstad	Tel: 054-691200
Elentreprenad	Elservice i Karlstad AB Romstadsvägen 2 653 42 Karlstad	Tel: 054-578350
Mätning och utvärdering	Mätcentralen Leif Nilsson Vera Sandbergs Allé 5B 412 96 Göteborg	Tel: 031-162138
Utvärdering	Bengt Perers Trollstigen 9 611 45 Nyköping	Tel: 0155-97179
Byggherre och konstruktion	Karlstads Bostadsaktiebolag KBAB Norra Strandgatan 13 Box 1505 651 21 Karlstad	Tel: 054-142800