



Förstudie för uppförande av Solarus PV-hybrid i ett stort system

Elforsk rapport 12:10



Mattias Gustafsson, Björn Karlsson

Februari 2012

ELFORSK

Förstudie för uppförande av Solarus PV-hybrid i ett stort system

Elforsk rapport 12:10

Förord

Detta projekt ingår i det tillämpade solcellsprogrammet SolEI 08-11.
Programmes kunder är:

- Energimyndigheten
- Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC och JM
- Vattenfall
- E.ON Sverige
- Fortum
- ABB Corporate Research
- Göteborg Energi
- Exotech
- HSB
- Malmö stad Serviceförvaltningen
- Sharp Electronics Nordic
- Switchpower
- Mälarenergi
- Tekniska Verken i Linköping AB
- Jämtkraft
- Umeå Energi
- Falkenberg Energi
- Växjö Energi Elnät



Rapporten finns fritt nedladdningsbar från SolEI-programmets webbsajt:
www.solelprogrammet.se.

Bertil Wahlund

Elforsk AB

Sammanfattning

Företaget Solarus har utvecklat en dubbelsidig hybridabsorbator. Absorbatorn består av en vattenkyld tunn fena med solceller på båda sidor. Denna används som hybridabsorbator i Solarus koncentrerande solfångare. En sådan hybrid solfångare för produktion av el och värme har utvärderats i SolEL-programmet 2008-2011 vid Lunds Tekniska högskola.

Solarus solfångare är en kommersiell produkt. För att kunna tillverka en solfångare som ger både el och värme, d.v.s en PVT-hybrid, har företaget Solarus AB utvecklat en helt ny teknik för laminering av solceller med högre krav på drift under höga temperaturer än vanliga PV-moduler. En egen produktionsenhet för att tillverka hybrid-absorbatorer och kompletta hybrid-solfångare uppfördes under 2011 i Älvkarleby. Solfångaren är koncentrerande och kan installeras fast eller solföljande. Det finns få koncentrerande hybrider på marknaden. Det finns därför behov av att uppföra ett relativt stort Solarus system nära företagets tillverkningsenhet.

Högskolan i Gävle uppförde under 2011 en ny stor teknik- och laboratorielokal på omkring 2000 m². En förstudie har genomförts för att installera Solarus-hybrider på denna byggnad. Byggnadens utformning möjliggör att modulerna kan installeras på södervägg, stående eller integrerade i relativt platta tak. Byggnaden är ansluten till Gävle Energis fjärrvärme och elnät. Fastighetsägaren Norrporten, Hyresgästen Högskolan i Gävle och Gävle Energi har aktivt deltagit i projektet.

Förstudien har resulterat i ett förslag att under våren 2012 uppföra 45 st Solarus-enheter om vardera 2,5 m² eller totalt 110 m² på laboratoriets nästan platta tak. Det motsvarar omkring ett 11 kWp solcellsystem. Det beräknade årliga utbytet från systemet summeras till 10 000 kWh elektrisk energi och 15000-20 000 kWh termisk energi vid 60°-70° drifttemperatur. Byggnadens relativt stora elbehov för ventilation och klimatkylla innebär att den elektriska energin kommer att användas direkt i byggnaden. Den levererade värmen kommer antingen att levereras till en ackumulator eller direkt ut på nätet via en värmepåväxlare. Den levererade värmen från solfångaren måste då överstiga fjärrvärmens framtemperatur.

Solfångarna skall vara solföljande omkring en öst-västlig axel. Detta innebär att utbytet ökar med 10-20 % i jämförelse med en fast installation och att systemet får ett större nyhetsvärde och blir intressantare ur forsknings och undervisningssynpunkt.

Elanvändningen i byggnaden är så stor i förhållande till produktionen från solcellerna att överskott inte kommer att uppstå.

Investeringskostnaden är hög beroende på att det är det första demonstrationssystemet som uppförs och beroende på att arean är relativt liten.

Överskottsel levereras till elnätet och ersätts med Nordpools spotspris. Värme levereras till fjärrvärmesystemet med månadsvis nettodebitering.

Summary

The Swedish Company Solarus has developed a bifacial hybrid absorber which delivers both heat and electricity. It consists of a water cooled fin with solar cells on both sides. This is used in their concentrating collector. This concentrating and non tracking hybrid was investigated in an earlier Elforsk-project.

Solarus solar collector is already a commercial product. The company Solarus is now establishing an industrial production of the hybrid absorber and the hybrid collector in Älvkarleö close to Gävle. Therefore it is important to construct a Solarus system in the neighborhood of their production line.

The University in Gävle constructed during 2011 a new laboratory hall of around 2000 m². The building is connected to the district heating grid of Gävle Energy AB. A prestudy for investigating the possibilities to install Solarus collector on this building is carried out. The house owner Norrporten AB, Högskolan in Gävle and Gävle Energy have all contributed to the study.

The result of the study is that 45 Solarus hybrid units will be installed during the spring 2012 on a nearly flat roof. This corresponds to 110 m² of solar collectors and 11 kWp of PV-modules. The estimated annual output is 10 000 kWh of Electric energy and 20 000 kWh of heat. The electric energy will be used directly in the building, since the demand is large compared to the production from the PV-cells. The heat will be used in the building or delivered to the grid.

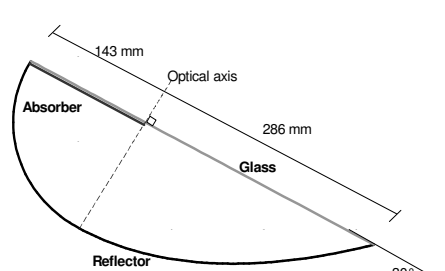
The exported electric energy is paid with the Nord-pool spot price and the exported heat is paid by monthly net metering.

Innehåll

1	Inledning och bakgrund	1
2	Uppförande av demonstrationssystem	2
3	Projektförslag	3
4	Investeringskostnader	9
5	Affärsmodeller	10
6	Diskussion	12
7	Referenser	13

1 Inledning och bakgrund

Företaget Solarus har sedan 2006 tillverkat och vidareutvecklat den s.k. "Tak-MaReCo solfångaren" under namnet Blenda, figur 1-2. Detta är en koncentrerande solfångare med låg koncentrationsfaktor och hög acceptansvinkel som i första hand inte avses att vara solföljande. (Adsten 2005) Solfångaren är typprovad hos SP och är bidragsberättigad för solvärmestöd.

	F 
Figur 1. Princip ritning av MaReCo Solfångaren. Koncentrationsfaktorn är tre.	Figur2. Blenda solfångaren med dubbelsidig Sun-Strip absorbator och aluminiumreflektor.

I SolEL-programmet 2008-2011 (Gomez 2011) har Blendasolfångaren vidareutvecklats med en unik hybridabsorbator (Helgesson 2004, Nilsson 2007), där solceller lamineras på absorbatorns fram och baksida, så att den genererar både värme och el, figur 3.

	Figur 3. Bild på den hybrid-absorbator som utvecklats av Solarus. Den består av en extruderad och vattenförande aluminiumabsorbator med solceller laminerade på över och undersida. Figuren visar hur underkants-cellerna reflekteras i underkants-reflektorn
---	---

Den dubbelsidiga absorbatorn i figur 3 är ett helt ny och det finns därför ett angeläget behov av att prova denna i ett stort system. I detta projekt föreslås att solfångare med denna hybridabsorbator uppförs på en ny laboratoriebyggnad vid Högskolan i Gävle.

2 Uppförande av demonstrationssystem

Företaget Solarus har behov av att prova Solarus komponenter och produktionsteknik i närheten av sin egen fabrik i Älvkarleby Kommun. Högskolan har intresse att uppföra ett avancerat demonstrationssystem i sina egna lokaler. Detta intresse förstärks av att Högskolan har ansökt om att starta en industriforskarsskola där Solarus är en av de aktivt deltagande företagen. Högskolan i Gävle uppförde under 2011 en ny stor teknik- och laboratorielokal på omkring 2000 m². I denna rapport genomförs en förstudie för att installera Solarus hybrider för el- och värmeproduktion på denna byggnad. Byggnadens utformning möjliggör att modulerna installeras på södervägg, stående eller stående på relativt platta tak. Byggnaden är ansluten till Gävle Energis fjärrvärme och elnät. Gävle Energi deltar i projektet och är aktivt delaktiga i systemutformningen.

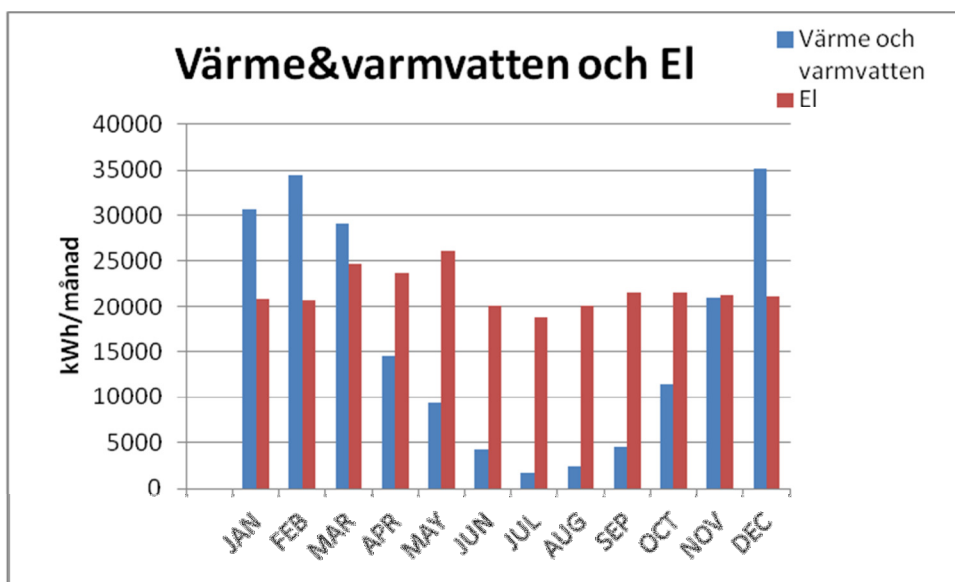
I förstudien ingår följande delar

- Att uppföra ett relativt stort system för demonstration av Solarus tekniker på en ny byggnad.
- Att utveckla arkitektoniska lösningar för byggnadsintegrering av Solarus komponenter.
- Att analysera olika affärsmodeller mellan fastighetsägare och energibolag för en byggnad med stor energiproduktion från Solfångare och solceller.

Under andra halvåret 2011 har en projektgrupp med representanter från fastighetsägaren Norrporten, hyresgästen Högskolan i Gävle samt energibolaget Gävle Energi arbetat med målsättningen att uppföra ett hybridsystem från Solarus. Arbetet underlättades av att systemet beviljades ett investeringsstöd från länsbostadsnämnden för att uppföra ett 10 kWp hybridsystem. Bidraget är 60 % av investeringskostnaden och maximalt 90 000 kr per kWp elektrisk effekt. En hybrid som ger el och värme har en högre övre gräns för kostnaden per kWp än ett renodlat solcellsystem.

3 Projektförslag

I samband med att byggnaden planerades beräknades behovet av värme och varmvatten genom simuleringar med programmet VIP+. Programmet gör simuleringar med timvis upplösning. Resultatet av beräkningarna presenteras i figur 4. Behovet summerades till omkring 200 000 kWh per år. Denna siffra stämmer också med preliminära mätningar under perioden augusti 2010 tom november 2011. Den uppmätta elanvändningen under första driftåret summerades till 220 000 kWh med en fördelning enligt figur 4. Det höga elbehovet förklaras bl.a. av att byggnaden kyles med en eldriven kylmaskin. Detta innebär vidare att elbehovet blir högt under sommarhalvåret. En utredning pågår för att analysera möjligheterna att försörja byggnaden med fjärrkyla från Gävle Energis nät.



Figur 4. Uppskattat behov av värme och varmvatten och uppmätt användning av el under det första driftåret 2011 i den nya laboratoriebyggnaden.

Förstudien har resulterat i att under våren 2012 skall 45 st. Solarus-enheter om vardera 2,5 m² glasad area eller totalt 110 m² uppföras på laboratoriets nästan platta tak. Det motsvarar ett PV-system på omkring 11 kWp.



Figur 5. Den nya laboratoriebyggnaden där Blendahybrider skall installeras. Den röda byggnaden är uträckt i östvästlig riktning och den svarta byggnaden är uträckt mot söder.



Figur 6. Den nya laboratoriebyggnadens nära platta nord-sydliga tak med 45 moduler motsvarande 110 m² solföljande Blendahybrider i ett bildmontage.

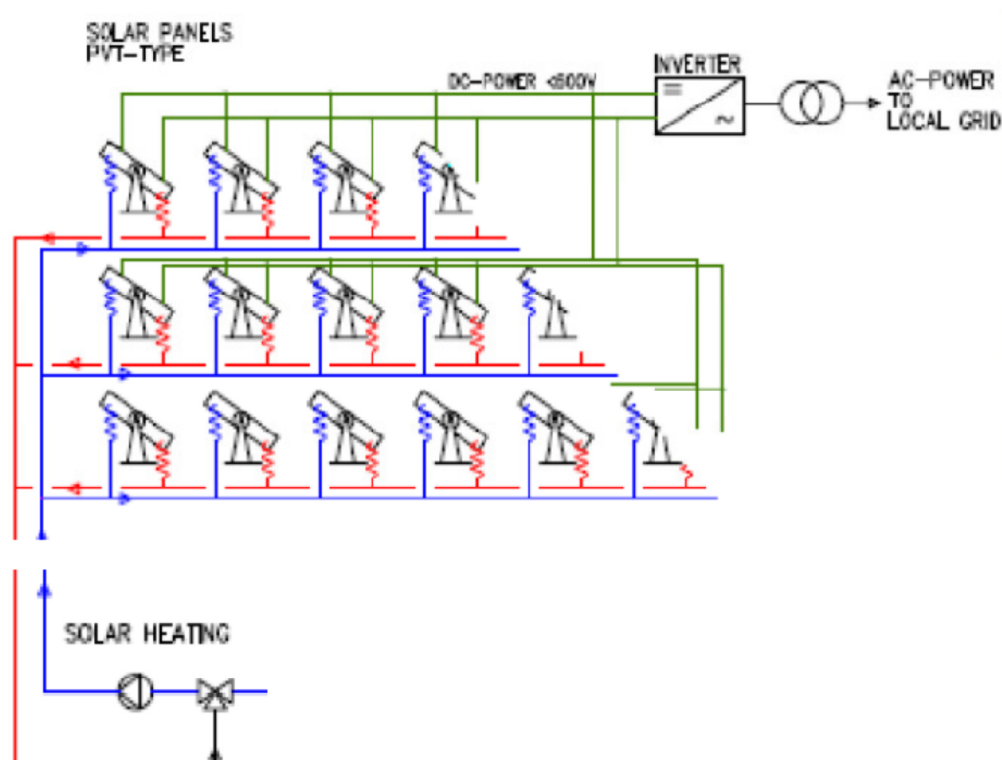
Solfångarna skall vara solföljande omkring en öst-västlig axel. Detta innebär att utbytet ökar med 10-20% och att systemet bli intressantare ur forsknings och undervisnings synpunkt. Beräkning av optimala lutningsvinklar, styrningen av det solföljande systemet och ökat utbyte tack vare solföljning är frågeställningar som lämpar sig att analysera i undervisningen. Figur 7 visar ett foto på den östvästligt uppställda koncentrerande hybridsolfångaren,

som kontinuerligt skall vridas omkring en östvästlig axel till den vinkel som minimerar solstrålningens infallsvinkel mot solfångarens glas.



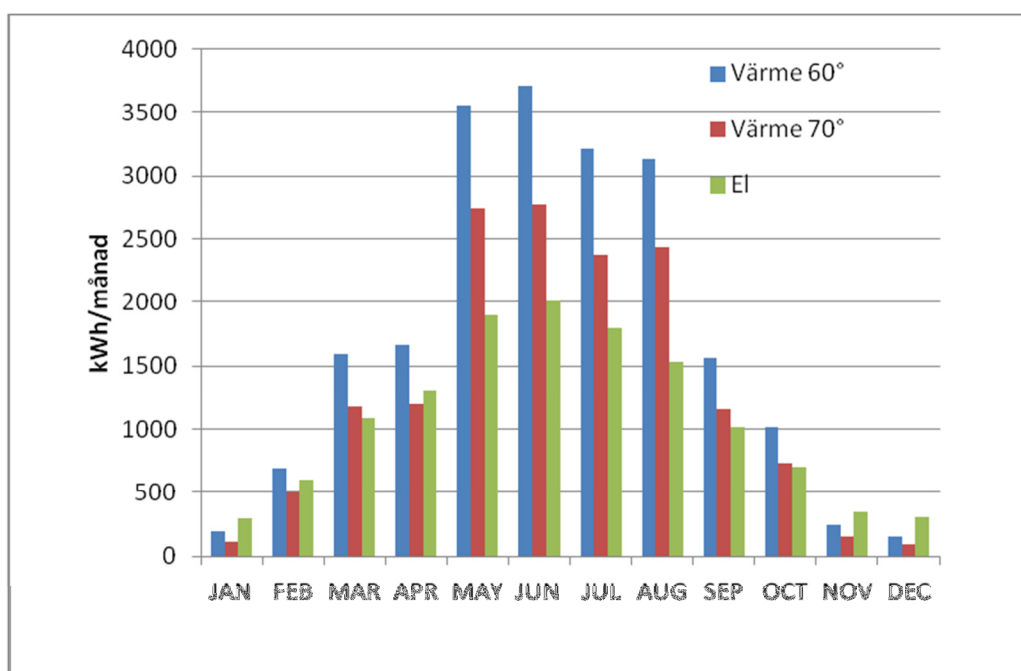
Figur 7. En solföljande prototyp som består av två moduler med en total area of 4,6 m². Bilden visar hur solcellerna speglar sig i reflektorn.

En principlösning av föreslaget system visas i figur 8. Den producerade elen levereras till det lokala elnätet medan värmen levereras till fjärrvärmenätet.



Figur 8. Principlösning av systemet som skall installeras vid Högskolan i Gävle med Blendahybrider som är solföljande omkring en öst-västlig axel.

Det beräknade årliga utbytet från systemet summeras till omkring 10 000 kWh elektrisk energi. Utbytet av värme uppskattas till 20 000 kWh vid 60° och 15 000 kWh vid 70° med en fördelning enligt figur 9. Solfångarens drifttemperatur definieras som medelvärdet av inkommande och utgående temperatur. Elanvändningen i byggnaden uppgår till omkring 20 000 kWh per månad medan elproduktionen från PV-systemet uppgår till 2000 kWh i juni månad. Det innebär att byggnadens stora elbehov för ventilation och klimatkyla medför att den elektriska energin kommer att användas direkt i byggnaden. Den levererade värmen kommer antingen att levereras till en akkumulator eller direkt ut på nätet.

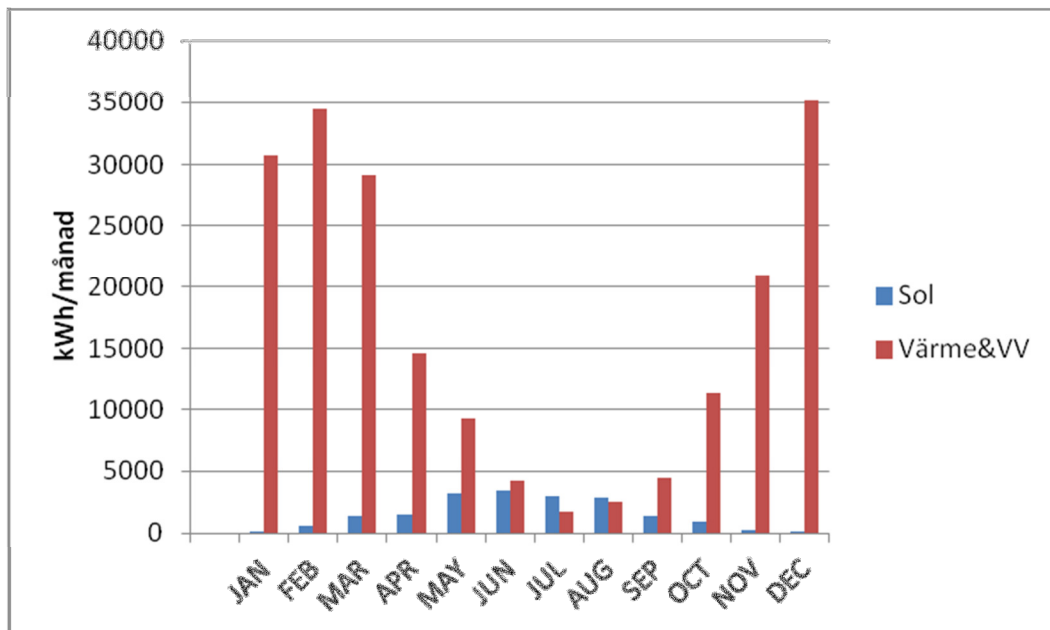


Figur 9. Beräknat utbyte av el och värme vid 60° och 70° medeltemperatur från 110 m² solföljande Blendahybrider. Det summeras årligen till 10 000 kWh elektrisk energi och 15 000-20 000 kWh termisk energi.

Figur 9 visar att fördelningen av levererad solex har en betydligt jämnare årsfördelning än solvärmen. Denna effekt förklaras av att solcellens verkningsgrad är konstant och oberoende av solstrålningens intensitet medan solfångarens verkningsgrad ökar med intensiteten vid konstant drifttemperatur. Solfångarens verkningsgrad under mulna perioder med låg instrålning är mycket låg.

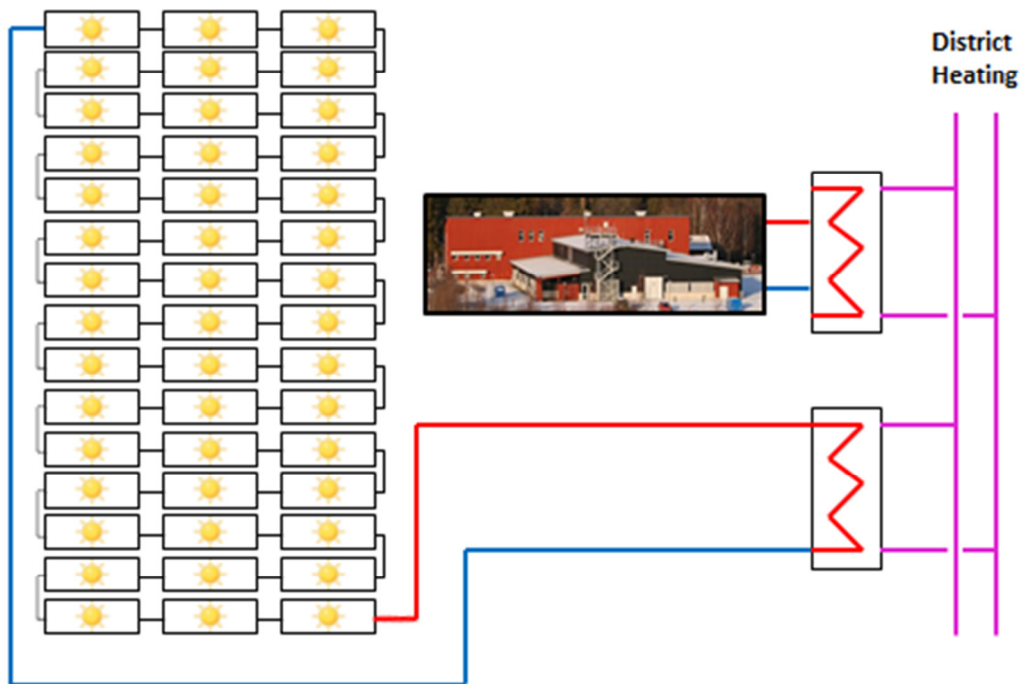
Energiutbytet för alternativa placeringar har beräknats. Elutbytet minskar med 10 procent vid fast lutning vid 30° mot söder. Horisontell placering ger 25 procent lägre och vertikal placering ger 30 procent lägre elutbyte. Värmeutbytet minskar med 15 procent vid fast lutning. Horisontell och vertikal placering ger mindre än halva utbytet i jämförelse med föreslagen solföljande installation. Värmeutbytet är betydligt känsligare för optimal placering än elutbytet.

Figur 10 visar månadsfördelningen av solvärme och behovet av värme och varmvatten i samma figur. Den visar att överskott av solvärme förväntas under juli och augusti månader då det är låg aktivitet i byggnaden och liten förbrukning av varmvatten. Det innebär att en direkt inkoppling, enligt figur 11, av solfångarna på fjärrvärmenätet rekommenderas. En sådan inkoppling innebär att värmetillskottet från solfångarna levereras till fjärrvärmenätet via en värmeväxlare. Detta utgör en enkel och billig systemlösning. Den kräver att ägaren av solfångarna gör en affärsuppgörelse med fjärrvärmebolaget om priset på såld solvärme



Figur 10. Uppskattat behov av värme och varmvatten i den nya laboratoriebyggnaden samt tillskottet från det planerade solenergisystemet.

Denna inkoppling innebär att temperaturerna i fjärrvärmenätet bestämmer temperaturnivån i solfångarna. Den blir då relativt hög och minskar värmeutbytet från solfångarna. Denna problematik bli accentuerad för hybrider som har högre U-värde än en solfångare med selektiv absorbator. Dessutom minskar elutbytet med ökande temperatur hos solcellerna. Elbehovet för pumparna i solfångarkrets och fjärrvärmekrets uppskattas till 5 procent av den totala energi som hybriderna levererar.



Figur 11: Inkoppling av byggnad och solfångarna till fjärrvärmenätet med två olika värmeväxlare.

Alternativt kan solfångarna kopplas mot en ackumulator som förvärmer inkommande kallvatten. Detta system kan uppföras oberoende av fjärrvärmebolagets samtycke och innebär relativt låg drifttemperatur i solfångarkretsen. Systemet blir dyrare än den enkla direktinkopplingen och innebär att fjärrvärmesystemets returtemperatur höjs, vilket är oönskat. Slutsatsen är att i de flesta fall bör alternativ ett med direkt inkoppling förordas. Det uppmätta energiutbytet av el och värme från denna systemlösning för en hybrid blir ett viktigt resultat av projektet.

Solfångarna kan också kopplas in så att de värmer endast returtemperaturen. Detta ger låg drifttemperatur i solfångarna och högt utbyte. Men bör av systemskäl icke användas.

4 Investeringskostnader

Investeringskostnadernas fördelning över systemets olika delar i tusentalskronor från en preliminär offert presenteras i tabell 1.

Tabell 1. Investeringskostnader i tusentals kronor

Del av system	Investeringskostnad
Moduler 45 st, 110 m ²	346 kkr
Installation, solföljare, VVS, EL	534 kkr
Styr och reglering	247 kkr
Takarbete och genomföringar	127 kkr
Totalt	1250 kkr

Det innebär att den totala investeringen för systemet omfattande 110 m² solfångare motsvarande 11 kWp elektrisk effekt summeras till 1250 kkr. Det beräknade utbytet är 10 000 kWh el och 15000-20 000 kWh värme per år.

Om kostnaderna fördelas på 50 procent solel och 50 procent solvärme fås den specifika investeringen till 60 kr per årligt levererad kWh el och 30 kr per årlig levererad kWh solvärme. Om en annuitet på 0,05 antas fås kapitalkostnaden för el till 3 kr/kWh och kapitalkostnaden för värme till 1,50 kr/kWh. Systemet kan ersättas av 70 m² PV moduler med 15 procent verkningsgrad motsvarande 11 kWp och 70 m² plana solfångare.

En analys av kostnaderna visar att kostnaderna för modulerna med hybridabsorbator är relativt låg. Kostnaderna för installationen är dock alltför hög. Den totala systemkostnaden bör, i likhet med ett konventionellt solcellsystem, inte överstiga den dubbla modulkostnaden. Det innebär en maximal total investeringskostnad på 700 kkr för systemet och halverade kapitalkostnader för den levererade energin.

De höga investeringskostnaderna förklaras bl.a. av att:

- Det är det första demonstrationssystem som uppförs
- Systemet är alltför litet så den relativa systemkostnaden för solvärmeinkopplingen blir mycket hög
- Systemet installeras i efterhand och inte när byggnaden uppförs.

Höga kostnader för inkoppling av solvärmesystem i fjärrvärmenät är ett generellt problem. Det innebär att så stor solfångararea som möjligt bör anslutas till en undercentral.

5 Affärsmodeller

Det finns idag tre principiellt olika affärsmodeller för användning eller försäljning av solel:

- PV-systemet kopplas in innanför elmätaren och den levererade elen från PV-systemet används för att spara köpt elektrisk energi. PV-systemet bromsar elmätaren. Värdet av 1 kWh sparad el fås som summan av energipris, energiskatt och moms samt överföringsavgift.
- Produktionen eller överskottet från PV-systemet säljs på marknadens villkor. Den totala ersättningen fås som summan av spotpris, kompensation för minskande nätförluster samt elcertifikat.
- Produktionen från PV-system säljs till elhandlare som erbjuder en förmånlig feed-inn tariff. I Sverige erbjuder Telge Energi 1,50 kr/kWh för solel från system som uppförts med investeringsstöd och 2,50 kr/kWh för solel från system som uppförts utan investeringsstöd.

I tabell 2 uppskattas värdet av betalningen för en kWh solel för dessa tre affärsmodeller

Tabell 2. Ersättning för producerad solel.

Affärsmodell	Besparing	Ersättning i öre/kWh	Kommentar
Elbesparing/ Nettodebitering	Energi, skatt, moms, överföringsavgift	120 öre	Robust system
Elförsäljning	Energi-spotpris, nätkompensation, elcertifikat	80 öre	Kräver viss administration
Inmatningstariff för solel	Enligt uppgörelse	150-250 öre	Kräver subvention

Det bör understrykas att den första modellen långsiktigt är förmånligast och säkrast för ägaren av PV-systemet, eftersom man då är oberoende av en uppgörelse med nätägare och elsäljare. Det kräver dock att överskott från PV-systemet skall undvikas. Om inte tillskottet från solcellsystemet alltid understiger byggnadens elbehov förutsätter i praktiken detta system att månadsvis nettodebitering används vid avräkningen. Produktionen av solel i systemet vid Högsolan är så pass låg i förhållande till användningen att den levererade energin alltid kommer att nyttjas direkt av byggnadens elsystem. I dagsläget är en kompressor kylmaskin installerad för kylning av fastigheten. Vid eventuell framtida installation av fjärrkyla kommer överproduktion att förekomma i systemet.

Den solvärme som levereras till fjärrvärmenätet kommer varje månad att räknas av från den köpta värmen. Det innebär alltså att månadsvis nettodebitering tillämpas. För att undvika att alltför stora solvärmesystem kopplas in betalas ingen ersättning ut för ett eventuellt överskott som uppkommer under månaden.

Tabell 3. Ersättning för producerad solvärme.

Affärsmodell	Besparing	Ersättning i öre/kWh	Kommentar
Värmebesparing/ Nettodebitering	Moms, överföringsavgift	50-80 öre	Robust system

6 Diskussion

En förstudie har genomförts för att uppföra 110 m² hybrider från företaget Solarus på detta platta taket på Högskolans nya laboratorium. Systemet har beviljats investeringsbidrag och fastighetsägaren Norrporten och hyresgästen Högskolan i Gävle är positivt intresserade av att uppföra systemet.

Uppförande av systemet kommer att vara viktigt ur flera synpunkter.

- Det är angeläget att Solarus nya hybridabsorbator med laminerade solceller provas i ett stort system.
- Det är intressant att prova det nya enaxligt solföljande systemet vilket har visst nyhetsvärde
- Det installerade systemet får stor användning inom utbildningen vid Högskolan. Systemets prestanda skall presenteras på ett lättillgängligt sätt.
- Systemet blir viktigt ur forskningssynpunkt om Högskolan får en industriforskarsskola med Solarus som en av deltagarna.
- Den höga investeringskostnaden är i hög beroende på att detta är det första demonstrationssystemet som uppförs och beroende på att arean är relativt liten.

Hybridsystemet som planeras att uppföras vid Högskolan i Gävle är sannolikt Europas största system för samtidig leverans av el och värme vid relativt hög temperatur. Det är också det första hybridsystem som Solarus levererar som är större än ett vanligt villasystem. Men trots detta är systemet för litet för att kunna kopplas in mot fjärrvärmesystemet till konkurrenskraftiga kostnader. Investeringskostnaden för solvärmeundercentralen bör högst uppgå till 1000 kr per kvadratmeter inkopplad solfångare. Det motsvarar 3,5 kr per årligt levererad kWh om solfångaren årligen ger 300 kWh/m². Vid en antagen annuitetsfaktor av $a=0,06$ resulterar det i en energikostnad på 20 öre/kWh.

Om kostnaderna för solundercentral och inkoppling i fjärrvärmenätet summeras till 200 000 kronor måste alltså minst 200 m² solfångare kopplas in i samma undercentral om ovanstående målsättning skall uppnås.

7 Referenser

1. Gomes J., Stenlund N., Larsson S., Karlsson B., Utveckling av Hybrid MaReCo Solfångare, Elforskrapport 11:14, 2011.
2. Adsten M., Helgesson A., Karlsson B., Evaluation of CPC-collector designs for stand-alone, roof- or wall installation. *Solar Energy*, 79, p 638-647, 2005.
3. Nilsson J, Håkansson H, Karlsson B, Electrical and thermal characterization of a PV-CPC hybrids, *Solar Energy*, Vol. 81 (7)2007
4. Helgesson A., Krohn P., Karlsson B., Development of a MaReCo-Hybrid for Hammarby Sjöstad, Stockholm, *Contribution to Eurosun Solar Energy Conference in Freiburg, June 2004.*