



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

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



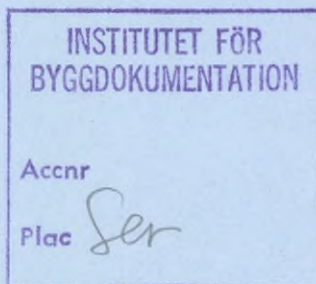
Rapport

R11:1987

**Fjärås centrum –
solvärmesystem med
värmepump**

Utvärderingsresultat

Torbjörn Jilar



K/0

Byggforskningsrådet

R11:1987

FJARAS CENTRUM - SOLVÄRMESYSTEM MED VÄRMEPUMP

Utvärderingsresultat

Torbjörn Jilar

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781414-3 från Statens råd för byggnadsforskning till Eksta Bostadsstiftelse, Kungsbacka kommun, Kungsbacka.

REFERAT

Fjäråsanläggningen är byggd i början av 80-talet och har luftkyllda solfångare, korttidsvärmelager samt värmepump. Husen i Fjärås centrum har 377 m² solfångare på tak med 74° lutning. Värmelagring sker i ståltankar med 50 m³ vatten anslutna till en värmepump på 150 kW. Värmecentralen i centrum har kulvertförbindelse med ett radhusområde där oljepannor för tillsatsvärme finns. Huvudresultaten är följande:

- Solvärmen täcker 12 % av årsvärmeproduktionen på 1000 MWh. All solvärme används med hjälp av värmepumpen vars årsvärmefaktor är 2,6. Värmepumpen är väsentligt större än nödvändigt och går därför ineffektivt.
- Solfångarsystemets årsvärmeutbyte är 330 kWh/m² och årsverkningsgraden är 0,34. Systemet har ineffektiv värmeväxling luft-vatten och dåliga solfångarprestanda.
- Omständligt och dyrt solfångarmonteringsvintertid.
- Solvärmekostnaden är 2300 kr/MWh. Anläggningar utan värmepump med vattenkylda, högeffektiva solfångare ger kostnader på 400 å 500 kr/MWh vid 30 % solvärmetyckning.

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

R11:1987

ISBN 91-540-4692-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

FÖRORD

I Fjärås nära Göteborg finns en solvärmeanläggning i centrumbebyggelsen. På uppdrag av Statens Råd för Byggnadsforskning har avdelningen för Installationsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola gjort den värmetekniska utvärdering av anläggningen som redovisas i föreliggande rapport. Arbetet ingår i avdelningens forskning om energialternativ för byggnadsuppvärmning där experimentbyggnadsprojekt med solvärmeteknik och värmepumpsteknik studeras.

Professor Enno Abel har varit projektledare och har under arbetets gång varit en värdefull och drivande kraft.

Under arbetets gång har avdelningen för Installationsteknik fått en mycket värdefull hjälp av många som på olika sätt har anknytning till Fjäråsprojektet.

Först och främst ska Ivar Franzén hos byggherren Eksta Bostadsstiftelse, Frank Andersson som projekteringsansvarig samt Mats Länsberg som byggsamordningsansvarig nämnas. De har alla med stort intresse följt och stött forskningsarbetet. Jens Eriksson på AGA Heating har ambitiöst tagit fram uppgiftsmaterial över solfångaranläggningen. Dan-Åke Asp på Stäfa Control AB och Sören Larsson på Stal Refrigeration AB har välvilligt ställt upp på platsen för demonstration av utrustning.

På avdelningen för Installationsteknik har flera personer på ett förtjänstfullt sätt deltagit i projektet.

Ett tidskrävande och tålmodigt arbete med konstruktion, installation och tillsyn av mätutrustning har gjorts av Tommy Sundström, Roger Nilsson, Jan-Olof Dalenbäck samt Kurt Edin. Framhållas ska också Henrik Abels hedervärda arbete med datorritning av figurer.

Lovordas och premieras ska Lena Rosenblads noggranna och snabba koncepttolkning samt maskinskrivningsarbete.

Till alla nämnda och onämnda med anknytning till forskningsarbetet riktar författaren många varma tack.

Göteborg i september 1986

Torbjörn Jilar

INNEHÅLL

| | | |
|-------|-----------------------------------------|----|
| 1 | INLEDNING | 7 |
| 2 | BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN | 9 |
| 2.1 | Byggnader och systemprincip | 9 |
| 2.2 | Solfångarsystemet | 14 |
| 2.3 | Akkumulatorsystemet | 20 |
| 2.4 | Värmepumpsystemet | 23 |
| 2.5 | Pannsystemet | 25 |
| 2.6 | Styrsystem och övrigt | 25 |
| 3 | MÄTNINGAR OCH RESULTAT | 27 |
| 3.1 | Mätssystem och mätstorheter | 27 |
| 3.1.1 | Mätssystemets tillgänglighet | 31 |
| 3.2 | Mätresultat | 33 |
| 3.2.1 | Solfångarsystemets detaljfunktion | 39 |
| 3.2.2 | Värmepumpens detaljfunktion | 46 |
| 3.3 | Praktiska erfarenheter | 49 |
| 4 | EKONOMI OCH VÄRMEKOSTNAD | 51 |
| 4.1 | Kostnadsförutsättningar och kalkylmetod | 51 |
| 4.2 | Fjäråsanläggningen | 53 |
| 4.3 | Solvärme med och utan värmepump | 54 |
| | SAMMANFATTNING AV RAPPORTEN | 60 |
| | REFERENSR | 65 |

SAMMANFATTNING AV RESULTATEN

Fjäråsanläggningen är byggd i början av 80-talet och har luftkylda solfångare, korttidsvärmelager samt värmepump. Husen i Fjärås centrum inrymmer lokaler och bostäder och har 377 m² solfångare på specialutformade tak med 74 ° lutning. Via värmeväxlare luft-vatten är solfångarna anslutna till ståltankar med 50 m³ vatten. Tankarna står liksom en värmepump på 150 kW i centrumets värmecentral som har kulvertförbindelse med ett radhusområde där oljepannor för all tillsatsvärme finns. Här nedan sammanfattas utvärderingsresultaten.

Solvärmens täckningsgrad är 12 % relaterad till normalårets totala värmeproduktion på 1000 MWh. All solvärme är utnyttjad med hjälp av värmepumpdrift där värmepumpen utgör 9 % av värmeproduktionen. Systemlösningen som medger solvärmeanvändning utan värmepump är onödig.

Värmekonsumtionen för rumsvärme och tappvarmvatten är 20 % lägre än beräknat vid projekteringen. Sådant leder till ineffektiva solvärmesystem, speciellt i samband med korttidsvärmelagring.

Solfångarsystemets värmeutbyte för normalåret är 330 kWh/m² vilket motsvarar årsverkningsgraden 0,34. Solfångarnas lufttemperatur är 38 °C i genomsnitt vilket är 20 °C över det vatten som används av värmepumpen. Det beror på ineffektiv värmeväxling luft-vatten som tillsammans med dåliga solfångarprestanda orsakar det låga solvärmeutbytet.

Värmepumpens årsvärmefaktor är 2,6 och är väsentligt sämre än enligt fabrikantuppgifterna. Huvudorsaken är att värmepumpen är för stor jämfört med värmeeffektbehovet och går med mycket korta drifttider.

Praktiska erfarenheter av större vikt är omständligt, fördyrat solfångarmontage vintertid samt sönderfrysning av solfångarsystemets värmeväxlare.

Solvärme-kostnaden är 2300 kr/MWh beroende på mycket hög anläggningskostnad samt lågt solvärmeutbyte. Enklare anläggningar utan värmepump utrustade med vattenkylda, högeffektiva solfångare behövs för att få värmekostnader på nivån 400 å 500 kr/MWh.

1 INLEDNING

Solvärmeanläggningen i Fjärås centrum projekterades i huvudsak under åren 1977-78. Byggherren Eksta Bostadsstiftelse hade inför projekteringen av centrumbebyggelsen satt upp programkravet att tillskapa en energisnål uppvärmningsanläggning som skulle utformas med beaktande av områdets känslighet ur miljösynpunkt. Upphandling skedde i slutet av år 1978 och byggstart skedde i januari 1979. Anläggningen stod helt färdig i början av sommaren år 1980 då utvärderingsarbetet kunde ta vid. Genom att en del skador inträffade på solfångarsystemet den följande vintern dröjde det till våren år 1981 innan solvärmeanläggningen var i normal drift.

Fjäråsanläggningen och dess tillblivelse ligger i tiden bland de första större solvärmeanläggningarna. Den togs i drift något efter Ingelstadanläggningen utanför Växjö men före Lambohovanläggningen i Linköping, båda med omkring 50 småhus anslutna och försedda med stora säsongsvärmelager. Man kan säga att anläggningen kom till under en period då åtminstone de mer påtagliga praktiska kunskaperna om solvärmeteknik var ganska begränsade. I själva verket byggdes stora experimentanläggningar såsom Ingelstad och Lambohov avsiktligt efter mycket skilda systemprinciper, t ex med och utan värmepumpar, just för att i ett tidigt skede få pröva olika systems utvecklingspotential.

I Fjäråsanläggningen prövades för första gången i större skala en systemprincip baserad på luftkylda solfångare i kombination med korttidsvärmelager och värmepump. Som systemprincip betraktad ligger Fjäråsanläggningen i förlängningen av ett utvecklingsarbete genomfört av dåvarande AGA Heating som påbörjades redan i mitten av 70-talet. Då anläggningen byggdes fanns redan i ett område alldeles intill i Fjärås det s k SUNSEC-huset, ett småhus utrustat med ett mycket komplicerat solvärmesystem där bl a luftkylda solfångare och värmepump ingår. Eksta Bostadsstiftelse involverade sig i planeringen, byggandet och uppföljningen av SUNSEC-huset och kom av den anledningen att inrikta även planeringen av Fjärås centrum mot en liknande systemlösning. Man fäste stor vikt vid funktions- och underhållsfrågor varför luft istället för vatten ansågs fördelaktigt som värmebärare i solfångarna. Eftersom utvecklingen ännu vid projekteringen befann sig i ett tidigt skede kom en del av systemutvecklingen, t ex värmetekniska prestandaprov av solfångare, att få göras parallellt med projekteringsarbetet i övrigt.

Mot denna bakgrund finns det anledning att se på utvärderingsresultaten för Fjäråsanläggningen som ett av stegen i det utvecklingsarbete som lett fram till det betydande kunnande som vi idag har inom solvärmeområdet. I detta ligger inte minst kunskaper som gör att vi idag skulle ha utformat anläggningen på ett annat sätt. Bland annat vet vi idag att systemlösningar i vilka något så när effektiva solfångare utnyttjas via värmepump är ytterst tveksamma ur ekonomisk synpunkt.

Avdelningen för installationsteknik fick i uppdrag av BFR, att i samarbete med Eksta Bostadsstiftelse genomföra en mätteknisk uppföljning och utvärdering av anläggningen. Fjärås var den första anläggning som avdelningen för installationsteknik följde upp mättekniskt med ett datoriserat mätinsamlings-system. Detta system byggdes i stort i avdelningens regi och det var såväl tekniskt primitivt som ganska känsligt för driftstörningar. Det krävdes stora manuella arbetsinsatser för att hålla systemet i fortlöpande drift. Ändå krävdes nästan ett års drift (hela 1981) innan systemet efter en hel del ombyggnader började ge acceptabelt fortlöpande resultat. Resultatredovisningen i kapitel 3 bygger på mätdata insamlade under år 1982 då mätinsamlingsystemet fungerade bra med långa, sammanhängande perioder.

För avdelningen för installationsteknik innebar Fjärås stora arbetsinsatser, som egentligen inte står i rimlig proportion till vad som fåtts ut i form av mätresultat. Samtidigt var emellertid Fjärås den anläggning som gav avdelningen det bas-kunnande i avancerad mätteknik, utan vilket uppföljning av anläggningar som Ingelstad och Lambohov inte hade kunnat genomföras så pass väl som har skett. Ur avdelningens synpunkt har därför medverkan i utvärderingen av Fjäråsanläggningen varit mycket värdefull.

En redovisning av hur den i sig rätt speciella Fjäråsanläggningen fungerat, kan idag kanske vara av begränsat intresse. Med mätmaterial och erfarenheterna från Fjäråsanläggningen som bakgrund, kan man emellertid genomföra en allmänare analys av solvärmesystem med korttidslagring. Detta sker i avsnitt 4, som bland annat belyser svårigheter att på ett ekonomiskt försvarbart sätt kombinera solvärmeteknik och värmepumpsteknik.

2 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN

En detaljerad beskrivning av projektering och byggnadsförberedelser för Fjäråsanläggningen finns i Byggeforskningsrådets rapport R8:1980 (Andersson, Länsberg, 1980). Rapporten innehåller diskussioner och beslut rörande val av systemprincip, komponenter samt driftsätt. Rapporten redovisar dessutom förväntade anläggningsprestanda.

I det här avsnittet lämnas mer översiktliga tekniska beskrivningar med tonvikt på systemtekniken. Prestandauppgifterna som lämnas är de som framtoogs under projekteringsarbetet. Verkliga prestanda redovisas först i avsnitt 3.

2.1 Byggnader och systemprincip

Den uppförda bebyggelsen i Fjärås centrum består av fyra byggnader, hus A, B, C och D (figur 2.1). Centrumbebyggelsen inrymmer ca 2000 m² lokaler och 12 bostadslägenheter och total byggnadsvolym är ca 12.000 m³. Solfångaranläggningen med sin takplacering påverkar som framgår av bilderna 2.1 - 2.4 starkt husens exteriörer. Husen B och D har med hänsyn till solvärmeutnyttjandet orienterats med sina långsidor i ost-västlig riktning medan hus A med sin mer fyrkantiga planform är utrustat med tre mindre solfångargrupper placerade parallellt med varandra i ost-västlig riktning. År 1982 utökades centrumbebyggelsen med ytterligare ett par byggnader men i föreliggande rapport behandlas endast den först byggda anläggningen.

A-huset har endast ett plan som innehåller butiks- och lagerlokaler. Övriga hus har två plan där bottenplanen inrymmer lokaler för diverse kommunal service samt post, butiker m m. På övervåningarna finns bostadslägenheter och på överliggande vindsplan finns luftkanaler och värmexlare för solfångaranläggningen samt luftbehandlingsanläggningar för ventilation av lokalerna.

Husen A, B och D är utrustade med solfångare på taken. I källarplanet till hus A ligger ett stort apparatrum som inrymmer värmeackumulatörer för solfångarsystemet, värmepump, varmvattenberedare, ett omfattande rörsystem samt styrutrustning.



Bild 2.1 Vy över A-huset som inrymmer affärslokaler samt värmecentralen.



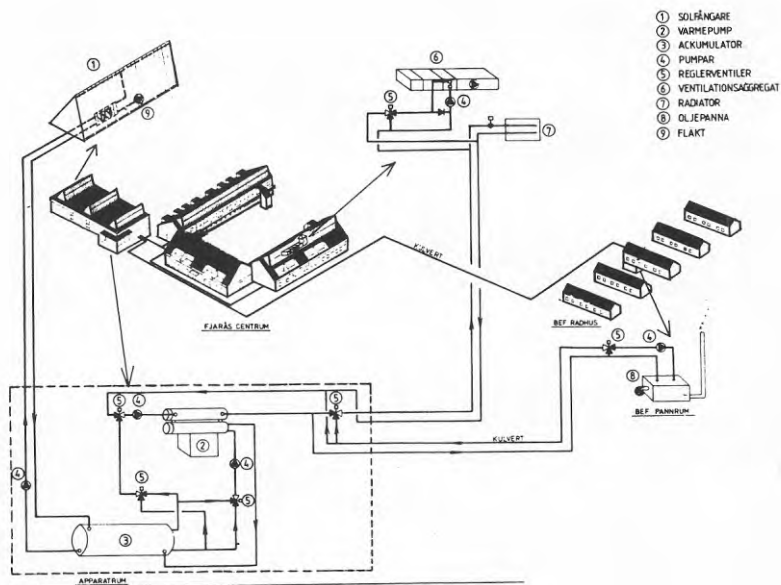
Bild 2.2 Vy över D-huset som inrymmer lokaler samt bostäder.



Bild 2.3 Vy över B-huset som inrymmer lokaler samt bostäder.



Bild 2.4 Detalj från B-huset med loftgång och trapphus till bostäderna.



Figur 2.1 Principschema över solvärmeanläggningen i Fjärås centrum. (Enligt Andersson, Länsberg, 1980.)

Tappvarmvatten för hela centrumbebyggelsen produceras centralt i apparatrummet och distribueras via en cirkulationsledning i kulvert ut till tappställen i de olika husen. Transmissionsvärmebehovet täcks av värme från radiatorer dimensionerade för framledningstemperaturen $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. För täckande av lokalernas ventilationsvärmebehov finns värmebatterier dimensionerade för framledningstemperaturen $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ placerade i luftbehandlingsågregaten på vindsplanen. Primärledningarna för radiator- och ventilationsvärme ligger i samma kulverstråk som tappvarmvattenledningen.

Alla lokaler har ventilationssystem av typ FT medan bostäderna endast ventileras med F-system där friskluft tillförs via springventiler under fönstren.

En ca 400 m lång värmekulvert har dragits mellan värmecentralen i Fjärås centrum och pannrummet till ett radhusområde. Radhusområdet inrymmer 32 bostadslägenheter och är omkring 20 år gammalt. Genom att samtidigt med byggandet av centrums uppvärmningsanläggning även utöka uppvärmningskapaciteten i radhusens pannrum och sammanbinda dessa anläggningar räknade man med att få följande fördelar:

1. Centrum skulle vara nästan självförsörjande och dessutom leverera nästan all värme till radhusen under tiden maj - september, dvs då en oljeeldad anläggning normalt är minst effektiv.
2. Radhusens panncentral skulle kunna leverera värme till centrum under den del av uppvärmningssäsongen då solvärmeanläggningen producerar minst värme.
3. Inga tillkommande panncentraler inom området sågs som värdefullt ur miljösynpunkt.

Enligt projekteringens beräkningar av det sammanlagda nettovärmebehovet för centrum- och radhusbebyggelsen gäller följande:

| | | | |
|----------------|--------|--------|---------|
| Rumsvärme | 757,7 | MWh/år | (72 %) |
| Tappvarmvatten | 298,8 | MWh/år | (28 %) |
| Totalt | 1056,5 | MWh/år | (100 %) |

Av värmebehovet beräknades ca 43 % ligga på centrumbebyggelsen. Totalvärmebehovet motsvarar per kvadratmeter uppvärmd totalyta ca 150 kWh/m² för centrumbebyggelsen och ca 230 kWh/m² för radhusbebyggelsen samt ca 190 kWh/m² för hela bebyggelsen. Dessa värmebehov ligger på normalnivåer om man jämför med svensk statistik för flerbostadshus av respektive ålderskategori.

Det totala nettovärmebehovets fördelning på värmeproduktion med hjälp av oljepannor respektive solvärmeanläggning och värmepump är enligt projekteringsberäkningen:

| | | | |
|-----------------------|-------|--------|---------|
| Värme från oljepannor | 614,5 | MWh/år | (58 %) |
| Värme från solfångare | 343,9 | MWh/år | (33 %) |
| Värme från VP-e1 | 98,1 | MWh/år | (9 %) |

Solfångarnas beräknade värmeproduktion på 343,9 MWh/år motsvarar med ansatt pannverkningsgrad på ca 0,80 en oljebesparing på ca 43 m³/år. Värmepumpens årsvärmefaktor är satt till ca 3,3 vilket motsvarar en värmeproduktion på 326,2 MWh/år varav 228,1 MWh/år kommer från solfångarsystemet.

Enligt ovanstående uppställning producerar solfångarna 343,9 MWh/år varav alltså 115,8 MWh/år, dvs ca 35 % beräknades kunna distribueras utan hjälp av värmepump. Detta genom att man räknade med att temperaturnivån i värmeackumulatorena tidvis skulle bli högre än värmesystemets temperaturkrav.

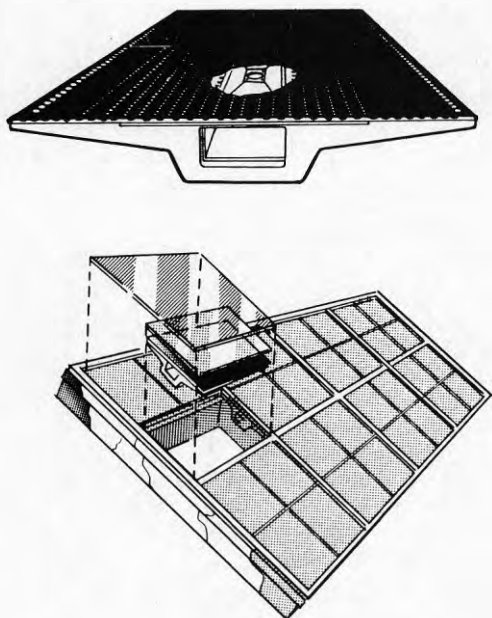
2.2 Solfångarsystemet

Utformningen av solfångarsystemet i Fjärås centrum bygger på idén att använda luft som värmebärare i själva solfångarelementen och att via en värmeväxling lagra solvärmen i vatten. Under en 5-årsperiod från mitten av 70-talet satsade dåvarande AGA Heating stora resurser på att utveckla ett system med en bra, luftkyld solfångare. Filosofin var att luft istället för vatten som värmebärare skulle ge fördelar som hög verkningsgrad, liten värmetröghet, låga tryckfall, ingen läckage - respektive frysrisk och låg vikt. Vidare skulle finnas förutsättningar för en mångsidig och flexibel systemuppbyggnad lämpad för masstillverkning av solfångarelement.

I den solfångare som utvecklades, fördelas luften enligt en princip kallad DFP (Dual Flow Path). Absorbatorelementet i solfångaren består av två 0,15 mm tjocka aluminiumplåtar som är fästade till varandra med 1,5 mm distans (figur 2.2). Den övre plåten, absorbatoren, har en stor mängd hål genom vilka luften sugas in till den tunna luftspalten mellan plåtarna. Huvudflödet går genom större hål längs kanterna medan ett mindre luftflöde går genom ett stort antal, över det hetare mittfältet jämnt fördelade hål med diameter mindre än 1 mm. Principen med tvåvägs luftflöde, varav namnet DFP, syftade till att undertrycka konvektionen som orsakas av att varmluft stiger från absorbatoren och avkyls mot täckglaset. Tankegången var alltså att reducera solfångarens konvektionsvärmeförluster med ett påtvingat motflöde av luft. Med avsikt att även minska strålningsvärmeförlusten belades absorbatoren med en s k selektiv yta bestående av anodiskt oxiderad aluminium.

Absorbatorelementet är tillverkat i en storlek på ca 60 x 60 cm² och väger endast 300 g vilket gör att dess termiska massa är mycket liten. Elementet ligger på en bärkropp av polyuretan som samtidigt fungerar som solfångarens värmeisolering och som innehåller en samlingskanal för uppvärmd luft.

Ett flertal olika moduluppbyggnader är möjliga med solfångar-
typen. AGA Heating lanserade en byggmodul med modulmått
1,2 x 2,4 m² (figur 2.2) bestående av fyra parallella bärkrop-
par försedda med fyra mellanglas och två ytterglas. Varje
bärkropp har två absorbatorelement.



Figur 2.2 AGA Heatings solfångarsystem DFP (Dual Flow Path)
med solfångarelement och exempel på moduluppbygg-
nad. (Enligt AGA Heating, 1978.)

För solfångaranläggningen i Fjärås centrum valdes långsmala
solfångarelement med modulstorleken 670 x 2400 mm² där varje
modul innehåller fyra absorbatorelement i rad (figur 2.3). För
att få en lämplig anpassning av solfångarsektionernas längder
till huskropparnas längder användes även ett mindre antal
solfångarelement med modulstorleken 670 x 1200 mm². Det finns
sammanlagt 264 st av den stora modulen och 30 st av den lilla
modulen i Fjärås anläggningen. I tabell 2.1 anges huvuduppgif-
ter om solfångarnas utformning.

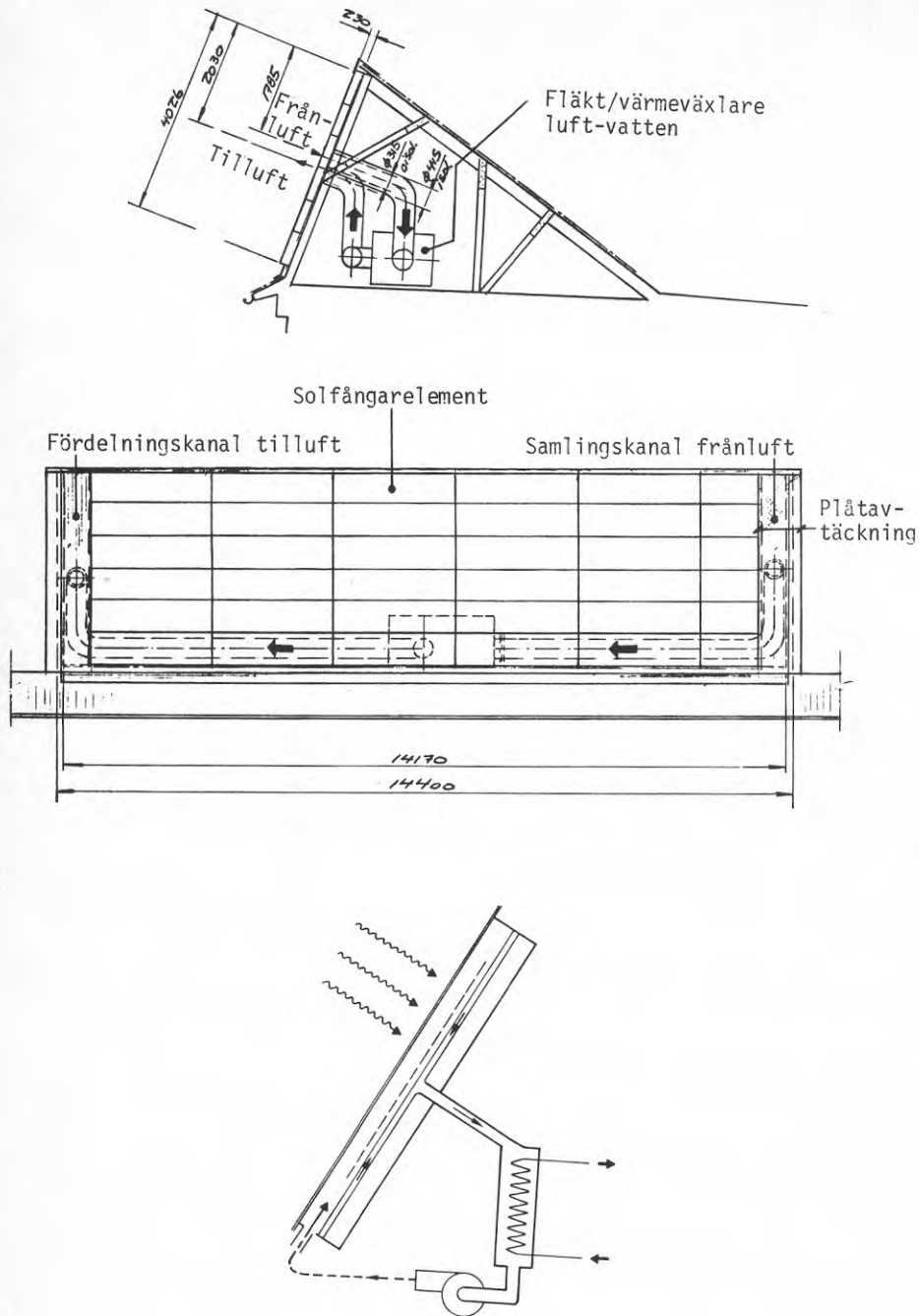
Tabell 2.1 Solfångarnas utformning i Fjärås centrum

| | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Fabrikat | AGA Heating |
| Modell | DFP 5 |
| Modulmått (längd x bredd x djup) | 2400 x 670 x 240 mm |
| Modularea | 1,35 m ² |
| Antal glas (djupled) | 2 st |
| Glaskvalitet | Fönsterglas |
| Innerglassets tjocklek | 3 mm |
| Ytterglassets tjocklek | 4 mm |
| Absorbator | 0,15 mm aluminiumplåt |
| Antal absorbatorelement | 4 st |
| Absorbatormått | 580 x 580 mm |
| Absorbatoryta | selektiv $\alpha = 0,95$ $\epsilon = 0,15$ |
| Värmebärare | luft |

Solfångaranläggningen är uppdelad i 8 st sektioner. A- och B-huset har 3 sektioner vardera och D-huset har 2 sektioner. Den sammanlagda solfångararean uppgår till 377 m² varav ca 35 % vardera finns på A- och B-huset och 30 % finns på D-huset. Solfångarna är inbyggda i en specialutformad takkonstruktion, lutar 74 ° mot horisontalplanet och är alla riktade rakt mot söder. I utrymmet bakom solfångarsektionerna går grova plåtkanaler, s k spirokanaler med diametern 315 mm, för samlingsluften till och från solfångarna.

Solfångarelementens uppbyggnad i Fjärås anläggningen skiljer sig med tanke på tillufts inblåsningen från den ursprungligen framtagna solfångarvarianten. I Fjärås anläggningens solfångare innehåller bärcroppen en längsgående tilluftskanal som ligger i nederkanten hos solfångarelementen (figur 2.3). Via kanalen fördelas tilluften genom hål upp över varje absorbatorelement där luften värms och passerar genom absorbatorplåtens små hål. Ingen luft går här som i den ursprungliga solfångarvarianten mellan de båda täckglasen utan all luft går mellan absorbatorplåten och innerglaset. Frånluften samlas som tänkt från början till en kanal i mitten av solfångarens bärcropp. Längs solfångarsektionens ena kortsida löper en fördelningskanal för tilluften och i den andra kortsidan finns samlingskanalen för frånluften. Dessa båda kanaler är anslutna till spirokanalerna för huvudluftflödet. I varje solfångarsektion går alltså luften från den ena kortsidan till den andra och tanken med kanalarrangemangen är att luften ska fördelas helt jämnt över

hela solfångararean genom att det överallt är samma tryckdifferens mellan till- och frånluftsidan och att strömningssmotståndet är lika över alla solfångarelement.



Figur 2.3 Konstruktionsritningar över en av solfångarsektionerna på hus A samt principschema över inkopplingen av samtliga 8 sektioner.

För var och en av de 8 solfångarsektionerna sker värmeväxlingen mellan luft och vatten i ett eget aggregat placerat i utrymmet bakom solfångarna. Aggregaten innehåller flänsbatterier, fläktar och värmekablar. Värmekablarna som är lindade runt vätskebatterierna är till för att förhindra sönderfrysning. Som ytterligare skydd mot sönderfrysning finns luftspjäll inmonterade. Spjällen, som sitter i luftkanalerna för samlingsluften från solfångarna, stänger samtidigt som fläktarna stoppar och förhindrar därmed själv-cirkulation i luftkanalerna, som utan luftspjäll leder kall luft fram till vätskebatterierna då fläktarna står stilla.

För värmeväxlarna mellan luft och vatten gäller följande dimensioneringsdata. Uppgifterna gäller per m^2 solfångare vid solinstrålningen 1000 W/m^2 :

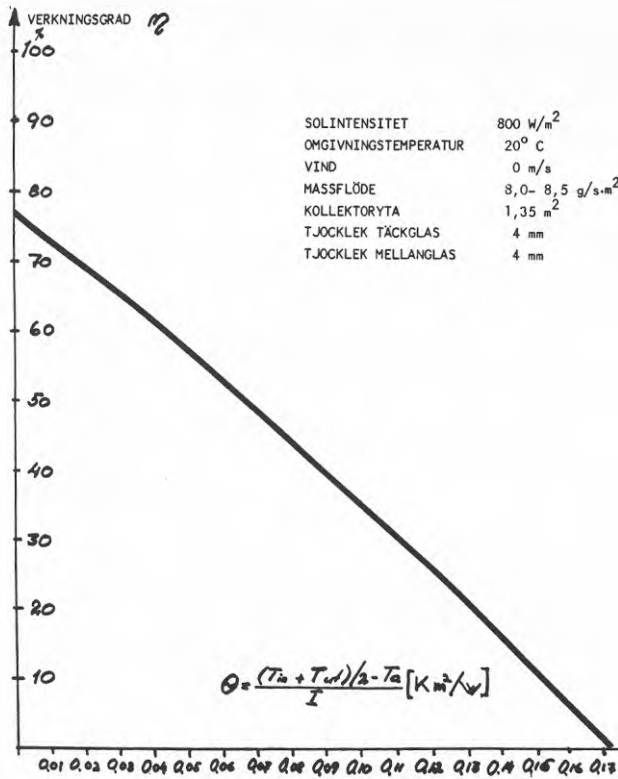
| | | |
|------------------|--------|----------------------------------------|
| Temperatur: | Luft | 95 \rightarrow 30 $^{\circ}\text{C}$ |
| | Vatten | 20 \rightarrow 68 $^{\circ}\text{C}$ |
| Flöden: | Luft | 30 m^3/h |
| | Vatten | 0,175 l/min |
| Värmeöverföring: | | 580 W |
| Tryckfall: | Luft | 50 Pa |
| | Vatten | 6 Pa |

Den uppmätta verkningsgradskurva för solfångarna som är använd vid projekteringsberäkningarna av solvärmeupptagningen framgår av figur 2.4 (enligt Andersson, Länsberg, 1980). Utgår man från lufttemperaturer i mitten av det uppritade området, ger kurvan följande verkningsgradsparametrar:

Förlustfri verkningsgrad $\eta_0 = 0,77$

Effektiv förlustkoefficient $k_e = 4,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

Solfångarnas beräknade värmeupptagning är $343,9 \text{ MWh}/\text{år}$ vilket motsvarar ca 930 kWh/m^2 . Dessa värden är orealistiskt höga med tanke på att solinstrålningen mot solfångarplanet endast är ca 980 kWh/m^2 . En värmeproduktion på 930 kWh/m^2 kan inte ens fås om solfångarna arbetar helt utan termiska förluster, dvs med årsverkningsgraden 0,77.



Figur 2.4 Uppmätt verkningsgradskurva för den luftkylda solfångaren i Fjäråsanläggningen (enligt Andersson, Länsberg, 1980).

2.3 Ackumulatorsystemet

Samtliga solfångarsektioners vätskebatterier är parallellt anslutna till en värmeackumulator placerad i A-husets apparatrum dit vattnet leds i kulvertar mellan byggnaderna. Ackumulatortorn består av två lika stora liggande, cylindriska ståltankar med en sammanlagd vattenvolym på 50 m³. Tankarna är dimensionerade för ett driftryck på 300 kPa och värmeisolerade med 200 mm mineralull som är avtäckt med profilerad aluminiumplåt. Diametern är 2,4 m och längden är 6,4 m.

När det gäller värmeinlagring från solfångarkretsen är de båda tankarna seriekopplade med varandra (figur 2.5). Vattnet från solfångarkretsen leds till ett vertikalt fördelningsrör som

har anslutningar i toppen, mitten och botten av den ena tanken (tank 2). Kallare vatten till solfångarkretsen tas från en anslutning i botten av den andra tanken (tank 1). Mellan tankarna kan vattnet strömma i båda riktningarna genom ett förbindelserör med anslutning till mitten av tank 1 och till botten av tank 2.

När det gäller värmeurlagring är tankarna inkopplade på så sätt att urlagring kan ske antingen via värmepumpens förångarkrets eller direkt via värmesystemets samlingsledning (fig 2.5).

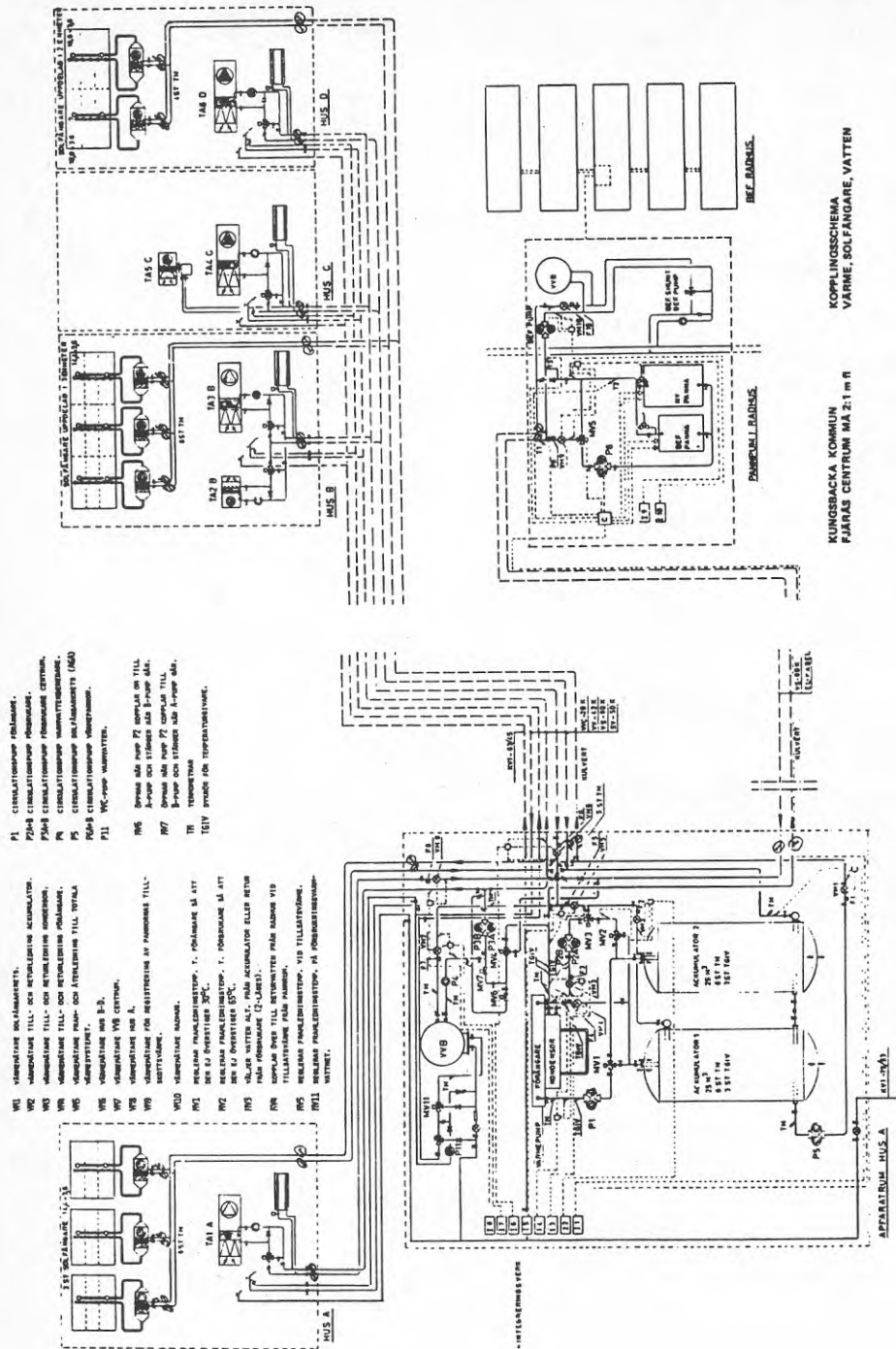
I värmepumpfallet blandar en 3-vägsventil vatten som tas dels från en anslutning i toppen av tank 2 och dels från förångarkretsens returledning. Blandningsventilen reglerar förångarkretsens framledningstemperatur så att den ej överstiger 30 °C, en begränsning för trycket i värmepumpens köldmediekrets. Avkyllt vatten leds i det fallet till en anslutning i botten av tank 1.

I fallet med direkturlagring blandar en 3-vägsventil vatten som tas från anslutningar dels i toppen av tank 2, dels i botten av tank 1. Blandningsventilen reglerar här värmesystemets framledningstemperatur så att den ej överstiger börvärdet på ca 65 °C.

Växlingen mellan värmepumpfallet och fallet med direkturlagring sköts av en 2-vägsventil som antingen låter värmesystemets returvattnet gå till värmepumpens kondensorkrets där det värms eller till ett vertikalt fördelningsrör med anslutningar i toppen, mitten och botten av tank 1.

Samtliga anslutningar i tankarna är kopplade till horisontella spridarrör med vars hjälp temperaturskiktningar ska kunna upprätthållas. I syfte att få jämn och långsam vätskeströmning har varje spridarrör ett stort antal små hål som på toppnivån är vända snett uppåt, på mellannivån rakt utåt sidorna och på bottennivån snett nedåt.

Anläggningens värmeackumulator är dimensionerad för ett driftfall under tiden april-maj då värmeurlagringen utan värmetillskott från solfångare eller värmepanna ska kunna täcka värmebehovet under 36 timmar. Ackumulatorvolymen ställd i relation till solfångararean är 0,133 m³/m². Detta värde är till sin storleksordning typiskt för dygnsvärmelagring i solvärmesammanhang. Som en jämförelse kan nämnas att värdet ligger på drygt 3 m³/m² för större solvärmearläggningar med säsongsvärmelagring. Fjäråsanläggningens ackumulatorstorlek är optimerad med hjälp av ett simuleringsprogram från Danmarks Tekniska Högskola.



Figur 2.5 Kopplingsschema över solvärmeanläggningen i Fjärås centrum (från Andersson, Länsberg, 1980).

2.4 Värmepumpsystemet

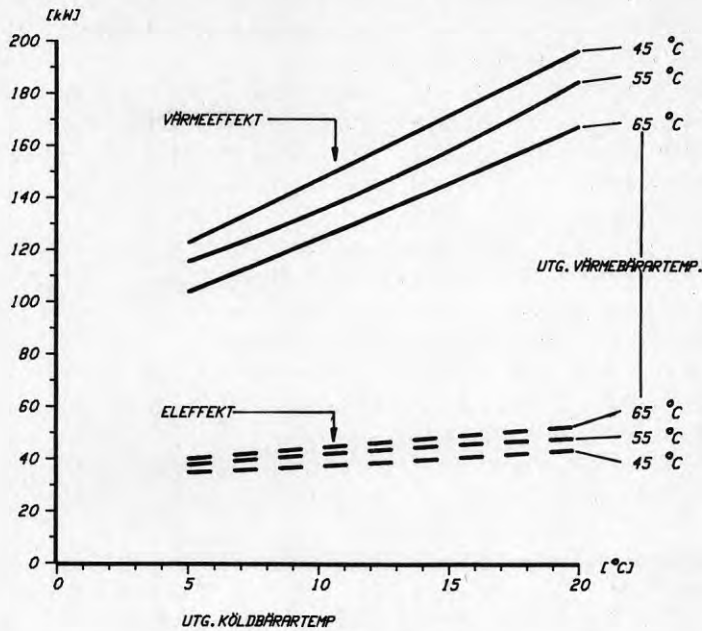
Projekteringsberäkningarna av såväl solvärmeproduktion som av värmelagringsbehov är gjorda med tanke på utnyttjande av värmepump i anläggningen. Med hjälp av en värmepump beräknades värmeackumulatören kunna utnyttjas ner till en temperatur på ca 5 °C.

Den installerade värmepumpen är ett eldrivet vätskekylaggregat anpassat för värmepumpdrift. Aggregatet är utrustat med en semihermetisk, 8-cylindrisk kolvkompressor med steglös, elektroniskt styrd effektregering mellan 25-100 % av maximal kapacitet samt med en termostatisk expansionsventil. Med hänsyn till den dimensionerande utgående värmebärartemperaturen på 60 °C används R12 som köldmedium. Värmepumpen är dimensionerad för en värmeeffekt på 150 kW vid värmebärartemperaturen 60 °C och köldbärartemperaturen 15 °C.

Utgångspunkten för dimensioneringen är troligen den att värmepumpen ensam ska kunna klara hela värmeförsörjningen för centrum- och radhusbebyggelsen under ett dygn i april då det genomsnittliga värmeeffektbehovet uppgår till ca 140 kW. Ur energisynpunkt har värmepumpen beräknats täcka mer än 50 % av värmebehovet i april (Andersson, Länsberg, 1980), vilket bör sammanhålla med att den ensam beräknats klara värmeförsörjningen under några hela dygn den månaden. I tabell 2.2 anges huvuddata för värmepumpens dimensionering och i figur 2.6 visas dess effektdiagram.

Tabell 2.2 Värmepumpens dimensioneringsdata i Fjärås centrum

| | |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| Fabrikat | Stal Refrigeration AB |
| Modell | VMV 8 |
| Köldmedium | R12 |
| Utg värmebärartemp | 60 °C |
| Utg köldbärartemp | 15 °C |
| " " | min 2 °C |
| Ink " | 17,8 °C |
| " " | max 30 °C |
| Värmebärarflöde | 20-30 m ³ /h |
| Köldbärarflöde | 32 m ³ /h |
| Tryckfall gm kondensor vid 30 m ³ /h | 52 kPa |
| Tryckfall genom förångare | 108 kPa |
| Värmeeffekt | 150 kW |
| Tillförd eleffekt | 48 kW |
| Värmefaktor | 3,13 |
| Märkeffekt motor | 60 kW |
| Max motorström | 110 A |
| Startström | 125 A |
| Startsätt | Y/D |
| Längd | 3340 mm |
| Bredd | 680 mm |
| Höjd | 1520 mm |



Figur 2.6 Effektdiagram för Stal Refrigerations värmepump VMV 8 enligt fabrikantens uppgifter för köldmedium R12.

2.5 Pannsystemet

I radhusområdet fanns redan tidigare två oljepannor som när även centrumbebyggelsen anslöts fick för låg sammanlagd uppvärmningskapacitet för att klara hela värmebehovet under vintertiden utan solvärmetilskott. Därför utbyttes den ena pannan på 170 kW mot en ny panna på 340 kW. Pannorna är avsedda för eldning med eldningsolja 1 (Eo 1).

2.6 Styrsystem och övrigt

För styrning av solfångarsystemet finns det ett separat styrsystem för varje hus. Start och stopp av solfångarsystemet regleras genom en temperaturredifferens där den ena temperaturgivaren är placerad i solfångaren mellan täckglaset och den andra i värmeackumulatorns botten. När temperaturredifferensen överstiger 5 °C för en solfångargrupp startar alla fläktar och luftspjällen öppnar. Samtidigt startar solfångarkretsens vätskepump placerad på utgående ledning från värmeackumulatorn

och en magnetventil öppnar vätskekretsen mot solfångargruppens värmeväxlaraggregat. Alla fläktar startar på lågfart och när lufttemperaturen överstiger ett inställt värde sker övergång till högfart som ska råda under större delen av drifttiden. När temperaturdifferensen mellan solfångare och värmeackumulator blir för låg stoppas fläktarna och stängs luftspjällen. Värmekablarna som ska förhindra sönderfrysning av vätskebatterierna kopplas på vid en temperatur av 8 °C.

För styrning av värmeackumulatorns urlagring, tillsatsvärme från oljepannor, tappvarmvattenberedning samt luftvärmeaggregat finns det ett stort antal reglerkretsar bestående av temperaturgivare, motorventiler och reglercentraler (figur 2.5). Styrning av urlagringen är redan tidigare beskriven i avsnitt 2.3. I det följande beskrivs endast styrning av tillsatsvärmerna medan övrig styrning lämnas därhän eftersom den är av helt konventionellt slag. Använda beteckningar hänvisar till kopplings schemat i figur 2.5.

Behov av tillsatsvärme föreligger när temperaturen i kulvertledningen från centrum in till radhusen (T1) underskrider ett ställbart börvärde under 2 timmars tid. Pannan och dess pump startas och en shuntventil (MV5) blandar varmt pannkretsavatten med kallare vatten från kulvertledningen så att önskad, utekompenserad framledningstemperatur (T3) fås. Samtidigt omkopplas en ventil i centrum (MV4) samt vissa pumpar så att varmt kulvertvatten från radhusen leds direkt till framledningen i centrums värmekrets utan att passera värmepumpkretsen. När temperaturen T1 når börvärdet stängs ventil MV5 mot kulvertledningen och pannan stoppas efter det att den varit i drift en viss minimitid.

När det gäller samdriften mellan värmepump och pannor finns ingen överordnad styrning vilket är ett besvärligt problem i anläggningen. Allt styrs av vilka "temperatursvar" som uppstår i och överförs via det sammankopplade, stora och vittförgrenade rörsystemet där de båda värmeproducerande enheterna arbetar med varsitt reglersystem. Lösningen syns inbjuda till svårigheter och då speciellt med tanke på värmepumpdriften.

3 MÄTNINGAR OCH RESULTAT

3.1 Mätssystem och mätstorheter

Det datoriserade system som har använts för mätdatainsamlingen består dels av en centralenhet innehållande en mätpunktsväljare (scanner), en pulsräknare samt en voltmeter och dels av kringutrustning såsom en databandspelare samt en nätstabilisator för mätsystemets strömförsörjning. I centralenheterna lagrade mätvärden har varje timma automatiskt överförts till bandminnet.

Med ungefär en veckas mellanrum har mätsystemets magnetband bytts. Den fortsatta databehandlingen har skett på ett datorsystem för beräkning vid avd för installationsteknik. Fortlöpande har för varje månad dygnsvärden för alla mätstorheter framräknats och tabellerats på skrivarpapper. På så vis har dels en bra bild av mätvärdenas rimlighet och dels en lättöverskådlig dokumentation av mätdata vunnits. Regelbundet har också uppritning av en del dygnsförlopp för viktigare mätstorheter gjorts med hjälp av beräkningssystemets plotter. Därigenom har en mer detaljerad mätvärdeskontroll fåtts.

Fjäråsanläggningen har väl förberetts för mätning genom att en hel del givare och kablar har installerats redan vid byggnationen. Därigenom har mätinsamlingssystemet direkt kunnat anslutas till färdiga kopplingsplintar för flertalet av de givare som har utnyttjats vid mätningarna. Mätpunkternas placering i anläggningen framgår av kopplingsschemat i figur 2.5.

Uppmätta systemstorheter är temperatur, vätskeflöde, värmemängd, elenergi och drifttid. Solinstrålning och utetemperatur är de klimatstorheter som är uppmätta. Sammanlagt 52 st mätvärden är regelbundet lagrade av mätsystemet där 32 st är temperaturer, 6 st är vätskeflöden, 8 st är värmemängder, 1 st är antal starter och 1 st är solinstrålning. I tabell 3.1 anges beteckningar och enheter för alla dessa mätstorheter där beteckningarna överensstämmer med dem som anges i figur 2.5.

Vid sidan av den automatiska mätvärderegistreringen har även några manuella registreringar skett. Regelbunden avläsning har skett av integreringsverk för värmemängd från solfångarsystemet, värmemängd från värmepumpens kondensator, drifttid för värmepumpens kompressor samt för elenergi till värmepumpens kompressor inklusive köldbärarpump respektive till luftfläktarna i solfångarsystemet. Vid ett par tillfällen har också manuell uppmätning av solfångarsystemets luftflöden gjorts. Mätningarna är gjorda med hjälp av Pitot-rör och en portabel

Tabell 3.1 Viktigare mätstorheter som är lagrade av mät-systemet varje timma

| Storhet | Beteckning | Enhet |
|-------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| Vätsketemperatur i värmekulvert vid centrum | Δt_1 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Vätsketemperatur i värmekulvert vid radhus | t_{1-2} | $^{\circ}\text{C}$ |
| Vätsketemperatur i solfångarkrets från och till ackumulator | t_{3-4} | $^{\circ}\text{C}$ |
| Vätsketemperatur till och från VP:s förångare | t_{5-6} | $^{\circ}\text{C}$ |
| Vätsketemperatur till och från VP:s kondensor | t_{7-8} | $^{\circ}\text{C}$ |
| Vätsketemperatur i topp och botten av tank 1 | t_{9-10} | $^{\circ}\text{C}$ |
| Vätsketemperatur i topp och botten av tank 2 | t_{11-12} | $^{\circ}\text{C}$ |
| Utetemperatur | t_{13} | |
| Solfångarsystemets totala värmeutbyte | VM1 | kWh |
| Värme från VP:s kondensor | VM3 | kWh |
| Värme till VP:s förångare | VM4 | kWh |
| Värmedistribution till hus B-D | VM6 | kWh |
| Värme till tappvarmvatten i centrum | VM7 | kWh |
| Värmedistribution till hus A | VM8 | kWh |
| Värme från oljepannor | VM9 | kWh |
| Värmedistribution till radhus | VM10 | kWh |
| Elenergi till VP inkl köldbärarpump | W1 | kWh |
| Drifttid för VP | D1 | sek |
| Antal starter för VP | A1 | st |
| Solinstrålning mot solfångarplanet | E1 | W/m^2 |

mikromanometer. Luftflödet hos alla 8 solfångargrupperna är bestämt genom mätning av lufthastigheten i den runda samlingskanalen.

I det följande presenteras en del mer detaljerade, mättekniska uppgifter om givarna som är använda.

Temperatur

Mänt med temperaturberoende motstånd av typen Pt100 placerade i dyrkrör. Mätvärdena är omvandlade till pulser för kontinuerlig registrering. Varje puls motsvarar ett visst antal gradtimmar.

Vätskeflöde

Mänt med vinghjulsmätare vartill kontaktverk som avger pulser är kopplade. Varje puls motsvarar ett visst antal liter.

Elenergi

Mänt med elmätare anslutna via strömtransformatorer och utrustade med pulskontakter. Varje puls motsvarar ett visst antal kilowattimmar.

Drifftid

Mänt med hjälp av pulståg med känd frekvens. Kontakter och reläer svarar för att pulståget leds till pulsräknaren då drifftid ska räknas. Varje puls motsvarar ett visst antal sekunder.

Solinstrålning

Mänt med en termoelektrisk pyrometer, s k solarimeter, orienterad mot söder och med samma lutning mot horisontalplanet som solfångarna. Den aktiva spänning som solarimetern ger är omvandlad till pulser med hjälp av en speciell elektronikenhet. Varje puls motsvarar ett visst antal wattimmar per kvadratmeter.

En mätning anger aldrig exakt värdet av den storhet som ska bestämmas. Hur noggrann man än är vid en mätning får man fel som orsakas av mätutrustningens onoggrannhet eller av ofrånkomliga yttre störningar. Om man undantar avläsningsfel samt andra, mer slumpvisa och tillfälliga fel återstår instrument- och metodfel, s k systematiska mätfel. I det följande anges de systematiska mätfelens storlek för viktigare mätstorheter i undersökningarna.

Vätsketemperatur

Mätning har skett av både absoluttemperaturer (t) och temperaturdifferenser (Δt). Enligt upprepade kalibreringar av givarna är mätfelet:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \pm 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta(\Delta t) &= \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

De små felen hos temperaturdifferenserna beror på att mätningarna är gjorda med speciellt utvalda givarpar. Dessa givarpar har använts för värmemängdsmätning.

Elenergi

Enligt fabrikantens kalibreringsuppgifter för använda elmätare är det relativa mätfelet:

$$m_w = \pm 1 \%$$

Mätfelet gäller för elbelastningar där motorer ingår, t ex värmepumpar med elkompressor.

Solinstrålning

Enligt kalibreringar vid Statens Provningsanstalt av solarimetrar som är använda under mätperioder av den längd som här är aktuell är det relativa mätfelet:

$$m_E = \pm 4 \%$$

Detta förutsätter att inga optiska störningar i form av smuts- och kondensvattenavsättningar finns på solarimeterns skyddsglas. Här är sådana störningar förebyggda dels genom torkmedel i solarimeterkroppen, dels genom att solarimeterns glassfär kontinuerligt anstryks av en svagt tempererad luftström från en elektriskt uppvärmd fläktlåda vari solarimeterkroppen sitter monterad.

Värmemängd

Mätfelet vid värmemängdsmätning sammansätts av dels felet för vätskeflödesmätningen, dels felet för temperaturdifferensmätningen. Enligt fabrikantens kalibreringsuppgifter är det relativa felet $m_v \pm 2 \%$ för vätskeflödesgivaren. Absolutfelet för

temperaturdifferensen ligger såpass lågt som $\pm 0,2$ °C beroende på att speciellt utvalda, samkalibrerade givarpar har använts. Det relativa felet är således $m_{\Delta t} = \pm 0,2/\Delta t$. Då värmeeffekten fås ur $Q = \text{konst.} \cdot \dot{V} \cdot \Delta t$ fås det relativa mätfelet m_Q för värmemängd genom summering av $m_{\dot{V}}$ och $m_{\Delta t}$. I tabellen nedan presenteras det relativa mätfelet m_Q för värmemängden vid några olika värden på temperaturdifferensen:

| Δt (°C) | $m_{\dot{V}}$ (%) | $m_{\Delta t}$ (%) | m_Q (%) |
|-----------------|-------------------|--------------------|-----------|
| 1 | ± 2 | ± 20 | ± 22 |
| 2 | ± 2 | ± 10 | ± 12 |
| 5 | ± 2 | ± 4 | ± 6 |
| 10 | ± 2 | ± 2 | ± 4 |
| 20 | ± 2 | ± 1 | ± 3 |
| 40 | ± 2 | $\pm 0,5$ | $\pm 2,5$ |

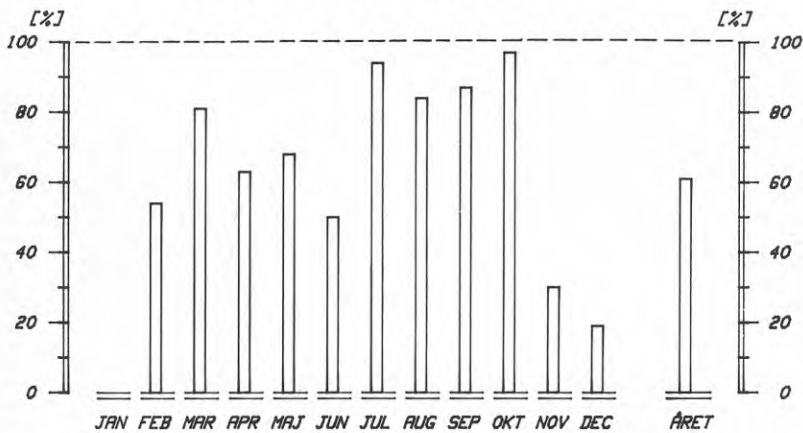
Temperaturdifferensen i alla kretsar för värmedistribution liksom i värmepumpens kondensorkrets har huvudsakligen varit mellan 5 och 10 °C vid mätningarna. För solvärmekretsen har temperaturdifferensen varit omkring 10 °C under merparten av dess drifttid. Dessa värmemängdsmätningar som ligger till grund för anläggningens värmebalans har alltså relativa mätfel på mellan ± 4 % och ± 6 %.

3.1.1 Mätssystemets tillgänglighet

Det datoriserade mätssystemet togs i drift år 1981 ungefär samtidigt som Fjäråsanläggningen som helhet började fungera normalt. Mätssystemet var placerat i samma apparatrum som värmepumpen och bland annat nätstörningar ställde till en hel del problem som gjorde att endast korta, sammanhängande mätperioder kunde fås år 1981. Dessa är utelämnade i resultatpresentationen som helt bygger på mätdata insamlade under år 1982 då mätssystemet efter vissa ombyggnader fungerade tillfredsställande. Mätssystemets tillgänglighet månad för månad år 1982 visas i figur 3.1. Det framgår av diagrammet att tillgängligheten med undantag av endast någon månad ligger högt för perioden mars - oktober. Under denna period som svarat för omkring 95 % av solvärmeproduktionen har vissa smärre beräkningsmässiga

kompletteringar kunnat göras med god säkerhet för att därmed få fram fullständiga årsvärden för anläggningens värmebalans. Kompletteringarna är gjorda med hjälp av samtidigt uppmätta dygnsvärden på solinstrålning samt utetemperatur i Göteborg som ligger på ca 20 kilometers avstånd från Fjärås. För dessa klimatparametrar befanns korrelationen mellan Fjärås- och Göteborgsvärden vara god under perioder med Fjäråsvärden tillgängliga. Kompletteringarna är gjorda på så sätt att Göteborgsvärdena är använda som ingångsdata i korrelationer dels mellan solvärmeutbyte och solinstrålning, dels mellan värmebehov och utetemperatur baserade på Fjäråsmätningar. Med det förfarandet är alltså fullständiga årsvärden framtagna för Fjäråsanläggningens solvärmeutbyte samt värmebehov.

FJÄRÅS CENTRUM
MÄTSYSTEMETS TILLGÄNGLIGHET 1982
Drifttid relativt realtid



Figur 3.1 Det datoriserade mätsystemets tillgänglighet år 1982.

3.2 Mätresultat

Som redan tidigare nämnts bygger resultatredovisningen helt på mätdata insamlade under år 1982. Dessa mätdata ligger i sin tur till grund för framtagna normalårsresultat. Normalårskorrigeringar av 1982 års resultat är gjorda med hjälp av SMHI:s omfattande klimatstatistik för Göteborg. Solinstrålningen och därmed sammanhängande solvärmeupptagning är korrigerad utgående från globalinstrålningen mot horisontalplanet som är omräknad till instrålning mot solfångarplanet. Utetemperaturen och därmed sammanhängande rumsvärmebehov är korrigerad utgående från antal gradtimmar inne-ute. Inga korrigeringar är däremot gjorda för tappvarmvatten och kulvertförluster där variationerna i värmebehov är från år brukar vara små för bostäder och alltså kan försummas i sammanhanget.

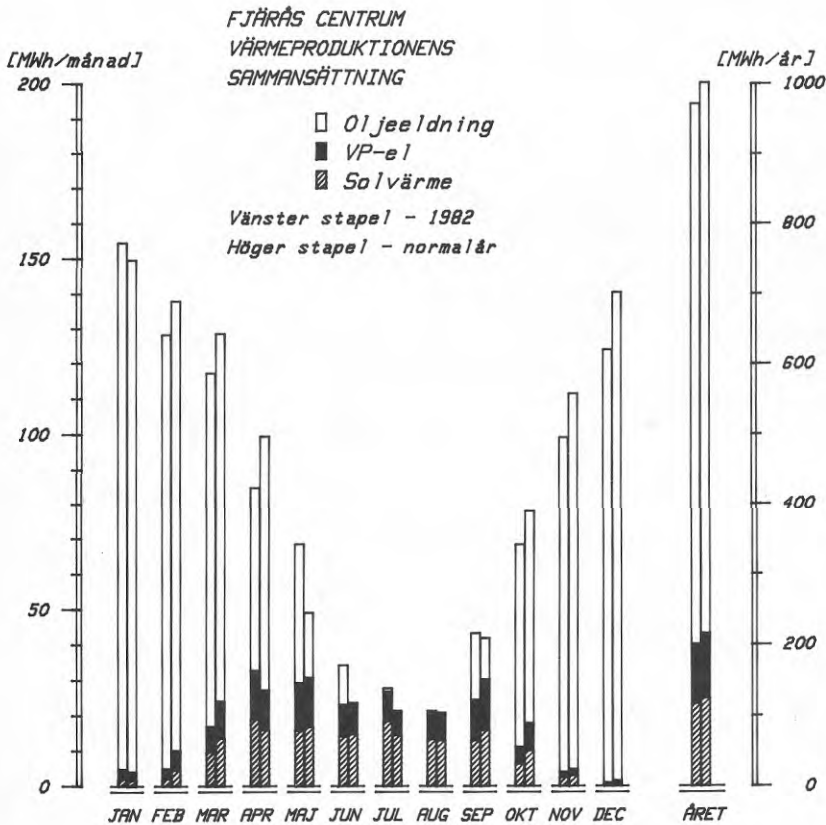
Värmeproduktionens sammansättning för år 1982 och för ett normalår visas i figur 3.2. Det framgår av diagrammet att mätåret relativt väl representerar normalåret med tanke på hur värmeförsejningen fördelar sig på oljeeldning, värmepump-el och solvärme. Mätårets totala värmeproduktion ligger på 97 % av normalårsvärdet och dess solvärmeproduktion ligger på 94 % av normalårsvärdet. Värmeproduktionens sammansättning och de olika bidragens storlek är alltså väl bestämda för normalåret och följande gäller:

| | | |
|-----------------------|---------------|---------|
| Värme från oljepannor | 785,1 MWh/år | (79 %) |
| Värme från solfångare | 124,5 MWh/år | (12 %) |
| Värme från VP-el | 91,9 MWh/år | (9 %) |
| Total värmeproduktion | 1001,5 MWh/år | (100 %) |

Den verkliga, totala värmeproduktionen stämmer tämligen väl överens med den värmeproduktion som beräknats vid projekteringsarbetet. Däremot är den verkliga solvärmeproduktionen väsentligt mindre än vad som beräknats vid projekteringen. Vidare är i motsats till vad som beräknats vid projekteringen all solvärme distribuerad med hjälp av värmepumpdrift. Den verkliga temperaturnivån i värmeackumulatorerna har endast mycket kortvarigt nått upp till vad värmesystemet kräver. Den systemtekniskt sett mycket komplicerade lösning som finns i anläggningen för att direkt utnyttja solvärme utan hjälp av värmepump är alltså helt onödig.

Man brukar i solvärmesammanhang tala om solvärmens täckningsgrad och då menas solvärmens procentuella andel av den totala värmeproduktionen. Täckningsgraden är då ett förhållande mellan energistorheter, en mening som begreppet täckningsgrad genomgående har i denna rapport. Denna täckningsgrad uppgår för Fjäråsanläggningen till 12 % i verkligheten vilket ska jämföras med 33 % enligt projekteringsberäkningen. För anläggningar av det här

slaget medräknas ibland värmepumpen i täckningsgraden. Ett sådant betraktelsesätt är principiellt sett tveksamt eftersom risken då finns att felaktiga jämförelser görs mellan solvärmeanläggningar med respektive utan värmepump. Värmepumpen bör helt enkelt betraktas som tillsatsvärme och är som sådan helt likvärdig med annan tillsatsvärme, till exempel från oljepannor i årsvärmebalansen. Ur värmeeconomisk synpunkt är det viktigt att jämförelser mellan olika typer av solvärmeanläggningar görs med utgångspunkt i en och samma definition av solvärmens täckningsgrad (kap 4.3).



Figur 3.2 Värmeproduktionens sammansättning i Fjäråsanläggningen för år 1982 och för ett normalår på orten.

Värmeconsumtionens sammansättning för centrum- och radhusbebyggelsen sammantagen visas i figur 3.3. Den visade sammansättningen gäller för normalår och är som tidigare nämnts framtagen på basis av 1982 års mätresultat. Värmeförlusterna från kulverten mellan centrum- och radhusområdet är bestämda med hjälp av mätningar av värmeproduktionen under sommarperioder med mycket låg tappvarmvattenförbrukning då alltså merparten av produktionen går åt för att täcka kulvertförlusten. På så sätt blir förlusten relativt tillförlitligt bestämd och relaterad till rådande temperaturer i rörkretsarna och utomhus. Med kännedom om dessa temperaturers årsvariation har kulvertförlusten månad för månad sedan bestämts.

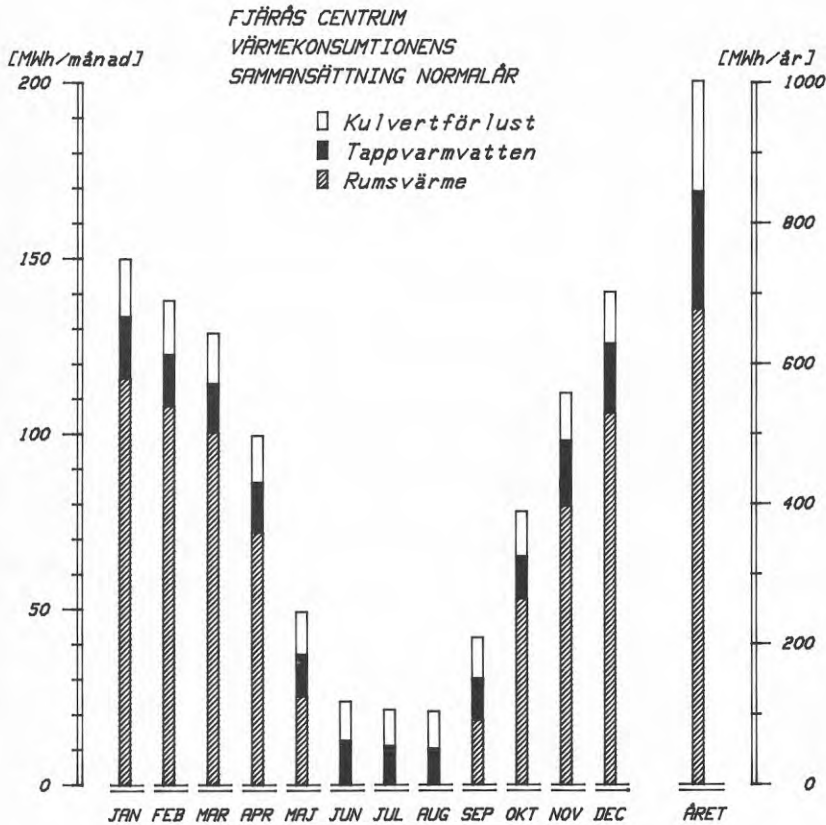
Normalårsvärdena för värmeconsumtionen och dess sammansättning är följande:

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Rumsvärme | 677,7 MWh/år (68 %) |
| Tappvarmvatten | 168,2 MWh/år (17 %) |
| Kulvertförlust | 155,6 MWh/år (15 %) |
| Total värmeconsumtion | 1001,5 MWh/år (100 %) |

Både för rumsvärme och tappvarmvatten är den verkliga värmeconsumtionen lägre än vad som beräknats vid projekteringen. Detta gäller speciellt för tappvarmvattnet där verklig värmeconsumtion endast uppgår till 56 % av projekteringsvärdet. Överskattning av tappvarmvattenbehovet är inte ovanligt i projekterings-sammanhang och måste med stor nödvändighet undvikas i samband med solvärmeutnyttjande av det slag som sker i Fjäråsanläggningen. Anledningen är att solvärmesystemet kan bli starkt överdimensionerat och därför mycket ineffektivt under sommar-månaderna. Ett system av aktuellt slag, dvs ett s k vår-sommar-höstsystem, ska rätt dimensionerat fungera effektivt och ge merparten av årets solvärmeutbyte under sommarmånaderna då rumsvärmebehov saknas och endast tappvarmvattenbehov finns.

Kulvertvärmeförlusten som faktiskt uppgår till 15 % av den totala värmeconsumtionen finns ej medtagen i projekteringsberäkningarna. Genom att övriga värmebehov överskattats stämmer ändå verklig och projekterad total värmeconsumtion väl överens. Om man på det sätt som är vanligt när det gäller kulvertförluster hänför storleken till värmedistributionen uppgår förlusten till omkring 30 %. Detta genom att ungefär hälften av all värmeconsumtion distribueras via kulverten och resterande konsumtion täcks av produktion inom respektive husområde. Värmedistributionen per längdmeter kulvert ligger på omkring 1 MWh/m vilket är mycket lågt värde i fjärrvärmesammanhang. En såpass låg värmetäthet brukar vara förknippad med kulvertförluster av samma storleksordning som i Fjärås-fallet.

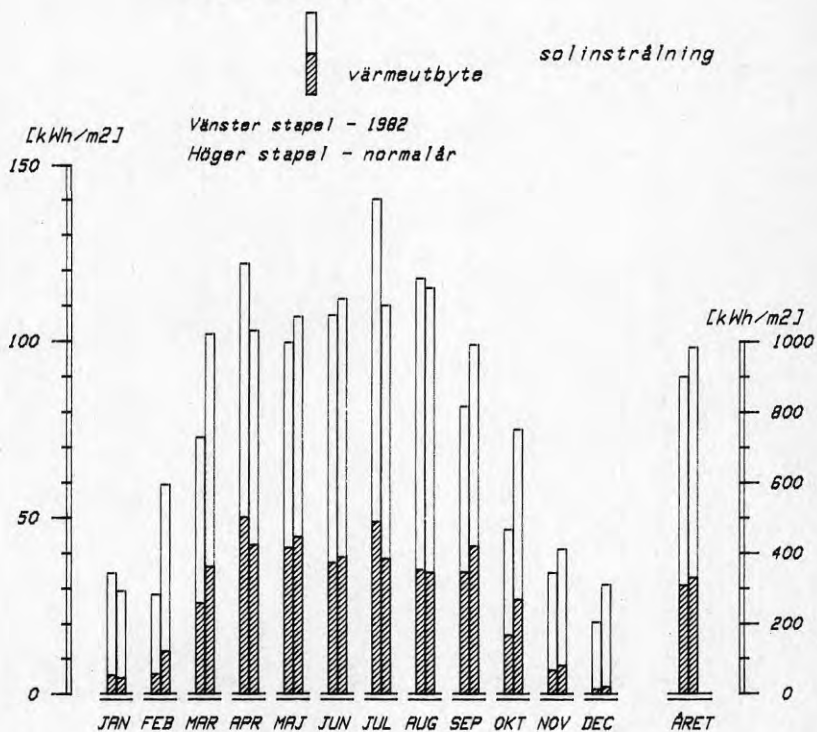
Bebyggelsens värmebehov exklusive kulvertförluster motsvarar per kvadratmeter uppvärmd totalyta ca 155 kWh/m². På den nivån ligger normalt värmebehovet för flerbostadshus byggda under senare delen av 70-talet, dvs samma ålderskategori som nybebyggelsen i Fjärås centrum.



Figur 3.3 Värmeconsumtionens sammansättning i Fjärås anläggningen för ett normalår på orten.

Solfångarsystemets värmeutbyte samt solinstrålningen mot solfångarplanet för år 1982 och för ett normalår visas i figur 3.4. Det framgår av diagrammet att det finns några månader med relativt stora avvikelser mellan mät- och normalår men att årssummorna visar bra överensstämmelse. Mätårets solinstrålning ligger på 92 % av normalårsvärdet medan solvärmeutbytet ligger på 94 % av normalårsvärdet. Siffervärden på solinstrålning och solvärmeutbyte för mätåret redovisas i tabell 3.2 där även solfångartemperaturer samt termiska verkningsgrader är angivna.

FJÄRÅS CENTRUM
SOLFÅNGARSYSTEMETS VÄRMEUTBYTE
OCH SOLINSTRÅLNING



Figur 3.4 Solfångarsystemets värmeutbyte samt global solinstrålning mot solfångarplanet för år 1982 och för ett normalår på orten.

Tabell 3.2 Driftvärden för solfångarsystemet år 1982. Verkningsgraden är förhållandet mellan solvärmeutbytet, dvs värme tillfört ackumulatorn, och total solinstrålning mot solfångarplanet. Solfångarsystemets luft- respektive vattentemperatur är medelvärdet under drift, dvs den tid då fläktar och pumpar på ömse sida om värmeväxlarna arbetar.

| Månad | Total sol- | Solvärme- | Verknings- | Solfångar- | |
|----------|-----------------------|-----------------------|------------|------------------|------------------|
| | instrålning | utbyte | | grad | temperatur |
| | (kWh/m ²) | (kWh/m ²) | (%) | Luft (°C) | Vatten (°C) |
| Jan | 34,3 | 5,3 | 15 | 15 | 6 |
| Feb | 28,2 | 5,7 | 20 | 23 | 12 |
| Mar | 72,8 | 25,8 | 35 | 33 | 6 |
| Apr | 121,9 | 50,1 | 41 | 31 | 8 |
| Maj | 99,6 | 41,5 | 42 | 25 | 6 |
| Jun | 107,3 | 37,3 | 35 | 44 | 29 |
| Jul | 140,2 | 48,9 | 35 | 49 | 35 |
| Aug | 117,7 | 35,3 | 30 | 46 | 33 |
| Sep | 81,6 | 34,6 | 42 | 42 | 11 |
| Okt | 46,7 | 16,7 | 36 | 39 | 11 |
| Nov | 34,4 | 6,7 | 19 | 24 | 9 |
| Dec | 20,4 | 1,3 | 6 | 30 | 12 |
| År 1982 | 905 | 309 | 34 | 38 ¹⁾ | 18 ¹⁾ |
| Normalår | 984 | 330 | 34 | 38 ¹⁾ | 18 ¹⁾ |

1) Energiviktad med avseende på solvärmeutbyte.

3.2.1 Solfångarsystemets detaljfunktion

Solfångartemperaturernas månadsvärden angivna i tabell 3.2 är framtagna med hjälp av detaljmätningar för vissa sommandagar med stort solvärmeutbyte då timvärden på luft- och vattensidan hos samtliga värmexlaren samt på totalt upptagen värmeeffekt har mätts. Med kännedom om genomsnittlig värmeeffekt samt ackumulator-temperatur har sedan genomsnittlig lufttemperatur i solfångarsystemet framtagits månad för månad. Angivna solfångartemperaturer är alltså verkliga driftvärden och gäller för tider med luft- och vattencirkulation påslagen. Dessa begränsningar gäller dock ej för angivna verkningsgrader som på vanligt sätt är relaterade till all solinstrålning under månader och år.

Omräknat till normalårsvärden ligger solfångarsystemets värmeutbyte på 330 kWh/m² vilket motsvarar årsverkningsgraden 0,34. Nämnas bör då att omkring 4 % av värmeutbytet egentligen ej är solvärme utan kommer ifrån de eldrivna luftfläktarna i solvärme-systemet. Luftflödet räknat per m² solfångare ligger på mellan 22 och 29 m³/h för alla solfångarsektioner utom för en där flödet ligger på 14 m³/h. Denna lilla obalans påverkar solfångarsystemets effektivitet som helhet mycket marginellt. Det låga solvärmeutbytet beror på helt andra faktorer som behandlas nedan.

För att närmare kunna bedöma och värdesätta solvärmeutbytet för den använda solfångartypen jämfört med andra typer måste en detalj-
analys göras där solfångartemperaturen tas med i bilden. Det görs i det följande med utgångspunkt i det i solfångarsammanhang vanliga sambandet:

$$\eta = \eta_0 - k_e \cdot \frac{(\bar{t}_F - t_u)}{E} \quad (3:1)$$

Där är

η = solfångarens effektverkningsgrad

η_0 = solfångarens effektverkningsgrad utan termiska förluster

k_e = solfångarens effektiva förlustkoefficient [W/m², °C]

\bar{t}_F = värmebärarens medeltemperatur i solfångaren [°C]

t_u = utetemperatur [°C]

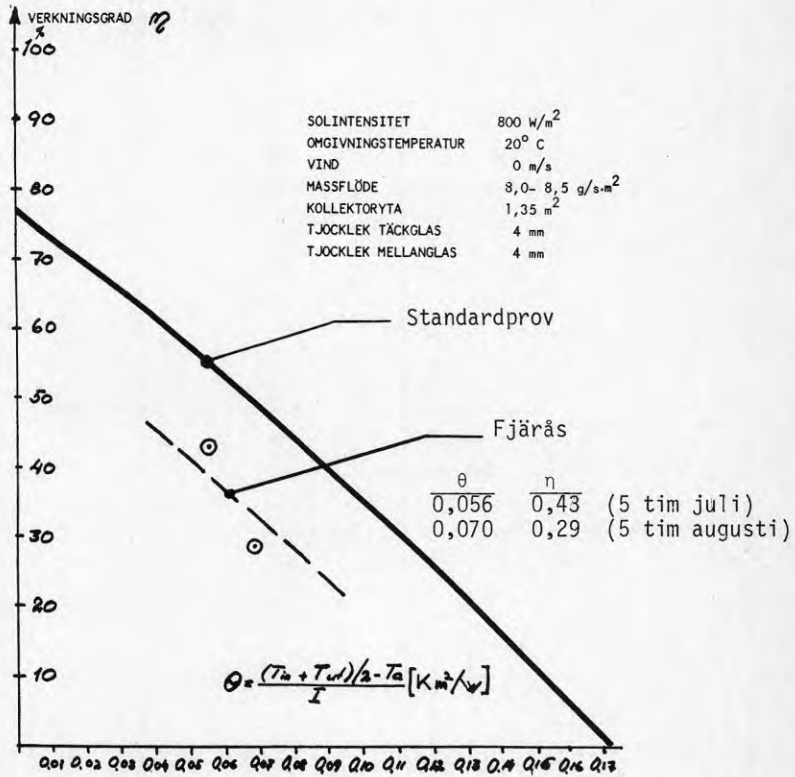
E = solinstrålningstäthet i solfångarplanet [W/m²]

Samband (3:1) mellan η och kvoten $(\bar{t}_F - t_u)/E$ ritas ofta grafiskt för att värmetekniskt karaktärisera en viss solfångare och brukar kallas verkningsgradskurvan. Verkningsgradsparametrarna η_0 och k_e kan bestämmas med god noggrannhet om ett antal mätvärden med tillräcklig spridning finns att tillgå för axelstorheterna. För Fjäråsanläggningens del har under ett par sommark dagar med stort solvärmeutbyte timvärden uppmätts för solfångarsystemets lufttemperaturer och verkningsgrad samt solinstrålning. Mätresultat visas i figur 3.5 där varje mätvärde är ett medelvärde för 5 timmar mitt på respektive dag. Mätvärdena ger följande verkningsgradsparametrar:

$$\eta_0 \approx 0,6$$

$$k_e \approx 4,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Med en så begränsad mängd och spridning av mätdata råder naturligtvis en viss osäkerhet i parameterbestämningen. Enligt avsnitt 2.2 användes vid projekteringsberäkningarna värdena $\eta_0 = 0,77$ och $k_e = 4,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Värdena var framtagna vid standardprov på solfångarelement, där η_0 var bestämd genom utomhusmätning med verklig solinstrålning och k_e var bestämd genom värmeförlustmätning inomhus. Verkningsgradskurvan baserad på standardvärdena har tagits som utgångspunkt när det gäller bestämningen av de verkliga parametervärdena för Fjäråsanläggningens solfångare. Här har förutsatts att det verkliga värdet på k_e helt överensstämmer med standardvärdet och att hela prestandaförsämringen ligger i för-sämrat verligt η_0 -värde jämfört med standardvärdet. Detta motsvarar en ren parallellförflyttning nedåt av verkningsgradskurvan bestämd vid standardprov (figur 3.5). Tankgegången bygger på att direkt fysikaliska orsaker till försämringen sannolikt är att absorATORYTANS optiska egenskaper blivit sämre genom dess direktkontakt med stora mängder luft. Luft bemängd med smutspartiklar från kanalsystem och kanske även utifrån ger troligen med tiden mer och mer avsättningar på absorATORYTAN.



Figur 3.5 Bestämning av verkningsgradsparametrar för Fjärås-anläggningens solfångare med hjälp av timvärden från två sommardagar och jämförelse med resultat från tidigare standardprov på mindre solfångarelement.

För att ännu något bekräfta riktigheten i parameterbestämningen har även följande samband utnyttjats:

$$Q_u = \eta_o \cdot W - k_e \cdot (t_F - t_u) \cdot \tau \quad (3:2)$$

Där är:

$$Q_u = \text{solfångarens årsvärmeutbyte} \quad [\text{Wh/m}^2]$$

$$W = \text{energiinstrålningstäthet, dvs} \\ \text{årets solinstrålning mot sol-} \\ \text{fångarplanet under drift} \quad [\text{Wh/m}^2]$$

$$t_F = \text{med avseende på solvärmeutbytet} \\ \text{energiviktad värmebärartemperatur} \\ \text{i solfångaren} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\tau = \text{solfångarens sammanlagda drifttid} \\ \text{under året} \quad [\text{h}]$$

I övrigt, se samband (3:1).

Bestämning av ett η_o -värde är gjord med hjälp av följande mätvärden från år 1982:

$$Q_u = 309 \text{ kWh/m}^2$$

$$W = 850 \text{ kWh/m}^2 \text{ (erfarenhetsmässig} \\ \text{korrektio n av total solinstrål-} \\ \text{ning på } 905 \text{ kWh/m}^2)$$

$$t_F = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_u = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau = 1625 \text{ h (ansatt lika med antalet} \\ \text{solskenstimmar enl SMHI:s Göteborgs-} \\ \text{registrering)}$$

Med $k_e = 4,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ blir resultatet $\eta_0 \approx 0,6$ vilket alltså sammanfaller med den andra bestämningen. En viss ökning av k_e -värdet, säg till $5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, är också tänkbar till följd av försumtsning och därav ökad värmeutstrålning från absorbatorns selektiva ytbeläggning. Fortfarande blir dock resultatet $\eta_0 \approx 0,6$. Låser man istället η_0 -värdet vid standardprovresultatet $0,77$ blir $k_e \approx 9 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ enligt samband (3:2). Ett så högt k_e -värde motsvarar en dålig enkelglasad solfångare som står fritt utomhus. Detta faller på sin egen orimlighet och slutsatsen blir att parameterbestämningen enligt samband (3:1) bör ha gett något så när riktiga värden för Fjäråsanläggningens luftkylda solfångare.

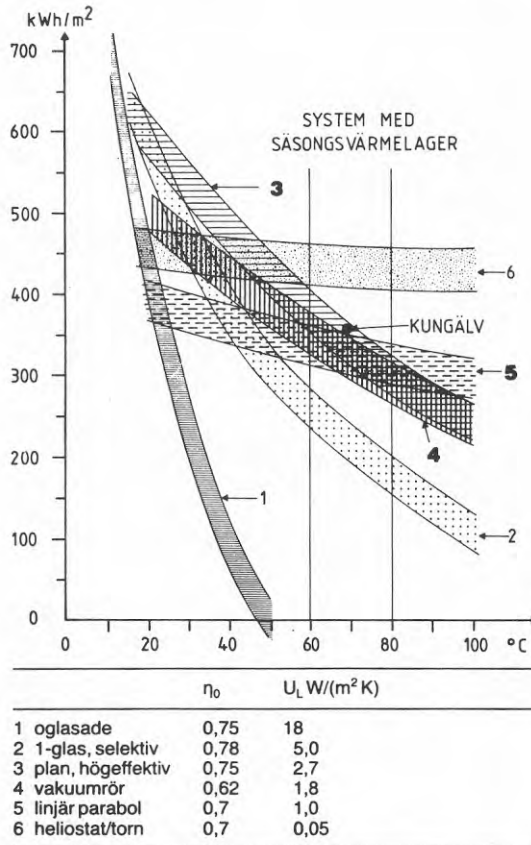
Av mer allmänt intresse är uppbyggnad och prestanda för andra typer av solfångarsystem i jämförelse med det använda systemet i Fjäråsanläggningen. Normalårets solvärmeutbyte i Fjäråsanläggningen ligger på 330 kWh/m^2 vid en medeltemperatur hos värmebäraren, dvs luften, på $38 \text{ } ^\circ\text{C}$. I anslutande värmeväxlare ligger vattnets medeltemperatur på $18 \text{ } ^\circ\text{C}$. Solfångarna arbetar alltså vid en drifttemperatur som ligger $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ över det vatten som används i uppvärmningsanläggningen. Exempelvis uppgår under perioderna mitt på sommaren med det största solvärmeutbytet lufttemperaturen till omkring $80 \text{ } ^\circ\text{C}$ och vattentemperaturen till $55 \text{ } ^\circ\text{C}$. Temperaturhöjningen är i sådana fall omkring $45 \text{ } ^\circ\text{C}$ på luftsidan och $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ på vattensidan. Överförd värmeeffekt i värmeväxlarna ligger räknad per $^\circ\text{C}$ temperaturdifferens mellan luft- och vattensida på omkring $4 \text{ kW/}^\circ\text{C}$. Detta ska jämföras med den dimensioneringsuppgift på $11 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ som användes då systemet utvecklades. En sådan dimensionering hade i Fjäråsfallet sänkt solfångarnas drifttemperatur till omkring $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ och därmed ökat solvärmeutbytet.

Fastslås kan alltså att det låga solvärmeutbytet i Fjäråsanläggningen beror dels på dåliga solfångarprestanda och dels på systemuppbyggnaden med värmeväxlare mellan luft och vatten.

Som jämförelse till solfångaranläggningen i Fjärås ska här tas en anläggning utrustad med vätskekylda solfångare anslutna till värmeackumulatören via en värmeväxlare av typ vatten-vatten. Som solfångartyp väljs en bra enkelglasad plan solfångare vars solvärmeutbyte för olika drifttemperaturer visas i figur 3.6 (typ 2). Intressant i sammanhanget är att denna solfångartyp har nära nog samma värden på vekaringsgradsparametrarna som Fjäråsanläggningens solfångare har enligt standardprovning, dvs $\eta_0 = 0,78$ och $k_e = 5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Vid värmebärartemperaturen $38 \text{ } ^\circ\text{C}$, dvs den luftkylda solfångarens temperatur, ligger solvärmeutbytet på omkring 420 kWh/m^2 för den vattenkylda solfångaren. Detta

värmeutbyte är omkring 30 % större än Fjäråsanläggningens faktiska värmeutbyte som alltså hade ökat till den nivå om standardprovningens solfångarprestanda hade innehållits i verkligheten. Vid värmebärartemperaturen 20 °C ligger solvärmeutbytet på omkring 600 kWh/m² för den vattenkylda solfångaren.

Om värmebärartemperaturen ska hållas på nivån 20 °C som ligger endast 2 °C över förbrukningstemperaturen i uppvärmningsanläggningen måste givetvis värmeväxlaren vara lämpligt dimensionerad. För de anläggningar som nu för tiden byggs efter dessa principer brukar värmeväxlaren dimensioneras för ett driftfall där solfångarnas högsta värmeutbyte är 0,5 kW/m² och temperaturdifferensen mellan värmeväxlarens primär- och sekundärsida är 5 °C. Temperaturdifferensen blir då omkring 2 °C i genomsnitt under all tid med solfångardrift.



Figur 3.6 Årligt solvärmeutbyte för olika solfångartyper som funktion av medeldrifttemperatur. Lutningen för 1-4 är 45°. (Från Claesson et.al., 1986.)

Ur rent värmeteknisk synpunkt kan man föra samma resonemang omkring dimensionering av värmeväxlare för ett fall med luftkylda solfångare. Om kravet på maximalt 5 °C temperaturdifferens över värmeväxlaren ställs, fås ett dimensioneringsfall liknande det för fläktkylare som ingår i värmepumpanläggningar där uteluft är värmekälla. Här används vanligen flänsbatterier med stor luftberörd area, varför sådana kylare insatta i ett solvärmesystem skulle vara utrymmeskrävande och behöva grova kanalpartier för inbyggnad. Det visar sig att kostnaden för värmeväxling luft - vatten är betungande i solvärmefallet. Man vet att kostnaden för värmeväxling dimensionerad på beskrivet sätt ligger på omkring 1000 kr/kW. Kostnaden torde i ett verkligt fall ligga ännu högre genom omständligt inbyggnadsarbete. Det behövs 2 m² plana solfångare för att ge ett högsta solvärmeutbyte på 1 kW. Rationellt byggda kan takintegrerade solfångare idag byggas för en kostnad på omkring 1000 kr/m². Sammantaget betyder det här att kostnaden för värmeväxling ökar solfångarsystemets totalkostnad med 50 %.

Ur solvärmesynpunkt är det aktuella valet av solfångarlutning i Fjäråsanläggningen värt en kommentar. Genom att solfångarna nu lutar 75 ° påverkas husens exteriörer starkt och det kan vara intressant att belysa hur solvärmeutbytet är kopplat till lutningen. Enligt beräkningar för en plan, vätskeyld solfångare minskar solvärmeutbytet med endast 10 % om lutningen sänks från 75 ° till 25 å 30 °. Här ligger traditionella taklutningar och solfångarna kan alltså utan större svårighet anpassas till husen istället för tvärtom.

Sammantaget talar allt för att solvärmeanläggningar av det aktuella slaget i Fjärås bör vara utrustade med vattenkylda istället för med luftkylda solfångare. Dessa kan mycket väl vara takintegrerade på ett sätt som inte behöver betyda någon speciellt långt driven arkitektonisk anpassning av husen till solvärme. Fjäråsanläggningen hade bara behövt vara utrustad med omkring 210 m² vattenkylda solfångare för att producera samma mängd solvärme som nu utrustad med 380 m² luftkylda solfångare. Frågan om man bör använda solfångare i kombination med värmepump eller ej måste besvaras med stark ekonomisk tonvikt varför behandlingen redovisas i avsnitt 4 om ekonomi och värmekostnad.

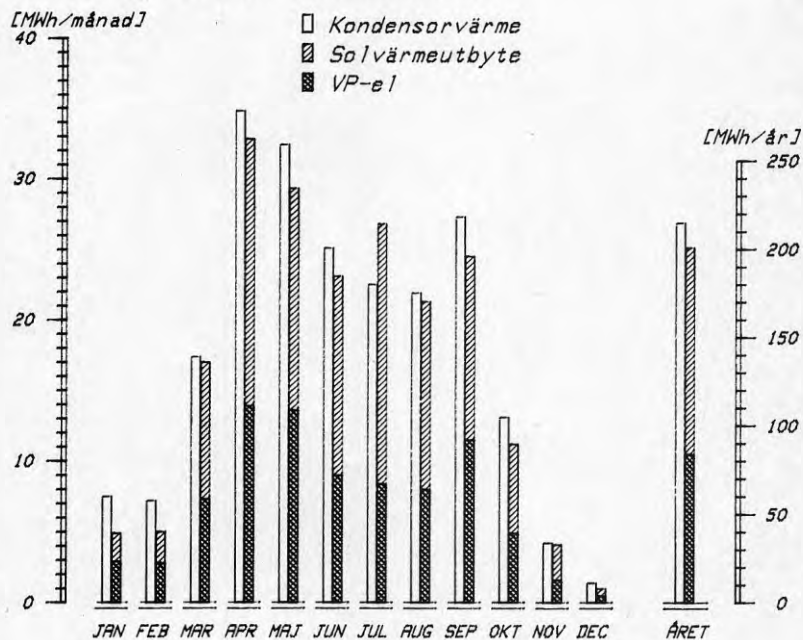
3.2.2 Värmepumpens detaljfunktion

Värmepumpens kondensorvärme samt elförbrukning och solfångarsystemets värmeutbyte för år 1982 visas i figur 3.7. Som framgår av diagrammet är inte summan av elförbrukningen och solvärmeutbytet lika stor som kondensorvärmens för någon av årets månader. Summan är för alla månader utom en mindre än kondensorvärmens, vilket är ovanligt i värmepumpsammanhang där motsatsen brukar gälla på grund av aggregatets värmeförluster. Förklaringen i Fjärås-fallet är den att luften i apparatrummet avger värme till ackumulatorerna och rörsystemet fram till värmepumpen som för det mesta har lägre temperatur än rumstemperaturen. Den så tillförda värmemängden bidrar naturligtvis ej med något nyttigt tillskott i värmetillförseln som helhet för anläggningen eftersom apparatrummet hålls uppvärmt av alla varma rör i distributionssystemet. Kondensorvärmens ingår ej i någon av de värmebalanser för hela anläggningen som finns redovisade i rapporten utan här ingår bara solvärme, värmepump och pannvärme. Förhållandet med interna värmetillskott av det beskrivna slaget finns även i andra värmepumpanläggningar och skapar inga större problem utan innebär endast att värmepumpen egentligen fungerar som en elvärmare med värmefaktorn 1 under en liten del av sin drifttid.

Värmepumpens driftförhållanden månad för månad år 1982 redovisas i tabell 3.3. Årsvärmefaktorn ligger på 2,55 och värmepumpen svarar för 21 % av den totala värmeproduktionen. Mer intressant är värmepumpens prestanda i verkligheten jämfört med fabrikantuppgifterna använda vid storleksbestämningen.

När det gäller värmepumpens arbetstemperaturer är skillnaden mellan högsommarmånaderna och övriga årstider speciellt markant på köldbärarsidan. Under perioden juni-augusti ligger den utgående köldbärartemperaturen på 18 °C och under övriga årstider ligger den på omkring 7 °C i genomsnitt. Den utgående värmebärartemperaturen ligger båda perioderna på omkring 60 °C i genomsnitt. Värmefaktorn ligger på 2,74 och den genomsnittliga kondensoreffekten på 127 kW för högsommarperioden. Motsvarande fabrikantuppgifter är 3,25 respektive 165 kW (figur 2.6). För övriga årstider ligger värmefaktorn på 2,46 och den genomsnittliga kondensoreffekten på 108 kW. Här är motsvarande fabrikantuppgifter 2,90 respektive 120 kW.

FJÄRÅS CENTRUM
VÄRMEPUMPENS ELFÖRBRUNING
OCH VÄRMEPRODUKTION 1982



Figur 3.7 Jämförelse mellan värmepumpens kondensorvärme och summan av värmepumpel samt solvärmeutbyte för år 1982.

Tabell 3.3 Driftvärden för värmepumpen år 1982. Värmefaktorn är förhållandet mellan kondensorvärmens och summan av elförbrukningen i kompressor samt köldbärarpump (1,2 kW). Drifttiden är kompressorns gångtid vartill kondensoreffekten är hänförd. Totala värmeeffekten är sammanlagda värmeproduktionen från värmepump och oljepannor hänförd till all kalendertid.

| Månad | Utg värmebärar-temp (°C) | Utg köldbärar-temp (°C) | Värme-faktor | Drift-tid (h) | Kon-densor-effekt (kW) | Total värme-effekt (kW) |
|---------|--------------------------|-------------------------|--------------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Jan | 58,0 | 6 | 2,6 | 59 | 128 | 208 |
| Feb | 57,7 | 6 | 2,6 | 56 | 128 | 191 |
| Mar | 57,8 | 6 | 2,4 | 158 | 110 | 158 |
| Apr | 59,1 | 8 | 2,5 | 315 | 110 | 118 |
| Maj | 57,0 | 6 | 2,4 | 373 | 87 | 92 |
| Jun | 60,0 | 18 | 2,8 | 182 | 138 | 47 |
| Jul | 60,9 | 18 | 2,7 | 177 | 127 | 37 |
| Aug | 61,0 | 18 | 2,8 | 189 | 116 | 29 |
| Sep | 58,0 | 9 | 2,4 | 241 | 113 | 60 |
| Okt | 55,5 | 8 | 2,7 | 105 | 124 | 92 |
| Nov | 54,7 | 5 | 2,7 | 31 | 136 | 138 |
| Dec | 54,4 | 7 | 2,8 | 10 | 140 | 167 |
| År 1982 | 59 ¹⁾ | 11 ¹⁾ | 2,55 | 1896 | 113 | 111 |
| Jun-aug | 61 ¹⁾ | 18 ¹⁾ | 2,74 | 548 | 127 | 38 |
| Övr tid | 58 ¹⁾ | 7 ¹⁾ | 2,46 | 1348 | 108 | 131 |

¹⁾Energiviktad med avseende på kondensorvärme.

Överlag är alltså värmepumpens prestanda sämre i verkligheten än enligt fabrikantuppgifterna. Till största delen beror detta på att värmepumpen har för hög uppvärmningskapacitet jämfört med värmebehovet. Detta är speciellt påtagligt under högsommarperioden då värmepumpen går sällan och med mycket korta drifttider, ofta 10-15 minuter per timma. Eftersom merparten av årets solvärmeutbyte sker under högsommarperioden samt perioderna därintill är dessa tider på året ur prestandasynpunkt viktigast för värmepumpen. Man kan t ex jämföra med värmepumpar som arbetar med uteluft som värmekälla där perioderna mitt emellan högsommar och midvinter står för merparten av värmeutbytet och är viktigast ur prestandasynpunkt och avgörande för storleksdimensioneringen. Simuleringsberäkningar för Fjäråsanläggningen visar att en värmepump dimensionerad för 70 kW kondensoreffekt vid 7 °C utgående köldbärartemperatur hade gett ett lika stort solvärmeutbyte som vad nuvarande värmepump dimensionerad för 120 kW ger vid samma temperatur (kapitel 4). Detta noterat med tanke på att överdimensionering alltid är av ondo ur ekonomisk synpunkt i värmepumpsammanhang.

Man kan alltså fastslå att en värmepump kopplad som i Fjäråsanläggningen och med solvärme som värmekälla bör storleksdimensioneras främst med utgångspunkt i värmeeffektbehoven under sommarperioden. Som sådan är dock kombinationen solfångare och värmepump som redan antytts diskutabel men dimensioneringsproblematiken är ändå behandlad i rapporten för att rättvisa jämförelser med andra typer av solvärmesystem ska kunna redovisas. (kapitel 4).

3.3 Praktiska erfarenheter

Fjäråsanläggningen har under entreprenadskedet och senare under driftskedet gett en del praktiska problem. Detta är inte på något sätt unikt för just Fjäråsanläggningen utan gäller för alla solvärmeanläggningar som kom till under den period som snart ligger 10 år tillbaka i tiden. Helt naturligt ligger en väsentlig del av experimentbyggnadsanläggningarnas värde i att man söker dra största nytta av praktiska erfarenheter som kunskapsbas inför kommande och förbättrade anläggningar. I följande punkter sammanfattas de viktigaste erfarenheterna från Fjäråsanläggningen.

- Upphandlingen av solfångaranläggningen skedde parallellt med utveckling av luftsolfångaren som ännu ej fanns i industriell tillverkning. I ett sent skede ändrades solfångarnas placering från att vara parallell med takfallet till att bli tvärs takfallet. På husbyggnadssidan ökade härigenom erforderlig takarea med konstruktionsändringar och merkostnader som följde.
- Solfångarmontaget påbörjades under hösten 1979 och drog ut i tid ända till sommaren 1980. Vintern med snö och kyla utgjorde ett avsevärt arbetshinder och bland annat inträffade stormskador på solfångarnas bärkonstruktion. Andra komplikationer vid montaget var fastskruvningsförfarandet, vattentätningen, många skador på täckglas samt absorptorplåtar som fick bytas m m.
- Det omständliga solfångarmontaget förde med sig ett omfattande extra arbete med ställningar och kranlyft. Under flera månader behövdes solfångartäckning med presenningar vilket krävde tillsyn utöver det vanliga vid husbyggnation. Vidare måste vissa papptak omläggas samt en del plåtslageri- och inklädningsarbeten på taken utökas eller utföras två gånger.
- Vid flera tillfällen under det första driftåret frös solfångarsystemets värmeväxlare sönder trots att värmekablar fanns monterade. Problemet löstes genom att motorstyrda luftspjäll inmonterades i samlingskanalerna för solfångarluften.
- Ojämn flödesfördelning i vätskekretsarna till de 8 olika solfångargrupperna genom dålig injustering.
- Elektriska fel för fläktdrift m m i de olika solfångargrupperna är svårupptäckta genom att central felindikering saknas. En grupp har vid flera tillfällen saknat luftcirkulation till följd av utlöst motorskydd vid för hög temperatur.
- Problem med samdriften mellan värmepump och oljepannor. Ibland ger pannorna tillsatsvärme trots bra värmeinhåll i värmeackumulatorerna. Beror på långsam motorventil i värmepumpens köldbärarkrets som ger snabb nedkylning och värmepumpstopp. Beror också på att utrustning saknas för överordnad styrlogik av samdriften som nu enbart styrs av "temperatursvaren" via den långa värmekulverten.

4 EKONOMI OCH VÄRMEKOSTNAD

4.1 Kostnadsförutsättningar och kalkylmetod

Den ekonomiska huvudfråga som behandlas i detta kapitel är om man bör använda solfångare i kombination med värmepump eller ej. Behandlingen begränsas till den typ av anläggning som finns i Fjärås centrum där endast korttidslagring av solvärme sker. För anläggningstyper med säsongslagring av solvärme gäller speciella förutsättningar varför sådana typer ej diskuteras här.

En annan huvudfråga som behandlas är om man i dagsläget kan peka på någon utvecklingslinje för solvärmeanläggningar med korttidslagring som gör dessa konkurrenskraftiga gentemot andra typer av uppvärmningsanläggningar för byggnader.

De ekonomiska uppgifter för Fjäråsanläggningen som sådan som presenteras måste ses med tanke på att det snart är 10 år sedan anläggningen byggdes och att en intressant svensk teknikutveckling på solvärmeområdet har skett sedan dess. Övriga uppgifter som presenteras är inte enbart knutna till den typ av uppvärmningsobjekt som finns i Fjärås utan gäller i mer allmän mening. Uppgifterna gäller t ex för enskilda flerbostadshus eller husgrupper, bara uppvärmningsbehovet är likartat fördelat över året som i Fjäråsfallet.

Genomgående gäller att redovisade värmekostnader enbart hänförs till solvärmen. Det betyder att elkostnaden för värmepumpar aldrig tas med i bilden utan betraktas som kostnad för tillsatsvärme liksom oljekostnader som ej heller tas med.

När det gäller kapitalkostnader är annuitetsmetoden använd som kalkylmetod. Alla kostnadsförutsättningar redovisas i tabell 4.1. Angivna anläggningskostnader gäller den mer allmänna behandlingen med dagslägets kostnader som skiljer sig väsentligt från Fjäråsanläggningens faktiska kostnader. Fjäråsanläggningens anläggningskostnader är uppräknade från 1980 års prisnivå till 1986 års prisnivå med hjälp av branschindex för bygg- och installationsarbeten. Dessa kostnader presenteras i avsnitt 4.2.

Tabell 4.1 Kostnadsförutsättningar. Samtliga kostnader anges i 1986 års prisnivå. Alla anläggningskostnader hänförs till installerad anläggning. I solfångarkostnaden ingår kostnad för rörsystem anslutande till värmeackumulator samt kostnad för inbyggnad i hustak vid nybyggnation.

| | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| <u>Realränta</u> | 6 % | |
| <u>Brukstid</u> | | |
| Solvärmesystem | 20 år | |
| Värmepump | 15 år | |
| <u>Anläggningskostnader</u> | | |
| Plan solfångare - mellantemp | | 1400 kr/m ² |
| Plan solfångare - högtemp | | 1600 kr/m ² |
| Värmepump på solvärme | | 3500 kr/kW |
| Värmepump på uteluft | | 4500 kr/kW |
| Värmeackumulator (ståltank) | | 3000 kr/m ³ |
| <u>Underhållskostnader</u> | | |
| Solfångare | 25 kr/m ² år | |
| Värmepump | 5 % per år | |
| (% av anl kostn) | | |

4.2 Fjäråsanläggningen

Anläggningskostnader hänförliga till solvärmeanläggningen som sådan i Fjärås centrum redovisas i tabell 4.2. Med detta menas merkostnaderna i förhållande till kostnaderna för en traditionell, oljeeldad uppvärmningsanläggning.

Anmärkningsvärd är den mycket höga anläggningskostnaden för solfångarsystemet om man jämför med kostnader för takplacerade solfångaranläggningar som är byggda under senare år. Dagens kostnad ligger på omkring 1400 kr/m² för vattenkylda solfångarsystem vilket innebär att kostnaden i Fjäråsfallet ligger fyra gånger högre. Fjäråsfallets höga kostnadsnivå beror dels på det luftkylda solfångarsystemet med omfattande kanaldragning och värmewäxling men också till stor del på att en hel del oförutsedda tilläggskostnader uppstod under byggtiden (avsnitt 3.3). Tilläggskostnaderna är lika stora som den vid projekteringen först kalkylerade totalkostnaden. Som en direkt följd är även kontroll- och indexkostnaderna högre än förberäknat.

Tabell 4.2 Anläggningskostnader för Fjäråsanläggningen i 1980 och 1986 års prisnivå.

| Kostnadspost | Kostnad [kkkr] | |
|--------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| | 1980 | 1986 |
| Solfångare inkl rörsystem och takinbyggnad | 1240 | 2085 (5540 kr/m ²) |
| Värmepump | 111 | 186 (1240 kr/kW) |
| Värmeackumulatorer | 112 | 188 (3760 kr/m ³) |
| Pump- och styrutrustning | 102 | 171 |
| Elutrustning | 28 | 47 |
| Byggkontroll | 141 | 237 |
| Moms och index | 247 | 415 |
| Totalt | 1980 | 3330 |

Anläggningens solvärmeutbyte är 125 MWh/år vilket tillsammans med uppgifterna i tabell 4.2 ger en solvärmekostnad på 2300 kr/MWh. Detta ligger omkring 10 gånger högre än dagens värmepriser från oljeeldade anläggningar.

4.3 Solvärme med och utan värmepump

Den höga solvärmekostnaden i Fjäråsfallet beror som nämnts dels på höga anläggningskostnader, dels på lågt solvärmeutbyte. Den följande mer allmänna jämförelsen mellan solvärmesystem med och utan värmepump är baserad på dagslägets förhållanden med väsentligt lägre anläggningskostnader och bättre solvärmeteknik än i Fjäråsfallet.

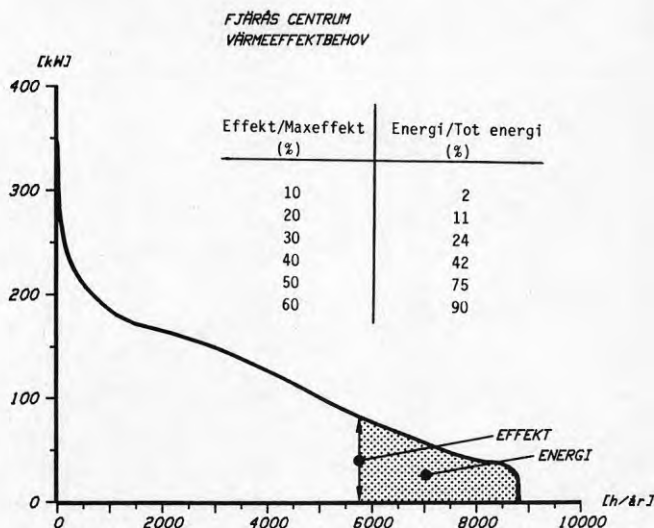
Genomgående behandlas solvärmeanläggningar utrustade med vätskekylda solfångare anslutna med värmeväxlare av typ vatten-vatten till värmeackumulatorer i form av värmeisolerade ståltankar. Värmetekniska beräkningar är gjorda för uppvärmningsanläggningar med samma totala årsvärmeproduktion som i Fjäråsfallet, dvs omkring 1000 MWh, men med varierande täckningsgrad av solvärme. Med täckningsgrad menas här liksom i övriga delar av rapporten solvärmens procentuella andel av den totala värmeproduktionen, dvs ett energiförhållande. Solfångararean är alltså varierad samtidigt som ackumulatorvolymen är varierad i direkt proportion till arean. Vid dimensionering av vår-sommar-höst-system brukar som i det här fallet förhållandet mellan ackumulatorvolym och solfångararea sättas till $0,125 \text{ m}^3/\text{m}^2$. När det gäller solfångartyper behandlas en mellantemperaturtyp och en högtemperaturtyp. Tekniskt sett är mellantemperaturtypen en solfångare med enkelt täckskikt över en selektiv absorberator medan högtemperaturtypen har dubbelt täckskikt. Solvärmeutbytet vid olika drifttemperaturer framgår av figur 3.6 (typ 2 och 3).

Solvärmeberäkningarna är gjorda med hjälp av en metod utvecklad i USA av Klein, Beckman (1979), den sk ϕ -f-chart-metoden. Metodens främsta styrka ligger i att hänsyn tas till solinstrålningens ojämna fördelning samt distributionstemperaturernas variation månad för månad. I de aktuella fallen är simuleringsberäkningarna gjorda med hjälp av ett praktiskt lätt användbart datorprogram för metoden. Indata för solinstrålningen är hämtade från SMHI:s statistik för Göteborg. Distributionstemperaturerna beaktas genom att lägsta taktemperatur ges som indata. Temperaturen är för fallen utan värmepump satt till $40 \text{ }^\circ\text{C}$ under uppvärmningssäsongen, $10 \text{ }^\circ\text{C}$ under sommaren och under övrig till till värden däremellan. För fallen med värmepump är temperaturen genomgående satt till $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

När det gäller storleksdimensionering av värmepumpar i kombination med solfångare finns det egentligen ingen allmän och entydig praxis. Dock gäller som alltid i värmepumpsammanhang att överdimensionering ska undvikas. Dimensioneringsproblemet behandlas i det följande med utgångspunkt i slutsatsen i Fjäråsfallet att värmeeffektbehoven under sommarperioden bör vara bestämmande för värmepumpstorleken.

Dimensioneringsresonemanget bygger på ett fall med solfångare av mellantemperaturtyp i kombination med värmepump. Värmebehovets månadsvärden givna som indata i ϕ -f-chart-metoden representeras här av värmepumpens förångarvärme. Värmepumpens värmefaktor är satt till 2,5 för alla månader vilket direkt ger förångarvärmens eftersom kondensorvärmens på försök antas vara lika stor som värmebehovet.

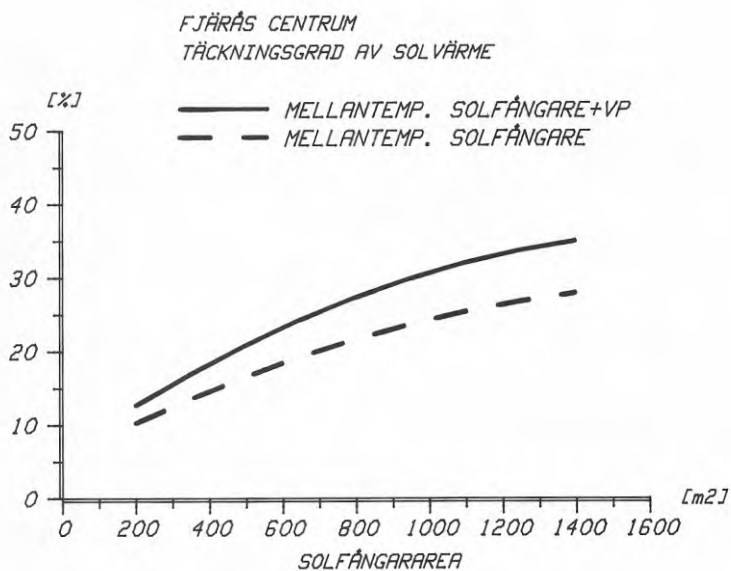
För ett exempel med 600 m² solfångare ger simuleringsberäkningen 100 % täckningsgrad från värmepumpen (dvs inklusive värmepumpen) för perioden maj-september samt omkring 55 % respektive 80 % för oktober respektive april månad. Säkert är då att värmepumpen behöver vara så stor att den kan täcka alla förekommande värmeeffektbehov under perioden maj-september. Erforderlig kondensorvärmeeffekt från värmepumpen blir cirka 80 kW bestämd med hjälp av årsvaraktighetskurvan över värmeeffektbehovet på det sätt som visas i figur 4.1. För övriga perioder på året är den gjorda simuleringsberäkningen felaktig om man utgår från kondensorvärmeeffekten 80 kW som ligger väsentligt under värmeeffektbehovet. Omräkningar visar att täckningsgraderna av solvärme drastiskt sjunker för månader som april och oktober vilka totalt sett kan vara betydelsefulla för årstäckningsgraden.



Figur 4.1 Årsvaraktighetskurvan över värmeeffektbehovet för Fjäråsanläggningen. I tabellen anges erforderlig värmeeffekt i förhållande till maximal värmeeffekt för att till en bestämd grad täcka värmebehovet på det sätt som visas i varaktighetsdiagrammet.

Om istället det från början framräknade solvärmeutbytet för hela perioden april-oktober tas med vid värmepumpdimensioneringen blir erforderlig kondensorvärmeeffekt cirka 110 kW. Även i det fallet förekommer höga värmeeffektbehov vissa tider på året men solvärmeutbytet påverkas inte nämnvärt om värmeeffekten maximeras till 110 kW. Ur en mer allmän synpunkt visar resonemanget att tekniskt sett rimliga värmepumpstorlekar kan bestämmas i solvärmefall men att det fordras lätt användbara datorprogram för arbete med många upprepade beräkningar.

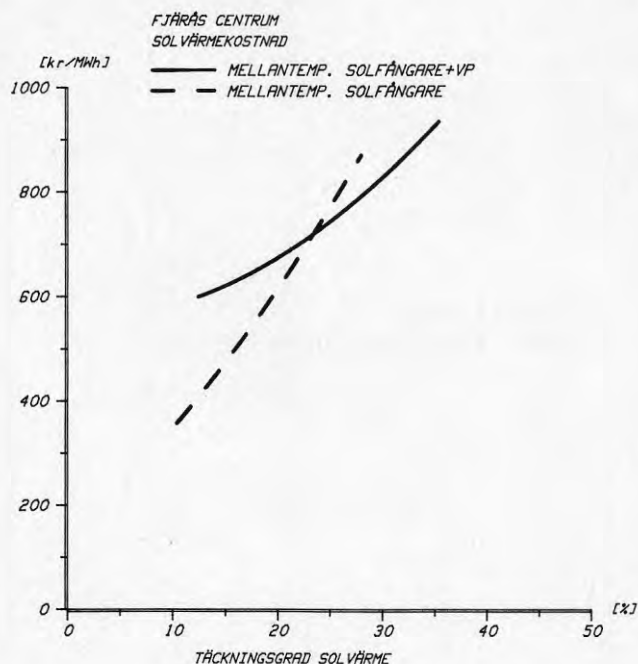
Täckningsgraden av solvärme och dess variation med solfångararean för solfångare av mellantemperaturtyp visas i figur 4.2. Som synes är skillnaden i täckningsgrad mellan fallet med och utan värmepump genomgående lägre än 10 %. Utrymmet för investering i en värmepump är alltså starkt begränsat.



Figur 4.2 Täckningsgraden av solvärme som funktion av solfångararean för solfångare av mellantemperaturtyp med och utan värmepump.

Man kan nu närmare studera kostnaden för den värme som solfångarsystemet bidrar med. Denna kostnad visas i figur 4.3 som funktion av täckningsgrad solvärme. I figuren visas de två fallen mellantemperatur-solfångare med ansluten värmepump och mellantemperatur-solfångare utan värmepump.

Jämförelsen i figur 4.3 mellan solvärmekostnaderna i de båda fallen visar att solvärmesystem utan värmepump har bättre ekonomi än system med värmepump för täckningsgrader lägre än 20 à 25 %. Vid högre täckningsgrader är visserligen solvärmesystem med värmepump bäst vid ekonomijämförelsen men solvärmekostnaden ligger på nivån 750 kr/MWh och däröver vilket gör värmepumpfallet ointressant.

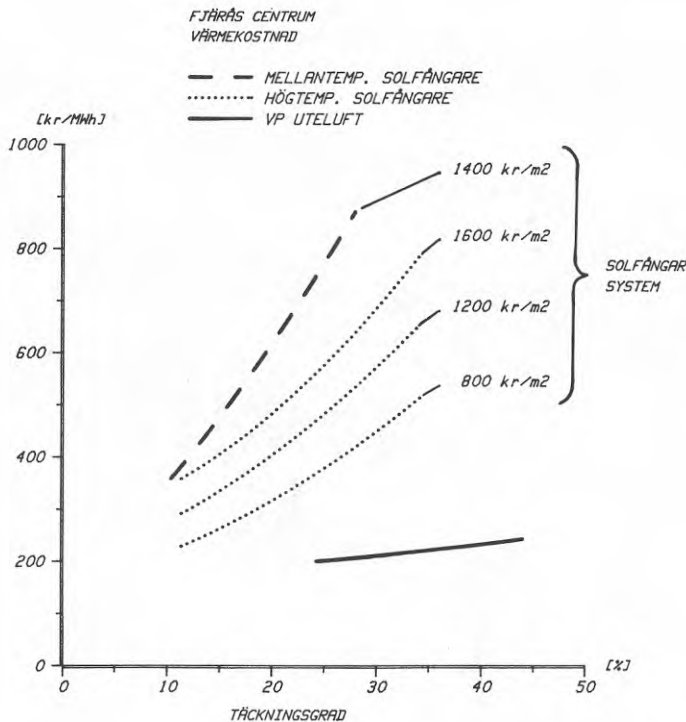


Figur 4.3 Solvärmekostnaden som funktion av täckningsgrad solvärme för solfångare av mellantemperaturtyp med och utan värmepump.

Som framgår av figur 4.3 är kostnadskurvan för fallet utan värmepump mycket brant. Exempelvis fördubblas värmekostnaden då täckningsgraden ökas från 10 % till drygt 20 %. Denna känslighet beror på att solfångaren av mellantemperaturtyp är måttligt effektiv vid de drifttemperaturer på 60 °C och däröver som förekommer vid korttidslagring och täckningsgrader på nivån 20 à 30 %. Här behövs effektiva solfångare av högtemperaturtyp för att hålla solvärmekostnaden nere på rimliga nivåer. Värmekostnaden för denna solfångartyp visas i figur 4.4.

Som synes är med dagslägets anläggningskostnader ekonomin bättre för fallet med högtemperaturtypen än för fallet med mellantemperaturtypen men kostnadsnivån vid högre täckningsgrader är fortfarande orimligt hög. En reduktion av anläggningskostnaden för högtemperaturtypen till 75 % respektive 50 % av dagslägets kostnad påverkar solvärmekostnaden på det sätt som visas i fig 4.4.

En slutsats man kan dra är att solvärmeanläggningar med korttidslagring måste utrustas med högeffektiva solfångare vars anläggningskostnad ligger på omkring 50 % av dagslägets kostnad om solvärmekostnaden ska ligga på rimlig nivå, säg 450 kr/MWh, samtidigt som täckningsgraden av solvärme blir någorlunda intressant, säg 30 %. Det är svårt att sja om en framtida kostnadsutveckling för solvärmeanläggningar av det här slaget men utvecklingen för större anläggningar med säsongslagring kanske kan ge indikationer. På det området har anläggningskostnaden för solfångarsystem gått ner med omkring 50 % på mellan 5 och 10 års tid.



Figur 4.4 Värmekostnaden som funktion av täckningsgraden för solvärmesystem med olika solfångartyper utan värmepump samt för värmepumpsystem med uteluft som värmekälla. Täckningsgraden räknas i värmepumpfallet på förångarvärme.

Som jämförelse visas i figur 4.4 också värmekostnaden för värme hämtad ur uteluften med hjälp av ett helt konventionellt värmepumpsystem utrustat med fläktkylare. Det bör noteras att ingen kostnad för drivel är medräknad i värmepumpfallet där alltså värmekostnaden endast är baserad på anläggnings- och underhållskostnader samt på naturvärme tillförd förångarsidan. Därmed är värmekostnaderna i solvärmefallet och värmepumpfallet helt jämförbara och all annan värmeförsel är att betrakta som tillsatsvärme. Det framgår av figur 4.4 att värmekostnaden i solvärmefallet motsvarande låg solfångarkostnad är omkring dubbelt så hög som värmekostnaden i värmepumpfallet för täckningsgrader på omkring 30 %. Om kostnaden för tillsatsvärme tas med i bilden minskar med dagens el- och bränslepriser skillnaden mellan solvärme- och värmepumpfallet. Detta bör egentligen ej få påverka ett eventuellt val mellan uppvärmningsteknikerna där frågor om elutnyttjandet kan få större tyngd än nu i framtiden och kanske påverka valsituationen.

SAMMANFATTNING AV RAPPORTEN

Solvärmeanläggningen i Fjärås centrum, 25 km söder om Göteborg, byggdes i början av 80-talet. I Fjäråsanläggningen prövades för första gången i större skala en systemprincip baserad på luftkylda solfångare i kombination med korttidsvärmelager och värmepump. Vid planeringen av anläggningen fästes stor vikt vid funktions- och underhållsfrågor varför luft istället för vatten ansågs fördelaktigt som värmebärare i solfångarna. Vidare ansågs användning av värmepump kunna effektivisera solvärmeutnyttjandet i hög grad.

Fjäråsanläggningen byggdes vid samma tid som en del andra större solvärmeanläggningar, t ex Ingelstad och Lambohov. Alla dessa stora experimentanläggningar byggdes avsiktligt efter mycket skilda systemprinciper, t ex med och utan värmepumpar, för att i ett tidigt skede pröva olika systems utvecklingspotential. Genom erfarenheterna från alla anläggningar finns det idag ett betydande svenskt kunnande inom solvärmeområdet. Bland annat vet vi idag att kombinationen solfångare och värmepump är ytterst tveksam ur ekonomisk synpunkt.

Den uppförda bebyggelsen i Fjärås centrum består av fyra hus som inrymmer 2000 m² lokaler och 12 bostadslägenheter. Tre av husen är utrustade med solfångare placerade på en södervänd, specialutformad takkonstruktion med 74 ° lutning. Solfångaranläggningen är uppdelad i 8 sektioner som var och en har aggregat för värmeväxling mellan luft och vatten. Den sammanlagda solfångararean uppgår till 377 m². Varje sektion innehåller ett stort antal förtillverkade solfångarelement bestående av tunna aluminiumplåtar på bärkroppar av polyuretan. Plåtarna har selektiv beläggning och är täckta av dubbla glas. I varje solfångarsektion går luften mellan samlingskanaler i dess ändar och strömmar tvärs takfallet.

Solfångarnas vätskebatterier är anslutna till en värmeackumulator placerad i värmecentralen som finns i ett av husen. Ackumulatorn består av två ståltankar med sammanlagd vattenvolym på 50 m³. Ackumulatorvolymen ställd i relation till solfångararean är 0,133 m³/m². I värmecentralen finns även ett eldrivet värmepumpaggregat kopplat till ackumulatorn. Aggregatet är dimensionerat för en värmeeffekt på 150 kW.

En 400 m lång värmekulvert sammankopplar Fjärås centrum med ett äldre område där 32 radhus finns. På så vis fås tillsatsvärme till centrum från radhusområdets oljepannor och solvärme kan överföras även till radhusområdet.

Fjäråsanläggningen är projekterad för ett sammanlagt nettovärmebehov hos centrum- och radhusbebyggelsen på ca 1055 MWh/år. Solvärmeandelen är beräknad till 33 % där en stor del är utnyttjad utan hjälp av värmepump genom hög beräknad temperatur i värmeackumulatören.

I det följande redovisas utvärderingens huvudpunkter och väsentligaste resultat med en del kommentarer. Redovisningen bygger helt på mätdata från år 1982 som i sin tur ligger till grund för framtagna normalårsresultat.

1 VÄRMEPRODUKTIONENS SAMMANSÄTTNING

Värmeproduktionens sammansättning för ett normalår är följande:

| | | |
|-----------------------|---------------|---------|
| Värme från oljepannor | 785,1 MWh/år | (79 %) |
| Värme från solfångare | 124,5 MWh/år | (12 %) |
| Värme från VP-el | 91,9 MWh/år | (9 %) |
| Total värmeproduktion | 1001,5 MWh/år | (100 %) |

Solvärmens täckningsgrad uppgår alltså till 12 % vilket är väsentligt mindre än vad som beräknats vid projekteringen. Vidare är all solvärme utnyttjad med hjälp av värmepumpdrift. Den komplicerade systemlösning som finns i anläggningen för att utnyttja solvärme utan hjälp av värmepump är alltså helt onödig.

2 VÄRMEKONSUMTIONENS STORLEK

Normalårsvärdena för värmekonsumtionen och dess sammansättning är följande:

| | | |
|-----------------------|---------------|---------|
| Rumsvärme | 677,7 MWh/år | (68 %) |
| Tappvarmvatten | 168,2 MWh/år | (17 %) |
| Kulvertförlust | 155,6 MWh/år | (15 %) |
| Total värmekonsumtion | 1001,5 MWh/år | (100 %) |

Verklig värmekonsumtion för rumsvärme och tappvarmvatten är lägre än vad som beräknats vid projekteringen. För tappvarmvattnet är den verkliga konsumtionen endast 56 % av projekteringsvärdet. Överskattningar av det slaget leder till överdimensionering och därmed ineffektivt solvärmeutnyttjande speciellt för solvärmesystem med korttidsvärmelagring. I Fjärås-fallet motverkas detta av kulvertvärmeförlusten som ej är medtagen i projekteringsberäkningarna.

3. SOLFÅNGARSYSTEMETS FUNKTION

Omräknat till normalårsvärden ligger solfångarsystemets värmeutbyte på 330 kWh/m² vilket relaterat till all solinstrålning motsvarar årsverkningsgraden 0,34. Detta gäller vid en medeldrifttemperatur hos värmebäraren, dvs luften, på 38 °C. I anslutande värmeväxlare är vattnets medeltemperatur 18 °C. Solfångarna arbetar alltså vid en drifttemperatur som ligger 20 °C över det vatten som används av värmepumpen.

Timregistrering av solvärmeutbytet har gett följande solfångarprestanda.

$$\begin{array}{ll} \text{Förlustfri effektverkningsgrad} & \eta_0 = 0,6 \\ \text{Effektiv förlustkoefficient} & k_e = 4,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array}$$

Motsvarande uppgifter framtagna vid tidigare standardprov är $\eta_0 = 0,77$ och $k_e = 4,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Det låga solvärmeutbytet i Fjärås-anläggningen beror dels på dåliga solfångarprestanda, dels på systemuppbyggnaden med värmeväxlare mellan luft och vatten. Anläggningen hade bara behövt vara utrustad med ca 210 m² vattenkylda solfångare för att ge samma solvärmeproduktion som nu med 377 m² luftkylda solfångare. Detta om plana enkelglasade solfångare anslutna till värmeackumulatorn via värmeväxlare av typ vatten-vatten hade använts.

Solvärmeutbytet sänks med endast 10 % om lutningen sänks från 75 ° till 25 ° till 30 ° där traditionella taklutningar ligger.

4. VÄRMEPUMPENS FUNKTION

Värmepumpens årsvärmefaktor är uppmätt till ca 2,6 och gäller vid utgående värmebärartemperatur på 59 °C respektive utgående köldbärartemperatur på 11 °C. Överlag är värmepumpens prestanda sämre i verkligheten än enligt fabrikantuppgifterna. Detta beror till största delen på att värmepumpen har för hög uppvärmningskapacitet jämfört med värmebehovet. Under högsommarperioden går värmepumpen mycket sällan och med drifttider på 10-15 minuter per timma. En värmepump dimensionerad för 70 kW kondensoreffekt hade gett ett lika stort solvärmeutbyte som den befintliga värmepumpen på 120 kW vid 7 °C utgående köldbärartemperatur.

5. PRAKTISKA ERFARENHETER

Fjäråsanläggningen har under entreprenad- och idrifttagningsskedet gett en del praktiska problem. Ändringar av solfångarplaceringar i ett sent upphandlingsskede och solfångarmontage vintertid förde med sig avsevärda fördröjningar samt merkostnader. Solfångarmontaget som sådant var omständligt med ställningsarbete och kranlyft. Vid flera tillfällen frös solfångarsystemets värmeväxlare sönder varefter luftspjäll inmonterades. Ett reglertekniskt problem är att pannorna ibland gett tillsatsvärme trots bra värmeinnehåll i värmeackumulatorn.

6. EKONOMI OCH VÄRMEKOSTNAD

Genomgående gäller att redovisade värmekostnader enbart hänförs till solvärmens. El- och oljekostnader tas ej med utan betraktas som kostnader för tillsatsvärme. Årliga kapitalkostnader är baserade på 6 % realränta och 20 års brukstid för solvärmesystem respektive 15 år för värmepumpar.

Uppräknat till 1986 års prisnivå är kostnaden för Fjäråsanläggningens solfångarsystem ca 5500 kr/m² vilket är fyra gånger högre än dagens kostnader för takplacerade, vattenkylda solfångarsystem. Den höga kostnadsnivån beror dels på den tekniska utformningen som sådan, dels på stora tilläggskostnader under byggtiden. Fjäråsanläggningens värmekostnad är 2300 kr/MWh vilket gör att andra mer konkurrenskraftiga lösningar måste till för solvärmearläggningar med korttidslagring. En jämförelse mellan anläggningar med och utan värmepump säger att renodlade system utan värmepump utrustade med effektiva solfångare behövs för att få solvärmekostnader på rimliga nivåer.

En lösning där utvecklingsmöjligheten idag är intressant är takplacerade vattenkylda, högeffektiva solfångare i kombination med värmeackumulatorer i form av värmeisolerade ståltankar. Med kostnader på 800 kr/m² för solfångarsystem och 3000 kr/m³ för ståltankar blir värmekostnaden 450 kr/MWh vid 30 % täckningsgrad av solvärme. Med dagslägets anläggningskostnader är värmekostnaden 700 kr/MWh men relativt kraftiga kostnadsreduktioner bör vara fullt möjliga med tanke på senare års kostnadsutveckling för större solvärmeanläggningar i Sverige.

REFERENSER

Andersson, F, Länsberg, M, Fjärås centrum, Projektering av solvärmesystem med värmepump. Statens Råd för Byggnadsforskning, Rapport R8:1980. Stockholm, 1980.

Claesson, T, Hultmark, G, Jilar, T, Säsongslagrad solvärme i Kungälv. Statens Råd för Byggnadsforskning, T9:1986. Stockholm, 1986.

Jilar, T, Solvärmeteknik i stor skala, Ingelstad - en värmecentral utan värmepump. Statens Råd för Byggnadsforskning, Rapport R103:1985. Stockholm, 1985.

Klein, S A, Beckman, W A, A Generalized Design Method for Closed-Loop Solar Energy System. Solar Energy 22, p 269 (1979).

Wahlman, E, Zinko, H, m fl, Sol till fjärrvärme och gruppcentraler. Statens Råd för Byggnadsforskning, Rapport R147:1984. Stockholm, 1984.

AGA Heating, AGA Heating Symposium den 17 maj 1978, Grand Hotel, Stockholm.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781414-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Eksta Bostads-
stiftelse, Kungsbacka kommun, Kungsbacka.**

R11: 1987

ISBN 91-540-4692-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707011

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 39 kr exkl moms