

Utveckling av byggnads- integrerade solfångare för oisolerade tak

Helena Gajbert

Håkan Håkansson

Björn Karlsson

Kristina Gabriellii

Energi och ByggnadsDesign
Institutionen för ByggnadsDesign och Arkitektur
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2004
Rapport EBD-R--04/6



Lunds universitet

Lunds universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 402 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö. Lunds universitet grundades 1666 och har idag totalt 5 616 anställda och 38 000 studerande som deltar i ca 85 utbildningsprogram och ca 1 100 kurser erbjudna av 89 institutioner.

Institutionen för byggande och arkitektur

Institutionen för byggande och arkitektur ingår i Lunds tekniska högskola, LTH, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds universitet. Vid *institutionen för byggande och arkitektur* bedrivs forskning och utbildning inriktad på den byggda miljön. Forskning och utbildning omfattar områden såsom bebyggelsevärd, förvaltning, projektering, byggande, energihushållning, klimatisering och utformning av system för ventilation och uppvärmning samt rivning och återbruk i både svenskt och internationellt perspektiv. Samverkan mellan aktörer med olika kompetenser vid förändringar i den byggda miljön utgör ett särskilt väsentligt forsknings- och utbildningsområde.

Arbetet vid institutionen bedrivs inom ämnesområdena bebyggelsevärd, byggnadsekonomi, bostads- och boendeutveckling, energi och byggnadsdesign, fastighetsekonomi samt projekteringsmetodik.

Avdelningen för energi och byggnadsdesign

Energi och ByggnadsDesign arbetar med byggnaden som ett system. Med utgångspunkt från helheten är syftet att utforma energieffektiva och ekologiska byggnader med hög termisk och visuell komfort i samverkan med installationssystem.

Forskningen behandlar i huvudsak energianvändning, passivt och aktivt solutnyttjande, dagsljus och solskydd i byggnader samt byggnadsintegrering av solvärme- och solesystem. Brukarnas inverkan och krav på bl a termisk och visuell komfort ingår som en viktig del.

Verksamheten omfattar utveckling av beräkningsmetoder, simuleringar och analyser samt mätningar av prestanda avseende komponenter, rum och hela byggnader vilket medger validering av teoretiska modeller. Avdelningen medverkar även i utveckling av demonstrationsbyggnader samt utformar informationsskrifter och riktlinjer.

Utveckling av byggnads- integrerade solfångare för oisolerade tak

Helena Gajbert
Håkan Håkansson
Björn Karlsson
Kristina Gabriellii

© copyright Institutionen för Byggnads och Arkitektur, avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2004.
Layout: Hans Follin, LTH, Lund

Tryck av KFS AB, Lund 2004

Rapport nr EBD-R--04/6
Utveckling av byggnadsintegrerade solfångare för oisolerade tak
Institutionen för Byggnads och Arkitektur, Lunds tekniska högskola, Lund

ISSN 1651-8128
ISBN 91-85147-05-2

Lunds tekniska högskola
Energi och ByggnadsDesign
Box 118
221 00 LUND

Telephone: +46 46 - 222 73 52
Telefax: +46 46 - 222 47 19
E-mail: ebd@ebd.lth.se
Hemsida: www.ebd.lth.se

Innehåll

Innehåll	3
1 Inledning	5
1.1 Projektbeskrivning och genomförande	5
2 Teori	7
2.1 Konstruktion och material	7
2.2 Karakterisering av solfångarens egenskaper	11
3 Mätningar - metod och resultat	13
3.1 Systemuppställning	13
3.2 Solsimulatorn	14
3.3 Utomhusmätningar för beräkning av optisk verkningsgrad	16
3.3.1 Mätmetod	16
3.3.2 Resultat	17
3.4 Mörkermätningar som visar värmeförlustkoefficient	17
3.4.1 Metod	17
3.4.2 Resultat	17
3.5 Mätning av temperaturberoende med solsimulatorn	19
3.5.1 Metod	19
3.5.2 Resultat	19
3.6 Infallsvinkelberoende	20
3.6.1 Metod	20
3.6.2 Resultat	20
3.7 Resultat av långtidsmätning utomhus	21
3.7.1 Metod	21
3.7.2 Resultat	21
4 Diskussion och slutsatser	23
Referenser	25
Bilaga	27

1 Inledning

I Sverige finns tillgång på välisolerade byggnadsintegrerade solfångare. Den största delen av tillgängliga takytor är dock oisolerade med en underliggande kall vind, vilket innebär att solfångarens isolering inte gör nytta för byggnaden. Därför finns det ett behov att utveckla en tunn materiell solfångare för kalla tak. I föregående solvärmeprogram utvecklades en sådan solfångare, som installerades av Uppsala Hem i Håga By. I detta projekt har idén vidareutvecklats och tre liknande solfångare har tagits fram och utvärderats. Solfångaren skall vara tunn och kunna tillverkas i valfria längder. Målsättningen är att solfångaren skall "vara så lik en takplåt som möjligt" och kunna utvecklas till en industriellt tillverkad kostnadseffektiv produkt. En teknik för att minska kostnaderna och behovet av isolering är att utforma solfångaren koncentrerande. Denna aspekt, samt anpassningen till ett konventionellt och ofta använt takplåtmaterial innebär att solfångaren kan göras mera kostnadseffektiv och ge en lägre energikostnad. Projektet har genomförts i samarbete med NCC och solfångartillverkaren Arnes plåt, som rullformar en egen takplåt. Utveckling, mätning och utvärdering har gjorts under hösten 2003 på avdelningen för Energi och Byggnadsdesign, LTH, i Lund. En solfångare har läntidprovats i Älvkarleby.

1.1 Projektbeskrivning och genomförande

Projektet har reviderats utifrån beviljat projektförslag för att kunna genomföras inom programtiden och innehåller följande delprojekt:

- A. Uppförande av kravspecifikation för en oisolerad solfångare avsedd för uppsättning och installation på byggnader med oisolerade yttertak.
- B. Design av en tunn isolerad solfångare baserad på en absorber lagd på en speglade reflektor. I delprojektet ingår bl.a. val av kvalitet och geometri hos takplåten.

- C. Mätning av prestanda på mindre areor av föreslagna lösningar.
- D. Rapportering.

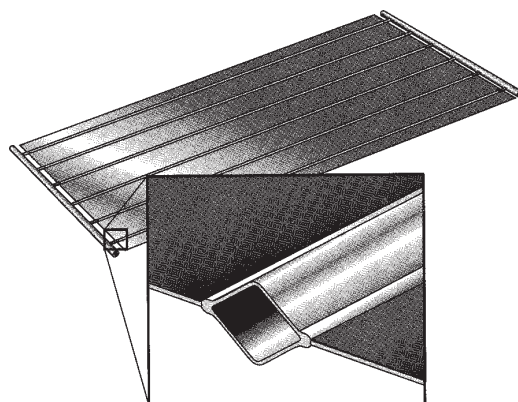
Delprojekt A genomföres av NCC. Delprojekten B, C och D genomföres av Vattenfall Utveckling AB och Lunds Tekniska Högskola.

I rapporten presenteras dessutom ett omfattande arbete för utveckling av instrumentering och mätmetodik som krävs för att kunna karakterisera koncentrerande solfångare inomhus. Koncentrerande solfångare kan vanligen inte karakteriseras inomhus eftersom solsimulatorer har kraftigt divergerande ljus medan koncentrerande optik kräver parallellt ljus. Sol-simulatorn i Lund är uppbyggd med paraboloida reflektorer som ger nära parallell strålning. Det innebär dock att strålningen får en i rummet ojämn fördelning. I projektet har utvecklats avancerad teknik för att behärska denna problematik. Det innebär att LTH sannolikt har världens enda solsimulator som kan användas för att karakterisera koncentrerande solfångare. Denna del av projektet har genomförts inom Helena Gajberts doktorsarbete med annan finansiering.

2 Teori

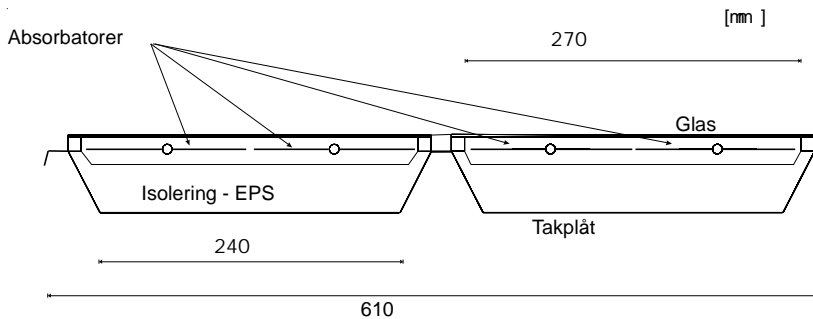
2.1 Konstruktion och material

Solfångaren skall vara anpassad för att passa in för placering i vanligt förekommande takplåtsmaterial för att underlätta installation och öka användningen av byggnadselementet i olika byggprojekt. En profilplåt från Gasell, figur .22, används som bas för de utvärderade solfångarna. Plåten har dubbla fack med bredden 270 mm och rymmer följaktligen fyra absorberflänsar med bredden 143 mm. Absorbatorerna i solfångarmodellerna är konventionella Sun-stripflänsar, enligt figur 2.1, i bredder av 61,5 mm respektive 143 mm.



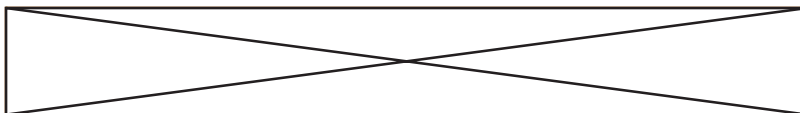
Figur 2.1 Foto av Sun-strip absorbatoren.

De tre prototyper som utvärderats har måtten $1,0 \times 0,6$ m och en aktiv absorberande yta på $0,5$ m². Referens-solfångare i figur 2.2 består av fyra konventionella Sun-strip absorbatörer placerade direkt i takplåten. I princip är detta en plan solfångare konstruerad med en profilerad plåt som låda.



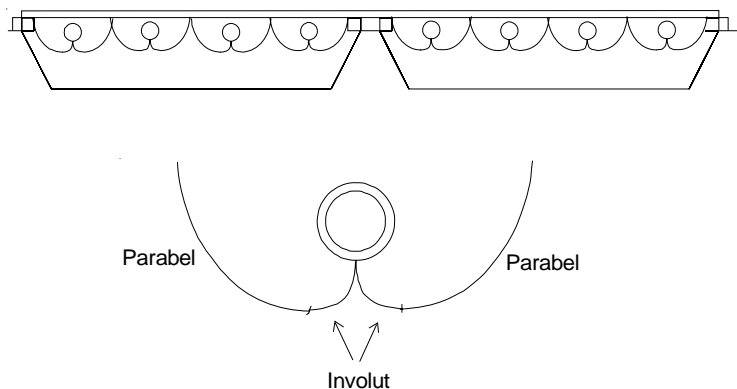
Figur 2.2 Solfångare 1, Referens-solfångaren med konventionella absorbtatorflänsar från Sun-strip.

Den koncentrerande solfångaren i figur 2.3 består av cirkulära koncentratörer som reflekterar strålningen mot undersidan av de smala flänsarna. I varje fack i takplåten sitter två flänsar och fyra cirkulära reflektorer. Den praktiska koncentrationsfaktorn är 2, d.v.s. den glasade arean är 2 ggr så stor som enkelsidig absorbtatorarea. Den principiella koncentrationsfaktorn är emellertid 1, eftersom glasad area är lika stor som absorberande area, d.v.s. plåten fram och baksida. Reflektormaterialet består av anodiserat aluminium med reflektansen 0,86. Acceptansområdet ligger mellan -90° och $+90^\circ$ infallsvinkel mot glasets, vilket innebär att allt ljus som träffar glasets när absorbtatorn.



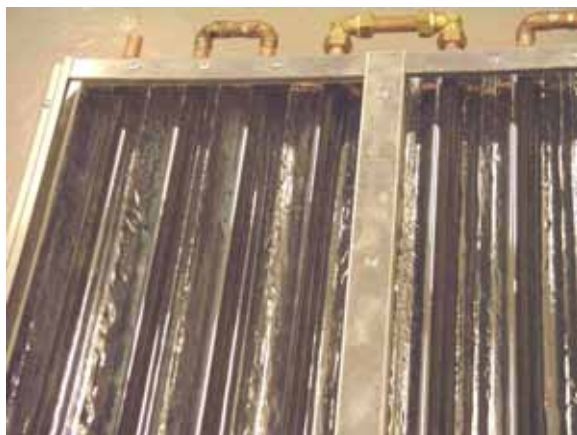
Figur 2.3 Solfångare 2 - Koncentrerande solfångare med 71,5 mm bred absorbtator och cirkulära reflektorer. Glasad area är lika stor som fram och baksida på absorbtatorn.

Den koncentrerande solfångaren i figur 4 består av ett absorberande rör och en reflektor. Ytskiktet består av en selektiv svart Ni-folie från Maxorb med absorptansen 0,96 som limmats på kopparröret. Rörrets ytterdiameter är 15 mm. Geometrin hos dessa reflektorer är sammansatt av två kurvor, ett involut till röret och en kvasiparabel med optiska axeln lutad 40° i förhållande till normalt infall. Involuten har egenskapen att..... I varje fack i plåten får det plats fyra rör med tillhörande reflektorer, enligt figur 2.4.

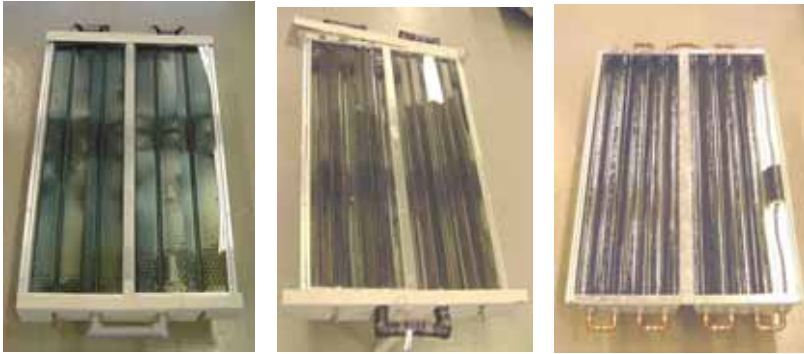


Figur 2.4 Rörbaserad koncentrerande solfångare. Under visas hur varje reflektors geometri är utformad efter en parabel-del och en involut-del.

Reflektormaterialet är förångad aluminium på polyester, vilket är laminerat på ett tjockare substrat. Reflektansen är 0,85. Acceptansområdet täcker infallsvinklarna -40° till 40° . Det betyder att allt ljus mellan som träffar solfångaren inom dessa vinklar skall nå absorbatorrören. I figur 5 och 6 visas ovan nämnda solfångare. Figur 2.5 visar hur den svarta absorbatorn speglas i i reflektorn, när ögat befinner sig inom acceptansområdet.

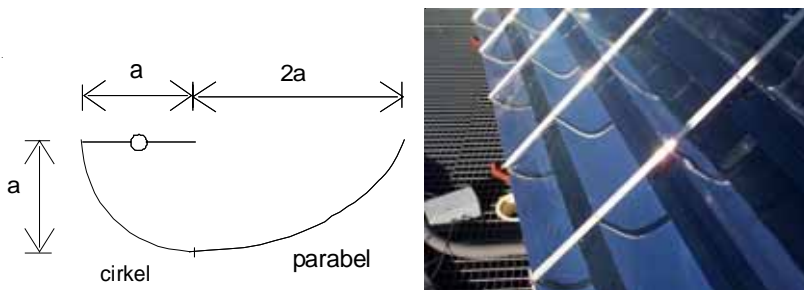


Figur 2.5 En närbild på den rörbaserade koncentrerande solfångare.



Figur 2.6 Här visas de tre solfångarmodellerna. Från vänster: referenssolfångaren med 4 breda absorbatorer, den koncentrerande solfångaren med 4 smala absorbatorer och t h den koncentrerande solfångaren med 8 rör. Här visas de två första med isolering fastsatt på rör och gavlär.

Dessutom har en alternativ solfångarmodell utvecklats, byggts och installerats utomhus vid Älvkarlebylaboratoriet och utvärderats inom detta projekt. Denna är den öst-västligt koncentrerande Tak-MaReCo-solfångaren som visas i en principfigur i figur 2.7 och installerad i figur 2.8. Denna har baserats på en smal absorbator för att minimera solfångarens tjocklek.



Figur 2.7 T v visas en alternativ geometri med en bred eller smal absorbator för öst-västlig geometri. T h en bild på en sådan modell med en smal absorbator,

Solfångaren är uppbyggd omkring 4 smala absorbatorer och 900 mm bred och 80 mm tjock. Den har ett förhållande mellan glasad area och enkelsidig absorbatorarea på 3:1. Den är avsedd för att sitta på tak som

lutar 30° eller mindre. Om taklutningen överstiger 30° kommer solstrålningen utanför reflektorns acceptansområde under tidig förmiddag och sen eftermiddag under sommarmånaderna.

2.2 Karakterisering av solfångarens egenskaper

Solfångarens egenskaper bestäms bl.a. av dess optiska effektivitet, η_0 och dess värmeisolerande förmåga, vilken uttrycks genom värdet på den totala värmeförlustfaktorn per ytenhet, U . U -värdet bestäms av hur välisolerad solfångaren är. Ju bättre isolering desto lägre U -värde uppnås. Den optiska verkningsgraden hos solfångarna, η_0 , beskriver hur stor del av den instrålade energin som absorberas i absorbatoren. Övrig instrålning förloras genom reflektans och absorptans i glaset, samt värmeförluster från flänsen. Den optiska effektiviteten, η_0 , erhålls som en produkt av glasningens transmittans, τ , absorbatorns absorptans, α , och absorbatorns verkningsgradsfaktor, F . Flänsverkningsgraden F är en faktor som kompenserar för de värmeförluster som uppstår p.g.a. att fenan är varmare än vätskan.

I varje ögonblick kan solfångarens nyttiga effekt per ytenhet, q , skrivas enligt ekvation 2.1. Värmeförlusterna beskrivs i ekvation 2.3. Värmeförlustkoefficienten, $F U$, ökar med ökande temperatur. Vi har gjort mätningar som visar hur värmeförlustkoefficienten varierar med temperaturen.

$$q = \eta_0 \cdot I - q_{loss} \quad (2.1)$$

$$\eta_0 = F \cdot \tau \cdot \alpha \quad (2.2)$$

$$q_{loss} = F \cdot U \cdot (T_m - T_a) \quad (2.3)$$

$$q = \eta_0 \cdot I - F \cdot U \cdot (T_m - T_a) \quad (2.4)$$

$$T_m = (T_{ut} + T_{in})/2 \quad (2.5)$$

$$\Delta T = T_m - T_a \quad (2.6)$$

$$\eta = q/I \quad (2.7)$$

q = solfångarens uteffekt (W/m²)

q_{loss} = värmeförlusteffekten (W/m²)

U = värmeförlustkoefficienten (W/m²K)

T_m = medeltemperaturen hos vätskan i solfångaren (K)

- T_a = utelufttemperaturen (K)
 F = absorbatorns verkningsgradsfaktor [-]
 T_{ut} = vätskans temperatur i utloppet från solfångaren [°C]
 T_{in} = vätskans temperatur i inloppet till solfångaren [°C]
 ΔT = temperaturdifferensen mellan värmebärarens medeltemperatur i solfångaren och omgivningstemperaturen [°C].
 η = Solfångarens totala verkningsgrad

Om solfångarens optiska verkningsgrad och värmeförlustkoefficienten är okända kan dessa beräknas efter mätningar av temperaturdifferens mellan in och utlopp, flödes hastighet och instrålning till solfångaren. Solfångarens värmeförluster ökar då temperaturskillnaden, ΔT , mellan vätskan i solfångaren och omgivningsluften, ökar. Mätningar ämnade för att beräkna den optiska verkningsgraden, η_0 , bör alltså beräknas baserat på mätningar då $\Delta T = 0^\circ$, då d.v.s. då solfångaren har samma medeltemperatur som omgivningsluften. Den optiska verkningsgraden kan då beräknas enligt följande:

$$\eta_o = \frac{P}{I \cdot A} = \frac{q \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ut} - T_{in})}{I \cdot A} \quad (2.8)$$

- P = solfångarens effekt [W]
 I = instrålningen [W/m^2]
 A = solfångarens yta [m^2]
 q = värmebärarens flöde [m^3/s]
 ρ = densiteten hos vätskan i solfångaren [kg/m^3]
 c_p = specifika värmekapaciteten hos vatten (vätskan i solfångarkretsen) [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]

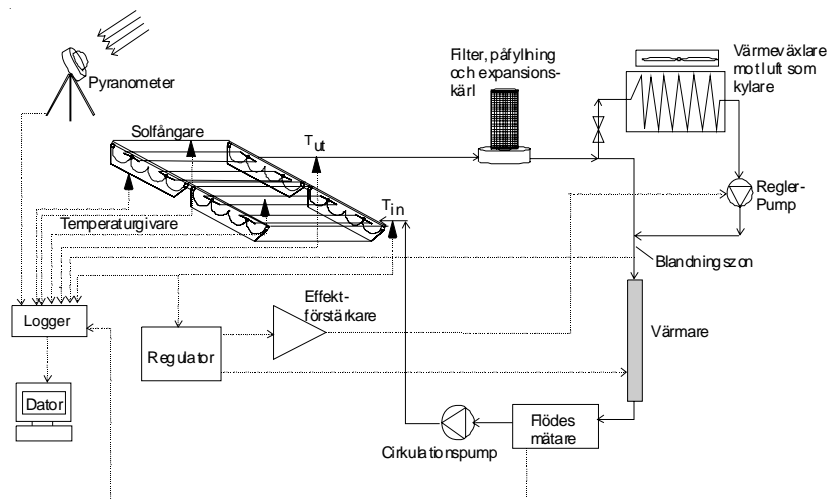
3 Mätningar - metod och resultat

Referens-solfångaren har jämförts med de två andra koncentrerande solfångarmodellerna (se beskrivning ovan). Mätningar och utvärderingar av dessa tre solfångarmodeller har utförts i laboratoriet på avdelningen för energi och byggnadsdesign, LTH. Dels inomhus med solsimulatorn som ljuskälla, dels utomhus under klara dagar för att få absolutvärden under förhållanden med jämn belysning, eftersom solsimulatorn ger en relativt ojämn belysning. De mätningarna som genomförts inomhus har varit mätningar dels där solsimulatorn har använts som ljuskälla, dels mätning av mörker- U -värde utan belysning av solfångarna. Istället har en varmare varmt upp vattnet före inloppet till solfångaren och effektbehovet för att hålla en övertemperatur på vattnet i solfångaren har mätts. Solfångarna var monterade på ett justerbart stativ, vilket medger lutning av solfångarna relativt markplanet. Mätningar av solfångarens prestanda har gjorts med solfångarna lutade i 20° och 45° .

3.1 Systemuppställning

Vid mätningarna har solfångaren kopplats ihop med övriga systemkomponenter enligt figur 3.1 nedan. Pyranometern mäter hur stor instrålningen är. Detta registreras i loggern, liksom temperaturerna på solfångarens reflektor, fläns, baksida samt in- och utlopp. Temperaturen vid solfångarens inlopp styr regulatoren, vilken reglerar varmaren och kylkretsen. Med kylkretsen menas avgreningen till luftvärmväxlaren som med hjälp av en fläkt kyler ned vätskan i ledningen. Reglerpumpen i denna krets styrs av signalen från regulatoren som går via en effektförstärkare. En induktiv flödesmätare ger information som registreras i logger om hur hög flödes hastigheten hos vattnet är. All data hämtas sedan från loggern till datorn. I kretsen finns även ett kombinerat filter som också fungerar som expansionskärl och påfyllningskärl.

Den programmerbara temperaturregulatoren är separat och av standardtyp med PID-reglering. Temperaturgivarna till regulatoren är termoelement och är också separata. Temperaturregleringen har fungerat bäst då en temperaturgivare har varit placerad nära blandningszonen efter värmeväxlar-kretsen. Om två termoelement med samma resistans parallellkopplas får man ett medelvärde mellan termoelementen. Detta har utnyttjats för att testa att reglera på medeltemperaturen mellan in- och utlopp på solfångaren. Även denna reglering fungerar tillfredställande om givaren för inloppet är nära blandningszonen. Regulatorns proportionalitetskonstant P , har varit ställd på 40°C för att motsvara en flödesändring av c:a 0.05 l/s på reglerpumpen. För de största temperaturskillnaderna har även en ventil i reglerlingen strypts. Då regulatorns integrations-tid I , har ställts till 0.1 min och dess derivationstid D , till 5 s har bäst reglering uppnåtts.



Figur 3.1 Systemuppställning för mätningar av solfångarsystem.

3.2 Solsimulatorn

Solsimulatorn består av sju stycken metall-halidlampor som lyser på parabolformade reflektorer, vilka ger nästan parallell återstrålning. Jämfört med många andra lamptyper ger metall-halidlamporna ett ljus vars spektrum är ganska likt solens. Simulatorn är hög och sänkbar mellan $0-70^{\circ}$ solhöjd. Ljuset från solsimulatorn har en ganska ojämn fördelning över ytan. För att få en absolut bestämning av irradiationen på mätobjektet

måste därför en noggrann ytintegrerande mätning göras i många punkter och med väldefinierade gränser för objektets position. Solsimulatorn har använts för att mäta relativa skillnader av verkningsgraden hos solfångarna vid varierande värden av ΔT , samt för att göra mätningar av infallsvinkelberoendet hos solfångarna.

De ytintegrerande mätningarna har åstadkommit genom att 6 st parallellkopplade fotodioder placerats på frontglaset på solfångaren. Solfångarens aktiva yta har delats upp i sex lika stora delytor och fotodiодerna har placerats i mittpunkten av dessa nära kvadratiska ytor. De tunna koppartrådarna som spänns för att hålla ljusdiодerna på korrekt plats bildar ett nät och tjänar också som anslutningsledningar. För att få ljusdiодerna att lägga sig helt parallellt med glaset är de limmade mot mikroskoptäckglas. Eftersom ljuset från urladdningslamporna har ett dominerande 100 Hz rippel är en förstärkare med lågpasfilter kopplat mellan fotodiодerna och loggern, som endast kan registrera momentanvärden.



Figur 3.2 Den höj- och sänkbara solsimulatorn i laboratoriet på LTH. Lamporna ger nästan parallellt ljus och ljusets spektrum är relativt likt solens. Glasrutan framför lamporna filtrerar bort UV-strålningen och det mesta av den långvågiga strålningen.

3.3 Utomhusmätningar för beräkning av optisk verkningsgrad

3.3.1 Mätmetod

Eftersom solsimulatorn ger relativt ojämn ljusfördelning har mätningar av den optiska verkningsgraden gjorts utomhus, vilket ger jämn ljusfördelning och alltså bäst uppskattning av den optiska verkningsgraden. Det jämna solljuset ger noggrannare resultat och mätmetoden blir enklare. Från denna enda mätning av ett absolut värde kan sedan mera omfattande relativa mätningar göras i laboratoriet där parametrar kan varieras under konstanta förhållanden.

Under klara dagar under oktober-november månad har mätningar av de olika solfångarna utförts utomhus. Solfångarna och dess systemkomponenter samt mätutrustning var under försöken monterade utanför sollaboratoriet enligt beskrivning ovan, fast här har hela flödet cirkulerat genom värmeväxlarkretsen. Solfångaren var under hela mätningen riktad rakt mot solen, liksom pyranometern. Både utomhustemperaturen och temperaturen hos vätskan var låg. Eftersom den optiska verkningsgraden definieras som solfångarens verkningsgrad då $\Delta T = 0^\circ$ bör man sträva efter att nå så låga temperaturdifferenser som möjligt mellan solfångarens vätska och uteluften. För att mäta under förhållanden med 0°C i temperaturdifferens fordras aktiv kyla. Under dessa mätningar har vätskan kylts passivt direkt mot uteluften med hjälp av en större luftvärmväxlare och temperaturdifferensen, ΔT , mellan vätska och uteluft har kunnat hållas väldigt låg m h a systemet för kylning. De uppmätta värdena av optisk verkningsgrad har använts tillsammans med mörker- U -värden mätta i laboratoriet för att extrapolera värdet av optisk verkningsgrad från punkten då $\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$ till punkten då $\Delta T = 0^\circ\text{C}$. P.g.a. ΔT redan är så nära noll får man på detta sätt en god noggrannhet av värdet av den optiska verkningsgraden. Även differensen mellan in- och utlopp hos solfångaren har varit låg under mätningarna. Trots detta har precisionen vid mätning av T_m kunnat hållas hög eftersom temperaturskillnaden har mätts med en termostapel som ger god relativ noggrannhet. Mätdata av instrålning, flödet och temperaturer vid inlopp, utlopp och omgivning har registrerats. Ekvation 2.8 har använts för att beräkna verkningsgraden då $\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$.

3.3.2 Resultat

Mätdata från utomhusmätningarna visade sig vara relativt stabila och medelvärdet av den optiska verkningsgraden beräknades till nedanstående värden för de olika solfångarna. De momentana minuttvärdena varierade med ca $\pm 0,5$ procentenheter runt medelvärdena för de olika modellerna.

Solfångarmodell	Referenssolfångaren	Koncentrerande med flänsar	Koncentrerande rörbaserad
H_0 (%)	72	73	59

Den koncentrerande solfångaren med breda fenor uppvisar samma optisk verkningsgrad som referens-solfångaren eftersom koncentrationsfaktorn är låg och optiken god. Den rörbaserade solfångaren uppvisar en lägre verkningsgrad vid normalt infall p.g.a. att reflektorns optik inte är ideal. Det snävare acceptansområdet har ingen betydelse vid denna mätning eftersom infallsvinkeln mot glaset under dessa försök varit 0° .

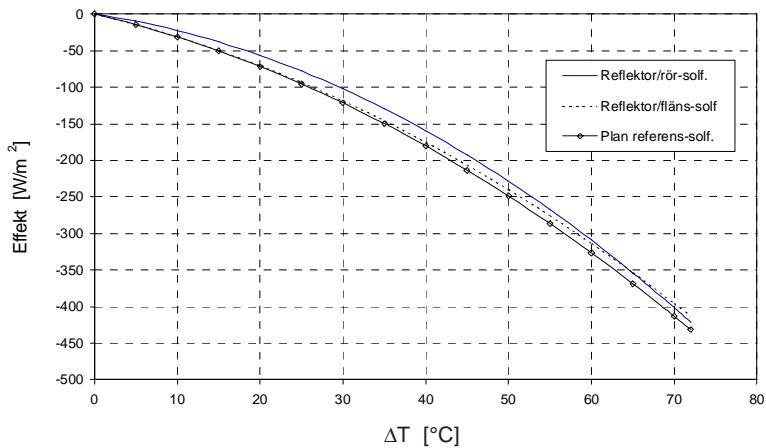
3.4 Mörkermätningar som visar värmeförlustkoefficient

3.4.1 Metod

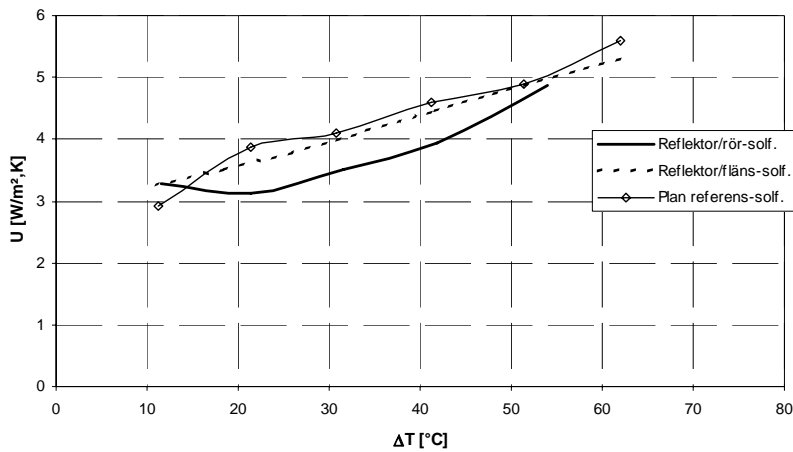
Mörkervärden av termen $F \cdot U$ (se ekvationerna 2.3 - 2.5) för solfångarna har uppskattats genom att i mörker värma upp vattnet i rören med en värmare och därefter registrera värmeförlusterna. Med denna metod kan de mest korrekta uppskattningarna av solfångarnas U -värden erhållas. Solfångarsystemet har ställts upp enligt figur 3.1 och både värmare och kylning har varit inkopplade. Värmaren har ställts in att värma olika mycket och på så vis har olika temperaturskillnader uppmätts.

3.4.2 Resultat

I diagrammen nedan visas hur värmeförlusterna ökar då ΔT ökar. Lutningen i varje punkt är värdet av värmeförlustkoefficienten $F \cdot U$. I Figur 3.3 visas resultatet av värmeförlustmätningarna och de beräknade U -värdena presenteras i figur 3.4.



Figur 3.3 Resultat av värmeförlustmätningarna för de olika solfångarna .



Figur 3.4 Värmeförlustfaktorerna, U -värdena, för de olika solfångarna.

Figur 3.4 visar att solfångarnas U -värde är lika för de tre olika modellerna och omkring $4.5 \text{ W/m}^2, \text{K}$. Det uppmätta U -värdet för små modeller är betydligt större än för solfångare i verklig skala p.g.a. ökade kantförluster. Det innebär att U -värdet för en solfångare i normalstorlek bör bli omkring $3.5 \text{ W/m}^2, \text{K}$.

ΔT [°C]

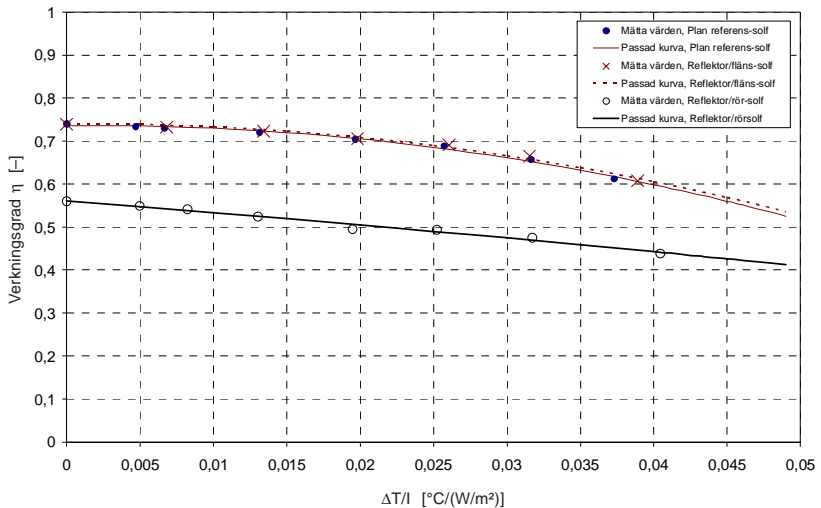
3.5 Mätning av temperaturberoende med solsimulatorn

3.5.1 Metod

En mätning utomhus har gjorts för att kalibrera mätningarna och fastställa den optiska verkningsgraden. Därefter har mätdata från mätningar med solsimulatorn anpassats till dessa värden för att visa korrekta resultat. För att kompensera mätningarna för ojämn belysning har mätning av ljusintensitet gjorts med fotodioder på 6 punkter på solfångarnas glas.

3.5.2 Resultat

I figur 3.5 visas de uppmätta verkningsgradskurvorna i solsimulatorn. Dessa kurvor visar att referenssolfångaren med bred fena och den koncentrerande solfångaren med smal absorbatör har en optisk verkningsgrad, η_0 , på ca 0.73 och U -värdet är i storleksordningen $4.5 \text{ W/m}^2, \text{K}$. Solfångaren med rörabsorbator absorbatör har en optisk verkningsgrad på 0.56 och U -värdet är i storleksordningen $3 \text{ W/m}^2, \text{K}$. Den låga optiska verkningsgraden förklaras av att reflektorns optik är oprecis vid normalt infall, vilket visas i det infallsvinkelberoende som presenteras i figur 3.6.



Figur 3.5 Uppmätta verkningsgradskurvor för de aktuella solfångarna.

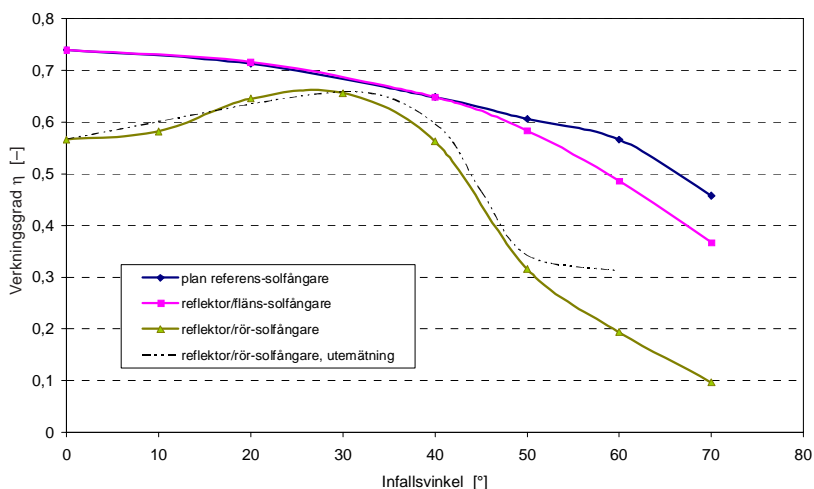
3.6 Infallsvinkelberoende

3.6.1 Metod

Solfångarens infallsvinkelberoende har utvärderats dels utomhus, dels inomhus. Utomhusmätningarna kan anses vara aningen mer tillförlitliga beroende på att solsimulatorns ljusfördelning över absorbatoren är något ojämn och på att ljusfläckarna troligen kan ha ändrat läge vid upphöjningen av simulatoren. Mätningar av infallsvinkelberoendet i höjddled har utförts genom höjning av i solsimulatorn motsvarande solhöjd från 0° till 70°. Vissa problem av de senare mätningarna har noterats p.g.a. solsimulatorns ojämn fördelning av ljusintensitet samt förflyttning av de starkare ljusfläckarna över absorbatorytan vid höjningen av solsimulatorn.

3.6.2 Resultat

Figuren visar att rørsolfångaren har relativt låg optisk verkningsgrad vid normalt infall, men dess verkningsgrad vid ca 30° infallsvinkel har den nästan lika hög verkningsgrad som de övriga två solfångarna. Effekten av rørsolfångarens begränsade acceptansvinkel, mellan 0° och 40°, framträder tydligt i mätningarna. Mätningar utomhus och inomhus visar god överensstämmelse upp till 50° infallsvinkel.



Figur 3.6 Uppmätning av verkningsgradens infallsvinkelberoende för de tre solfångarna.

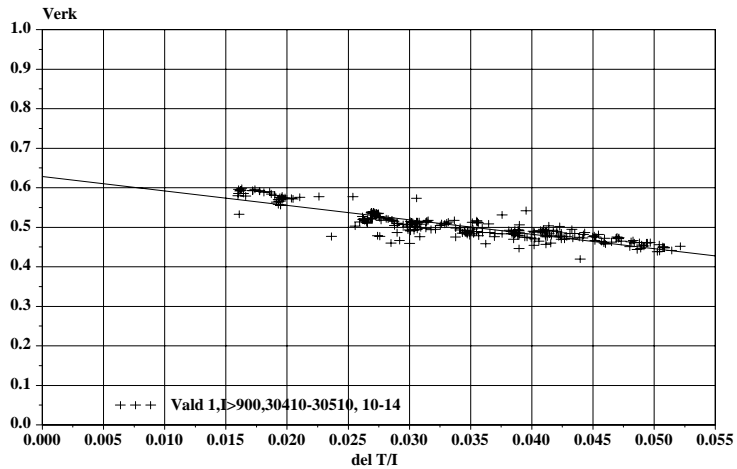
3.7 Resultat av långtidsmätning utomhus

3.7.1 Metod

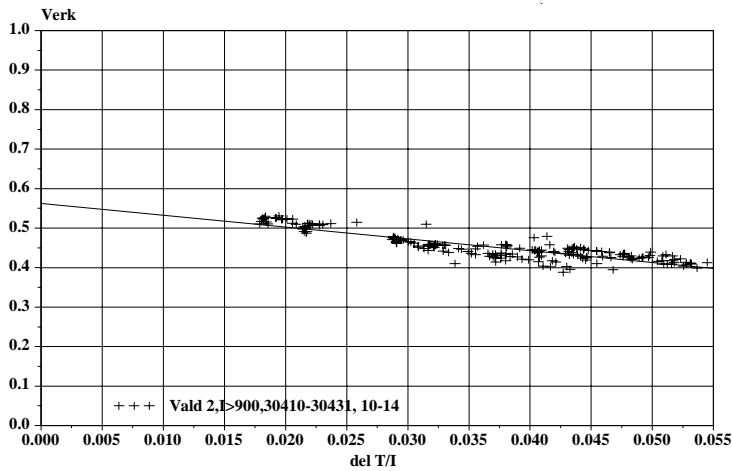
En Tak MaReCo med smal absorbator har installerats och utvärderats under hela år 2004 vid Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby. Den har jämförts med en Tak-MaReCo-solfångare med bred absorbator.

3.7.2 Resultat

Figurerna 3.7 och 3.8 visar att dessa solfångare har jämförbara verkningsgrader.



Figur 3.7 Uppmätt verkningsgradskurva för Tak-MaReCo med smal absorbator.



Figur 3.8 Uppmätt verkningsgradskurva för Tak-MaReCo med bred absorbator.

Tak MaReCo solfångarna uppvisar låga U -värden på ca $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ och relativt låg optisk verkningsgrad, $\eta_0 = 0.60$. Detta förklaras av den relativt höga koncentrationsfaktorn, som ger liten varm absorberareyta och många multipelreflexer. Den tunna solfångaren med smal absorbator har dock högre optisk verkningsgrad.

4 Diskussion och slutsatser

Tre nya tunna takplåtssolfångare har konstruerats och utvärderats och en tunn Tak-MaReCo-solfångare har långtidsprovats utomhus. Utvärderingen av MaReCo solfångaren visar att det är möjligt att konstruera en tunn och oisolerad solfångare med U-värdet omkring $3 \text{ W/m}^2, \text{ K}$. Utvärderingen av de små modellerna visar att vid låg koncentrationsfaktor kan relativt hög optisk verkningsgrad uppnås. Sammantaget visar detta att projektets målsättning att konstruera en tunn oisolerad solfångare för kalla tak bör vara genomförbart. Då projektet avkortats är det för tidigt att dra några slutsatser om programmets kostnadsmål kan uppnås med denna teknik, innan nästa projektsteg tagits och solfångarna skalats upp. NCC beskriver i bifogad bilaga de krav man bör ställa på en byggnadsintegrerad solfångare. De viktigaste aspekterna presenteras här:

Brukaraspekter

- Solfångaren bör vara i det närmaste underhållsfri.
- Det är viktigt att grundläggande funktioner inte försämras, t.ex. tät-
het eller bärighet i konstruktionen.
- Utseendet - den ska synas men ändå smälta in (gäller kanske framfö-
rallt fasad).
- Brukarekonomi - beroende på kund kommer ekonomiska aspekter
att styra på olika sätt.

Byggnadstekniska aspekter

- Det är viktigt med generella lösningar för infästningar - special-
anpassning till respektive projekt skall ej behövas.
- Beständigheten på solfångarens ytskikt ska hålla samma klass som det
övriga takets, eller gärna ännu bättre.
- En hög grad av prefabricering är önskvärd. Solfångaren ska också ut-
formas för att enkelt kunna transporteras och lyftas på plats!
- Kopplingar ska vara anpassade för att kunna sammankopplas med
byggnadens övriga energi- och styrsystem.

Ekonomiska/resursmässiga aspekter

- Det ekonomiska värdet bedöms högre om solfångaren innebär att du får minskade kostnader för andra material.
- Investeringskostnaden är i fokus och kortast möjliga återbetalningstiden eftersträvas.
- Det är intressant med glykolfria system, dock är driftsäkerhetens viktigare. Finns någon risk för krängel, så måste detta med i kalkylen och försämrar då livscykelkostnaden.

Miljöaspekter/övrigt

- Kundundersökningar visar att våra kunder idag inte är beredda att betala speciellt mycket för miljön. Det finns dock kunder (bostadsbolag, fastighetsägare kommersiella fastigheter), som är intresserade av en starkt image inom miljöområdet, eller helt enkelt vill visa att man gör något.
- Material som ej innehåller eller avger skadliga ämnen bör användas.

Sammantaget ställs mycket höga tekniska och ekonomiska krav på ett byggnadsintegrerat solvärmesystem. Vissa av kraven kräver sannolikt att solvärmemarknaden hinner utvecklas och växa innan de kan uppfyllas. Omvänt är uppfyllning av dessa krav sannolikt ett villkor för att en stor marknad skall kunna utvecklas.

Referenser

- Duffie, J.A., & Beckman, W.A., (1991). "*Solar Engineering of Thermal Processes*", 2:a uppl., Wiley Interscience, New York.
- Hellström, B., (2001). "*Parameter impact on temperature distribution and collector efficiency of a solar cell/collector hybrid in a cpc geometry*", VUAB-rapport U01-22.
- Häkansson, H., (2003). *A Parallel Beam Solar Simulator for Testing of Solar Components*. ISES Solar World Congress, 14-19/6 -03, Göteborg.

Bilaga

Generella krav på byggnadsintegrerade solfångare från Kristina Gabrielli, NCC Teknik

Brukaraspekter

- Solfångaren bör vara i det närmaste underhållsfri. För brukaren bör den åtminstone inte innebära speciellt mycket merarbete än motsvarande tak eller fasad.
- Det är viktigt att grundläggande funktioner inte försämras, t.ex. tät-
het eller bärighet i konstruktionen.
- Utseendet - den ska synas men ändå smälta in (gäller kanske framför-
rallt fasad).
- Brukarekonomi - beroende på kund kommer ekonomiska aspekter
styra på olika sätt. Detta kan förändras genom skattereglering, åta-
ganden som olika aktörer gör för att öka andelen förnyelsebar energi
(ByggaBo-dialogen). Vi bedömer dock att detta går långsamt, och att
investeringskostnaden för brukaren fortfarande styr ganska mycket.
För privatpersoner kan långsiktigheten bidra till att en längre
återbetalningstid är acceptabel, för kommersiella fastigheter bör den
ligga inom 3 år.

Byggnadstekniska aspekter

- Får ej försämrade grundläggande aspekter enligt ovan.
- Viktigt med generella lösningar för infästningar - specialanpassning
till respektive projekt skall ej behövas.
- Undvik för många lösa detaljer på elementen.
- Man ska inte behöva riva halva huset om något behöver bytas ut eller
för att underhålla.
- Det är oerhört viktigt att läckage undviks, både från solfångaren och
från infästningarna. Erfarenheter visar att det oftast är vid infästningar
som läckage i tak sker, eller där det "händer" något i den släta ytan.

- Beständigheten på solfångarens ytskikt ska hålla samma klass som det övriga takets, eller gärna ännu bättre.
- Varje ytterligare skikt som läggs på en solfångare kräver ytterligare infästningar, som medför en riskkonstruktion. Oavsett om skiktet är glas eller plast måste funktionerna uppfyllas, såsom åldringsbeständighet, rörelser för temperaturförändringar, temperaturväxlingar etc.
- Enkelhet bör eftersträvas.
- Vid nyproduktion är byggnadsintegrerade solfångare att föredra, d.v.s. att solfångaren ersätter ett material man annars behövt. En hög grad av prefabricering är också önskvärd. Solfångaren monteras i fabrik i en tak- eller väggskiva, som sedan lyfts på plats. Allt montage av solfångaren i dess omgivning sker då under gynnsamma arbetsförhållanden och med en typ av serieproduktion.
- Då solfångaren kan bli väl så intressant för befintlig bebyggelse, finns troligen en fördel att solfångaren enkelt kan monteras på plats. Montaget ska vara enkelt samt snabbt. D.v.s. fort och rätt, inte fort och fel!
- Solfångaren får inte försämra klimatskalets u-värde.
- Eftersträva placering som minimerar avståndet mellan solfångare och ackumulatortank. Om möjligt!
- Undvik skuggning av solfångaren från andra delar av byggnaden.

Ekonomiska/resursmässiga aspekter

- Då vi arbetar med att industrialisera byggprocessen, ska så hög prefabricering som möjligt eftersträvas - se dock ovan.
- Det ekonomiska värdet bedöms högre om solfångaren innebär att du får minskade kostnader för andra material.
- Investeringskostnaden är fortfarande i fokus, är återbetalningstiden inom 3 år, så är det intressant.
- Om en solfångare kan täcka t ex hela varmvattenbehovet under året för ett enfamiljshus, så är det intressant. Avseende tillskott till värmen, så finns ju idag mycket välisolerade hus, där man inte har ett separat system för värme ("Hus utan värmesystem").
- I områden med fjärrvärme har andra system svårt att konkurrera. Vi räkar ut för att fjärrvärmeleverantören slopar anslutningsavgiften för att "locka till sig folk".
- Det kan finnas ett problem idag - förnyelsebar energi = det krävs ej värmeåtervinning.

- Det är intressant med glykolfria system, dock är driftsäkerhetens viktigare. Finns någon risk för krängel, så måste detta med i kalkylen och försämrar då livscykelkostnaden.

Miljöaspekter/övrigt

- Kundundersökningar visar att våra kunder idag inte är beredda att betala speciellt mycket för miljön. Det finns dock kunder (bostadsbolag, fastighetsägare kommersiella fastigheter), som är intresserade av en stärkt image inom miljöområdet, eller helt enkelt vill visa att man gör något.
- Det är bra om solfångarpanelen kan anpassas så att vinkeln blir optimal oavsett takets lutning (då blir det väl en icke-byggnadsintegrerad solfångare förstas).
- Kan man göra ett komplett system inklusive tank?
- Utforma för att enkelt kunna transportera och lyfta på plats!
- Tydliga instruktioner för montering och underhåll måste finnas.
- Man bör använda material som ej innehåller/avger skadliga ämnen?
- Kopplingar etc. ska vara anpassade för att kunna sammankopplas med byggnadens övriga energi- och styrsystem.
- Skall förstås uppfylla gällande normer och krav!



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

ISSN 1651-8128
ISBN 91-85147-05-2