

## SoIEI 03-07 etapp 1

Tillämpat program för solcellssystem  
Slutrappport etapp 1

Elforsk rapport 06:06



Omslagsbild NCC:s fastighet Gynnan, Hammarby Sjöstad, Stockholm.  
Foto Ulf Malm, Ångströmlaboratoriet

# SolEI 03-07 etapp I

Tillämpat program för solcellssystem

Slutrapport etapp I



Energimyndigheten, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC, Vattenfall, E.ON, ABB Corporate Research, Skellefteå Kraft, Göteborg Energi, Brostaden, Fastighetskontoret i Västerås, Gällivare Photovoltaic, Mälarenergi, Jämtkraft, Sollentuna Energi och Falkenberg Energi finansierar SolEI 03-07 etapp I.





## Förord

Under framförallt den senare delen av denna programetapp har det svenska intresset för solceller fått ett kraftigt uppsving i och med att ett investeringsstöd för solcellsinstallationer i offentliga byggnader införts. Solceller har uppmärksammats i media och ett flertal nya aktörer har visat intresse för solcellsfrågor. Utvecklingen på den svenska marknaden är dock blygsam jämfört med vad som hänt på världsmarknaden. Under de senaste åren har solcellsmarknaden tillhört en av de kraftigast växande i världen.

Denna programetapp har också inneburit en utveckling av det tillämpade svenska solcellsprogrammet SolEl 03-07. Programmets finansiärer, och därmed verksamhetsinriktningen, har breddats i och med att ett flertal bygg- och fastighetsintressenter har kommit in i programmet. Större resurser har också lagts på olika typer av informationsverksamhet, särskilt insatser riktade mot arkitekt- och byggsektorn. Resultaten från programmet har gjorts tillgängliga bland annat genom rapporter och nyhetsbrev samt en ny och aktivt använd hemsida. Seminarier och workshops har också anordnats, med så stort deltagarintresse att alla inte givits möjlighet att delta. Rapporten du håller i din hand summerar resultat och slutsatser från SolEl 03-07 etapp I. Mer information och fullständiga rapporter finns att hämta på [www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel).

Verksamheten i denna etapp har bidragit till att den svenska utvecklingen på solcellsområdet har drivits framåt. Vi har nu en bättre kunskap vad gäller nätanslutningsfrågan och vilka hinder och möjligheter som finns för soleaförsäljning till elnätet och möjligheter till standardisering av småskaliga nätanslutningar. Två förstudier av solcellsinstallationer på offentliga byggnader har genomförts, och dessa kan till stor del generaliseras och ge information och inspiration inför installationer i andra regioner. En bok om solenergiarkitektur riktad mot svenska arkitekter och stadsplanerare har tagits fram och utgör ett viktigt verktyg för att nå denna centrala målgrupp för att få en ökad användning av solceller i Sverige. Arkitekt- och byggsektorn har också bearbetats med en rad andra informationsprojekt såsom seminarier. Det koncept för koncentrerande hybridmoduler med samtidig produktion av el och värme som tidigare utvecklats inom programmet har tagits från testfas till demonstrationsfas. Arbetet med att följa produktionen i svenska nätanslutna solcellsanläggningar har fortgått från tidigare period och det projekteringsverktyg för solcellsinstallationer som tagits fram i en tidigare etapp har vidareutvecklats.

Programstyrelsen tackar för förtroendet från finansiärerna och hoppas att den nyligen startade SolEl 03-07 etapp II ska leda till minst lika mycket spännande resultat som den nu avslutade etappen. Vi vill också rikta ett stort tack till alla som bidragit till verksamheten.

Stockholm mars 2006

Programstyrelsen genom Monika Adsten, programledare SolEl 03-07



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1	BUDGET, VISION OCH MÅL .....	1
1.2	INTRESSEENTER.....	1
1.3	ORGANISATION .....	2
<b>2</b>	<b>UTVECKLINGSLÄGET FÖR SOLCELLSTEKNIKEN</b> .....	<b>3</b>
2.1	STATUSRAPPORT OM TEKNIK- OCH MARKNADSUTVECKLINGEN PÅ SOLCELLSOMRÅDET 2005 .....	3
2.2	INTERNATIONELL KONFERENSBEVAKNING .....	13
<b>3</b>	<b>INTERNATIONELLT SAMARBETE INOM IEA PV POWER SYSTEMS PROGRAMME</b> .....	<b>15</b>
3.1	INLEDNING .....	15
3.2	TASK 1 – "EXCHANGE AND DISSEMINATION OF INFORMATION, ON PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS" .....	15
3.3	TASK 2 – "PERFORMANCE, RELIABILITY AND ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS" .....	18
3.4	TASK 3 – "USE OF PV SYSTEMS IN STAND-ALONE AND ISLAND APPLICATIONS", .....	19
3.5	TASK 10 - "URBAN-SCALE PV APPLICATIONS" .....	23
<b>4</b>	<b>UTVÄRDERINGAR OCH DRIFTUPPFÖLJNING AV SVENSKA SOLCELLSSYSTEM</b> .....	<b>25</b>
4.1	DRIFTUPPFÖLJNING AV SVENSKA NÄTANSLUTNA SOLCELLSANLÄGGNINGAR .....	25
4.2	UTVÄRDERING AV MARECO-HYBRID I HAMMARBY SJÖSTAD .....	28
<b>5</b>	<b>SYSTEMSTUDIER</b> .....	<b>31</b>
5.1	ATT BEFRÄMJA SOLCELLSTEKNIKEN I SVERIGE: VARFÖR, HUR OCH HUR MYCKET? .....	31
<b>6</b>	<b>DEMONSTRATION AV INTRESSANTA TILLÄMPNINGAR</b> .....	<b>35</b>
6.1	VIDAREUTVECKLING AV ÖVERLIGGANDE REFLEKTORER FÖR FRISTÅENDE SOLCELLSYSTEM FÖR ÅRSTIDSUTJÄMNING .....	35
6.2	INDUSTRIELL UTVECKLING AV HYBRIDABSORBATOR VID TEXSUN OCH GPV .....	39
<b>7</b>	<b>BYGGNADSINTEGRATION AV NÄTANSLUTNA SYSTEM</b> .....	<b>42</b>
7.1	SOLCELLER I MALMÖ STAD- FÖRSTUDIE .....	42
7.2	SOLEN SKINER ALLTID PÅ ULLEVI.....	46
<b>8</b>	<b>NÄTANSLUTNINGSFRÅGOR</b> .....	<b>49</b>
8.1	STANDARDISERING AV KOSTNADSEFFEKTIVA NÄTANSLUTNA SOLCELLSYSTEM .....	49
8.2	NÄTANSLUTNING AV SMÅSKALIGA SOLCELLSYSTEM FÖR ELFÖRSÄLJNING - EN DEMONSTRATIONSANLÄGGNING .....	53
<b>9</b>	<b>INFORMATIONSSPRIDNING OCH UTBILDNING</b> .....	<b>55</b>
9.1	INFORMATION FRÅN SOLEL 03-07 ETAPP I .....	55
9.2	SAMLAD INFORMATIONSSPRIDNING .....	55
9.3	SOLCELL.NU - ETT WEBBASERAT PROJEKTERINGSHJÄLPMEDEL FÖR INTEGRERING AV SOLCELLER I BYGGNADER, FAS II .....	56
9.4	GENOMFÖRANDET AV EN SERIE EXAMENSARBETEN (MAGISTERUPPSATSER) INOM SOLEL-OMRÅDET UNDER 2005 .....	60
9.5	AKTIV SOLENERGI I HUS OCH STADSBYGGNAD – SAMTIDA PERSPEKTIV OCH FRAMTIDA MÖJLIGHETER .....	63
9.6	SOLEL 03-07 SEMINARIESERIE OM SOLCELLER I ARKITEKTUR .....	64
9.7	ANPASSNING AV INTERNETBASERAD SOLELKURS FÖR ATT UTVECKLA ROT- PROGRAMMET .....	67

<b>10</b>	<b>MÅLUPPFYLLELSE OCH FORTSATT ARBETE .....</b>	<b>70</b>
10.1	MÅLUPPFYLLELSE.....	70
10.2	FORTSATT VERKSAMHET .....	71
<b>11</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>73</b>

## Sammanfattning

SoleI 03-07 etapp I har varit ett tillämpat forsknings- och utvecklingsprogram avseende solcellssystem som genomförts från 2003 till 2005. Programmets mål har varit att:

- Öka kompetensen inom högskola och näringsliv om solcellssystem som energikälla och som byggnadskomponent
- Ur kostnadssynvinkel och användbarhet testa, utveckla och demonstrera intressanta tillämpningar för fristående och nätanslutna system samt sprida kännedom om dessa
- Identifiera, studera och tillgängliggöra kunskap om systemrelaterade frågeställningar med fokus på möjligheter till reduktion av totala systemkostnaden

Prioriterade områden har varit byggnadsanknuten soleI och olika typer av informationsaktiviteter. Totalt har ett 25-tal delaktiviteter beställts och genomförts under program-etappen. Många av dem har varit etapper i projekt som pågått under hela programmet. Slutrapporten summerar resultat och slutsatser indelat i åtta delområden. För mer detaljerad information finns publikationer med anknytning till SoleI 03-07 listade i slutrapportens referensförteckning. Slutrapporterna finns som regel att ladda ned från programmets hemsida, [www.elforsk.se/soleI](http://www.elforsk.se/soleI). En andra etapp av programmet har inletts och denna löper t.o.m. december 2007. Utvärdering för hela programperioden, 2003-2007, kommer att göras i slutet av 2007 efter att den andra etappen har avslutats.

## Resultat från programmets delområden

### *Utvecklingsläget för solcellstekniken*

Dynamiskt är det ord som bäst beskriver solcellsområdet i dagsläget enligt Lars Stolt [26]. Detta tillstånd har skapats av följande faktorer:

- Mycket snabbt växande världsmarknad – 40% per år under åtta år
- Total marknad i världen uppemot 100 miljarder kronor per år
- Brist på renat kisel till tillverkningen av kiselceller som har mer än 90% marknadsandel
- Nya tekniker – tunnfilm – på väg att bli kommersiella

Den viktigaste motorn för den snabba marknadstillväxten är inmatningslagen i Tyskland. Den har gjort användningen av solceller mycket lönsam och lett till ett stort antal, från början små, men nu allt fler stora solcellsanläggningar installeras. Det finns också fler europeiska länder som har, eller är på gång att införa, liknande bestämmelser. Dessutom sker flera initiativ i USA som leder till att installationstakten där ökar. I Japan är subventionerna på väg bort men den egna marknaden, som är världens näst största, är idag så gott som självgående.

Bristen på kisel är den faktor som idag begränsar marknadstillväxten. Den förväntas därför bli långsammare åtminstone 2005 och 2006. Investeringar sker i produktion av renat kisel men det tar tid innan tillgången har hunnit ikapp efterfrågan. Det kommer att ta minst två år, men efter 3-4 år är bristsituationen sannolikt bortbyggd. Idag motiverar bristen på kisel den tydliga utvecklingstrenden mot tunnare kiselskivor och högre verk-

ningsgrader. Den har också betytt ett ökat intresse för nya tekniker, frågan är bara hur snabbt dessa kan ta betydande marknadsandelar. De tekniker som är redo för en marknadsintroduktion har dock ett gyllene läge nu.

De mest intressanta nyetableringarna är med tunnfilmsteknikerna CdTe och CIGS. First Solar som är det största CdTe-företaget planerar att bygga ut produktionskapaciteten till 40 MW/år 2006 och 75 MW/år 2007. Würth Solar har tagit beslut om att satsa 55 miljoner euro in en 15 MW produktionsanläggning som skall stå klar 2007. Detta kommer inte att röra kiseldominansen på en marknad som totalt kommer att röra sig om 1500-2000 MW men är stora investeringar i de första riktigt kommersiella stegen efter pilotstadiet.

### ***Internationell konferensbevakning***

Under denna programetapp har de internationella konferenserna 19th samt 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition bevakats.

### ***Internationellt samarbete inom IEA PV Power Systems Program***

IEA PV Power Systems Program (PVPS) är ett samarbete inom IEA med medverkan från ett 20-tal länder. Uppgiften för PVPS är att ”förstärka den internationella samverkan för att bidra till att solcellsproducerad el blir en betydande framtida förnyelsebar energikälla”. IEA-samarbetet är mycket viktigt för att följa den internationella utvecklingen inom området på ett kostnadseffektivt sätt. Under Solel 03-07 etapp I finansierades de deltagande svenska experterna av programmet (med undantag av deltagandet i task 9 om solel i utvecklingsländer). Medlemsavgift samt deltagande i exekutivkommittén finansierades av Energimyndigheten. Från och med juli 2005 finansieras hela IEA-arbetet inom solcellsområdet av Energimyndigheten.

De viktigaste resultaten för *Task 1 "Exchange and dissemination of information on PV power systems"* under Solel 03-07:s verksamhetsperiod utgörs av årliga sammanställningar av nationella och internationella trender inom solcellsområdet, publicering och distribution av två nummer per år av nyhetsbrevet PV Power, utveckling och underhåll av en officiell hemsida för IEA PVPS ([www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)).

*Task 2 "Performance, reliability and analysis of PV installations"* hanterar frågor som rör elproduktion, tillförlitlighet, kostnader och skötsel av solcellsanläggningar. En internationell databas har skapats med anläggningsbeskrivningar och driftdata från ett stort antal anläggningar. Det svenska bidraget i det internationella arbetet baseras därför på resultaten från Solel 03-07:s driftuppföljning av svenska nätaslutna solcellsanläggningar.

*Task 3 "Use of PV power systems in stand-alone and island applications"* [15] har fokuserat på tekniska rekommendationer och kvalitetssäkring för att förbättra den tekniska kvaliteten och kostnadseffektiviteten hos fristående system. Denna task har nu avslutats men delar av frågeställningarna studeras vidare i en ny task.

*Task 10 "Urban scale PV-applications"*- Byggnadsanknuten solel har under ett flertal år varit ett fokusområde inom IEA PVPS. Efter att ha studerat tekniska och arkitekto-

niska frågor under flera år har man nu utvidgad arbetet så att även frågor som ekonomiska och institutionella barriärer, stadsplanering, planerings- och projekteringsfrågor samt information/informationsspridning bearbetas.

### ***Utvärderingar***

Elproduktionsdata från ett tjugotal svenska nätanslutna anläggningar samlas in och läggs tillgängliga i en databas via Elforsks hemsida [www.elforsk.se/solenergi](http://www.elforsk.se/solenergi). Databasen innehåller också beskrivningar av systemen och foton. Driftinformationen kan användas för att analysera frågor som tillgänglighetsgrad, vanliga felorsaker och systemfel.

I *Utvärdering av MaReCo-hybrid i Hammarby Sjöstad* [2] har en demonstrationsanläggning bestående av 30 m<sup>2</sup> koncentrerande hybridmoduler med samtidig produktion av el och värme uppförts i Hammarby Sjöstad, Stockholm. Modultypen har delvis utvecklats inom tidigare programetapper. Simuleringar och mindre testinstallationer har visat på möjligheter till el- och värmeproduktion till mycket låga kostnader. På grund av problem med att få modulerna installerade efter leveransen uppstod materialproblem i den så kallade hybridabsorbatorn i demonstrationsanläggningen. I och med att solvärmedelen av modulerna inte var inkopplad uppstod termiska rörelser som till slut bröt kontakten mellan solcellerna på grund av materialutmattning. Projektet fortsätter nu i den nya programetappen och absorbatorerna kommer att bytas ut mot en mer tålig konstruktion.

### **Systemstudier**

Under våren 2004 genomförde Energimyndigheten studien ”El från solen- energi & industri i Sverige” på uppdrag av Näringsdepartementet. En delvis överlappande studie hade planerats inom ramen för SolEl-programmet, varför ett samarbete initierades. En delstudie i Energimyndighetens uppdrag, *Att befrämja solcellstekniken i Sverige: Varför, hur och hur mycket?* [12] genomfördes inom ramen för SolEl 03-07. I rapporten beskrivs stödprogram i andra länder och en analys av för och nackdelar med olika tänkbara svenska stödåtgärder görs. Studien visar att Sverige lägger ned relativt stora resurser på forskning, men att denna satsning inte kombineras med marknadsskapande åtgärder. Det finns ett fåtal demonstrationsanläggningar, men detta är inte tillräckligt för att få en stabil och bred aktörsgrupp. Denna studie gjordes innan det statliga investeringsstödet för solcellsinstallationer i offentliga byggnader infördes.

### ***Demonstration av intressanta tillämpningar***

Solceller skulle kunna användas för att underhållsladda batterier för att manövrera olika komponenter i elnätet. Ett problem med detta är dock att elproduktionen från solceller är låg vintertid. I *Vidareutveckling av överliggande reflektorer för fristående solcellsystem för årstidsutjämning* [16] studeras möjligheten att öka utbytet vintertid genom en reflektorkonstruktion. Slutsatsen av projektet är att reflektorn bidrar till en ökad elproduktion vintertid, men att fältförsöken visar att det ändå uppstått andra väderrelaterade problem med att hålla spänningsnivån tillräckligt hög.

Ett sätt att reducera kostnaden för solel är att tillverka moduler som producerar både el och värme. På så sätt kyls också solcellerna vilket påverkar solcellsprestandan positivt.

I projektet *Industriell utveckling av hybridabsorbator* har ett koncept för absorbator som tillverkar både el och värme tagits fram. Projektet visar att det är möjligt att industriellt tillverka en sådan produkt. Initiala tester visar på positivt resultat men långtidstester krävs för att få mer information om produktens långtidsprestanda och hållbarhet. Genom projektet har också ytterligare en möjlig tillämpning identifierats, där hybridabsorbatorn kombineras med en luftvärmepump.

### ***Byggnadsintegration av nätanslutna system***

Malmö kommun är bland de främsta i Sverige när det gäller satsningar på solenergiteknik. I *Solceller i Malmö stad- förstudie* [21] identifieras 12 offentliga byggnader som lämpar sig för solcellsinstallation. För varje objekt redovisas uppskattad investeringskostnad, förväntad solelproduktion, arkitektoniska aspekter samt förutsättningar vad gäller geometri, omgivning och byggteknik. Studien visar att med det 70%-iga investeringsbidraget blir energikostnaden mellan 1,6 och 4,2 kr/kWh. Malmö kommer dock att gå vidare och uppföra totalt drygt 1000 m<sup>2</sup> solceller på några offentliga byggnader för att ge miljövänlig el till staden och visa att kommunen satsar framåt på ett hållbart samhälle.

I Göteborg har en förstudie av möjligheterna för solcellsinstallation på stadion Ullevi gjorts. I utredningen *Solen skiner alltid på Ullevi* [25] studeras flera möjliga placeringar för solceller utifrån möjligheter till elproduktion, marknadsföring och arkitektonisk integration. Beräkningar av investeringskostnader, studier av byggtekniska förutsättningar och utredning av finansieringsalternativ har också gjorts. Utifrån utredningens resultat har en placering på ett tak inne på arenan valts ut, och en lokal intressegrupp har gått vidare för att närmare utreda förutsättningarna för en installation.

### ***Nätanslutningsfrågor***

Standardisering är viktig för att uppnå kostnadseffektiva nätanslutna solcellsanläggningar. I projektet *Standardisering av kostnadseffektiva nätanslutna solcellssystem* [3] studeras förutsättningarna för solcellsinstallation enligt gällande krav, regler och lagar. Olika tekniska problem och normer studeras, och ett antal riktlinjer och förslag till förbättring och förenkling ges.

För att praktiskt ta reda på förutsättningarna för att uppföra ett solcellssystem där all elproduktion säljs till elmarknaden byggdes ett demonstrationssystem upp inom ramen för projektet *Nätanslutning av småskaliga solcellssystem för elförsäljning* [27]. Anläggningen omfattar 30 m<sup>2</sup> och finns vid ABB Corporate Research i Västerås. Projektet visar att det inte finns några tekniska hinder för att bygga en anläggning där all el säljs till elmarknaden. Kostnaden för inmatningsabonnemanget är dock större än intäkterna från försäljning av el och gröna certifikat. Denna fråga kommer att studeras vidare inom ramen för SolEl-programmet.

### ***Informationsspridning och utbildning***

Under denna programetapp har satsningen på informationsaktiviteter varit större än för tidigare etapper. En ny hemsida för programmet har tagits fram, två större seminarier har hållits och tre populärvetenskapliga nyhetsbrev har producerats. I samarbete med Energimyndigheten har också ett informationspaket om solceller tagits fram för att in-

formera viktiga aktörer om investeringsstödet för solceller. Ett flertal informationsinriktade projekt har också initierats, både från programstyrelsen och genom de årliga utlysningarna.

För att informera aktörer som tidigare inte visat intresse för solceller har en s.k. *SolEl-Roadshow* initierats av programstyrelsen. Detta är seminarier om solceller i byggnader som hålls på olika platser i landet. Under hösten 2005 genomfördes det första seminariet i Göteborg, och ytterligare seminarier kommer att hållas under nästa period av programmet.

Under föregående programperiod utvecklades projekteringsverktyget Solcell.nu. Detta har under innevarande programperiod vidareutvecklats och uppdaterats i projektet *Solcell.nu - ett webbaserat projekteringshjälpmedel för integrering av solceller i byggnader, fas II*. Ett omfattande arbete gjordes också för att sprida kunskap om verktyget i bygg- och installationssektorn. Sidan är nu uppbyggd som en portal om solceller, där projekteringsverktyget är en del.

Under 2005 delfinansierade programmet två examensarbeten vid högskolan i Dalarna inom ramen för projektet *Genomförandet av en serie examensarbeten (magisteruppsatser) inom solel-området under 2005* [23]. Examensarbetena genomfördes av studenter från det internationella magisterprogrammet European Solar Engineering School. En viktig anledning till detta projekt är att möjliggöra för Högskolan Dalarna att upprätthålla en kompetens inom SolEl-området.

Arkitekter är en viktig målgrupp för information om solceller. Under tidigare programperiod inleddes ett arbete med att utarbeta en bok om arkitektur med byggnadsanknutna solceller. Detta arbete färdigställdes under denna programetapp och skriften *Aktiv solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter* [17] trycktes upp 2003. I skriften behandlas såväl detaljer på byggnadsnivå som planering och samhällsbyggande. Förutsättningarna för aktiv solenergi i styrmedel i form av normer och regelverk, miljöpropositionen och byggsektorns åtaganden beskrivs. Internationella och nordiska inspirationsexempel kombineras med analyser av förutsättningar i olika stadsplanesammanhang. Skriften säljs via Byggförlaget och Arkus och har fått ett mycket positivt mottagande. Ett nytryck på ytterligare 1000 exemplar gjordes under 2005 och boken inkluderades i det informationspaket om solceller som togs fram i samarbete med Energimyndigheten.

Som en uppföljning till boken initierades en *Seminarieserie om solceller i arkitektur*. Målsättningen med seminarieserien var att sprida information och väcka intresse kring solceller som byggdel och som material i stadsbilden. Målgrupp var de aktörsgrupper som inom planering och byggbransch kan komma att bli viktiga för solceller i nätan slutning. Serien bestod av tre seminarier, varav SolEl-programmet delfinansierade två. Seminarieserien engagerade drygt 160 deltagare. Bland föredragshållare och åhörare fanns stadsplanerare, arkitekter, byggkonsulter, entreprenörer, byggherrar, forskare, solcellsproducenter och byggdelstillverkare och företrädare för länsstyrelser runt om i landet, Boverket, Energimyndigheten, Miljöförvaltningen i Stockholms Stad och Byförnyelsekontoret i Köpenhamn.

I en tidigare programperiod utvecklades en universitetskurs i solcellsteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Denna vidareutvecklades under denna programperiod i projektet *Anpassning av Internetbaserad solelkurs för att utveckla ROT-programmet*, för att även passa konsulter, energirådgivare och liknande. Kursen gavs som en internetbaserad utbildning och samlade ett 15-tal deltagare under 2004. Under 2005 har kursen givits med löpande kursstart och ytterligare ett antal deltagare har genomfört utbildningen.

---

## Summary

SolEl 03-07 phase 1 is an applied research and development programme working with photovoltaics in Sweden. This first phase of the programme has been in operation between 2003 and 2005. The main programme goals are to:

- increase competence levels of solar PV systems in higher education and industry
- test, develop and demonstrate applications for stand-alone and grid connected systems
- identify, study and provide knowledge to interest groups on system related issues

This phase of the programme has had an increased focus on building integrated PV-applications and communication. During this phase some 25 different projects have been running. This final report summarizes the activities within the programme divided into the different thematic areas of the programme. Detailed information is generally found in the project reports (in Swedish) that are downloadable from [www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel). A second phase of SolEl 03-07 has been launched and will be concluded in 2007. An evaluation of the whole programme period 2003-2007 will be carried out at the end of 2007.

### Results from thematic areas

#### *State of development of PV technology*

The worldwide PV market is considered dynamic at the moment, according to Lars Stolt [74], due to:

- A market in rapid economic growth, 40% per year for the last 8 years.
- A total market of 100 billion SEK per year.
- A shortage of high quality silicon for silicon solar cell manufacturing with more than 90% share of the market.
- New technologies, for example thin film solar cells about to become commercial

The main driver for the rapid market growth is the German feed in tariff. This has led to a large number of cost efficient PV installations, first mostly small scale installations but now also large scale power plants. Some other European countries also either have initiated or are about to initiate similar support strategies for PV. There are also some initiatives in USA. Japan on the other hand is phasing out support systems, since the market, which is the second largest in the world, is now basically self supporting.

The limiting factor of the market growth is the shortage of silicon feedstock. The market growth is therefore projected to slow down at least during 2005 and 2006. Investments in production of silicon feedstock are made, but at the moment demand is increasing faster than the supply. This situation is projected to continue for the next 3-4 years. The silicon shortage leads to a development trend towards solar cells with thinner silicon wafers, higher efficiencies and new technologies. The most interesting new technologies are CdTe (Cadmium Telluride) and CIGS (Copper Indium Gallium Selenide). The main CdTe-company, First Solar, are planning to increase their production capacity to

40 MW/year 2006 and 75 MW/year 2007. Würth Solar have decided to invest 55 M€ in a 15 MW CdTe production facility to be ready in 2007. This will not particularly affect the silicon dominance on a 1500-2000 MW market, but they are important investments on the road from pilot plant to commercialisation.

#### ***International conference surveillance***

Two large international conferences have been monitored during this programme period, 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.

#### ***International cooperation within IEA PV Power Systems Programme***

The IEA PV Power Systems Programme (PVPS) is a collaboration featuring some 20 countries. The main programme goal is to strengthen the international collaboration in order to contribute to PV produced electricity becoming an important future renewable energy source. The IEA-collaboration is an important means to cost efficiently follow the international development within the area. During the first phase of Solel 03-07 the Swedish experts participating in PVPS were funded within the program (except for Task 9, PV in developing countries, which is funded by SIDA). Fee to common fund and participation in the executive committee were funded by the Swedish Energy Agency. From July 2005 the whole participation in PVPS is funded by the Swedish Energy Agency.

The main results from Task 1, *Exchange and dissemination of information on PV power systems*, are the annual synthesis of national and international trends within the PV area, publication and distribution of the biannual newsletter PV Power, building and maintaining an official homepage for IEA PVPS ([www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)).

*Task 2, "Performance, reliability and analysis of PV installations"* are working with issues on electricity production, availability, investment costs and maintenance of PV installations. An international database with descriptions of installations and production data from a large number of international installations has been created. The Swedish contribution to the task is based on a project where electricity production data from grid connected Swedish PV installations.

*Task 3, Use of PV power systems in stand-alone and island applications* [15], was mainly focussed on technical recommendations and quality assurance to improve the technical quality and cost efficiency of stand-alone systems. This task has now been concluded, but a new task has been formed to continue working with issues related to the work in Task 3.

*Task 10, Urban scale PV-applications-* Building integrated PV-applications has been an important area in IEA PVPS for many years. Two previous tasks have been studying technical and architectural issues for several years, and the present task has been broadened to also include issues like city planning, financial- and institutional barriers.

#### ***Evaluations***

*"Electricity production data from grid connected Swedish PV installations"* are collected and made available in a database on [www.elforsk.se/solenergi](http://www.elforsk.se/solenergi). The database also

contains photographs and descriptions of the systems. The gathered information can be used to analyse availability, errors and system related problems.

In the project *Evaluation of MaReCo- hybrid in Hammarby Sjöstad* [2] a demonstration plant featuring 30 m<sup>2</sup> of concentrating hybrid modules producing solar electricity and solar heating has been built in Hammarby Sjöstad, a recently developed part of Stockholm. The module design was developed during previous periods of the SolEi programme. Simulations and small pilot installations indicated that a joint production of electricity and heat at low cost could be achieved with the design. Due to a delay in the installation of the modules after the delivery to the site material problems in the connections between the solar cells in the hybrid absorber occurred. The problems were caused by repeated thermal movements as the solar heating part of the module was not connected. A new phase of this project is started within the next programme period, where the absorbers will be exchanged for a more durable construction.

### ***System studies***

During spring 2004 the Swedish Energy Agency, STEM, carried out a study called "Electricity from the sun- energy and industry in Sweden" commissioned by the industry ministry. A related study had been planned within the SolEi-programme and collaboration was started in the form of a SolEi-programme sponsored project that was included in the STEM commission. The project was called "*Promoting PV technology in Sweden: Why, how and how much?*" [12]. The study comprised descriptions of support schemes in other countries and an analysis of pros and cons for various possible Swedish support schemes. A conclusion of the study is that Sweden spends a relatively large sum on research, but this commitment is not followed by market creating measures. There are a limited number of demonstration installations, but this is not enough to support a stable and broad group of actors. The study was carried out before the Swedish investment support scheme was launched.

### ***Demonstration of interesting applications***

Solar cells could be used for charging batteries used to power various components in the electricity grid. One problem with this is however the fact that the solar electricity production is low during the winter in Sweden. A solution to this problem is suggested in "*Development of reflector design placed above the solar cell for levelling out the annual electricity production in stand-alone PV-systems*" [16]. The annual electricity production is levelled out through a reflector placed above the solar cell. This increases the output during the winter season when the solar altitude is low. A conclusion of the project is that the reflector increases the production during the winter but the pilot installations show that there are other problems related to weather conditions with keeping the battery voltage high enough.

One alternative to reducing the cost of solar electricity is to design modules that jointly produce electricity and heat. With this design the solar cells are cooled, which increases the performance of the cells. In the project "*Development of an industrially manufactured hybrid absorber*" [13] an absorber designed for joint electricity and heat production is developed. The conclusion of the project is that such an absorber can be industrially manufactured. The initial testing show very promising results but long term testing

is required for more information on durability and long term performance. A new application for the absorber was also identified, where the hybrid absorber is combined with a heat pump.

### ***Building integrated grid connected PV systems***

The city of Malmö in southern Sweden is in the forefront when it comes to investments in solar energy. In the project “*PV-installations in Malmö – a pre study*” [21] 12 public buildings suitable for PV-installations are identified. For each object the following parameters are presented: estimated investment cost, estimated electricity production, architectural aspects and prerequisites concerning geometry, surroundings and building technology issues. The study shows that given the 70% investment support for installations in public buildings an energy cost between 1,6 and 4,2 SEK/kWh is obtained. Despite the fact that the installations are not cost efficient with the electricity prices of today the city of Malmö are planning to install a total of 1000 m<sup>2</sup> of solar cells on public buildings to provide environmentally friendly electricity to the citizens of Malmö.

Another pre study has been performed in the city of Gothenburg where the prerequisites for PV-installations on the stadium Ullevi were investigated in “The sun always shines on Ullevi” [25]. Several possible locations on the stadium are investigated concerning expected electricity production, marketing values and architectural aspects. Calculations of investment costs, studies of building technical aspects and suggestions for different financing alternatives were made. The conclusion is that a roof on one of the galleries inside the arena is best suited for PV-installation. A local group of actors have proceeded with the project to commence a further investigation of an installation on the identified roof.

### ***Grid connection issues***

Standardisation is an important means to achieving cost efficient grid connected PV installations. The prerequisites for PV installations when it comes to requirements, rules and laws were studied in the project “*Standardisation of cost efficient grid connected PV systems*”[3]. Different technical issues and norms were studied, guidelines and improvements/simplifications were suggested.

A PV installation where all of the produced electricity is sold to the electricity market was installed within the project “Grid connection of small scale PV-system for electricity sales to the market”[27]. 30m<sup>2</sup> were installed at ABB Corporate Research in Västerås. The conclusion of the project is that there are no technical barriers to construct a system where all of the produced electricity is sold to the electricity market. However, the subscription rate for grid connection is larger than the income from selling electricity and green certificates, causing the installation to run with a net loss even if the investment cost is not regarded. This issue will be further investigated within the new phase of the SolEl programme.

### ***Communication and education***

During this programme phase an increased focus has been put on communication and education issues. A new programme homepage has been developed, two major programme seminars have been held and three newsletters have been produced. An infor-

---

mation package targeting actors within the investment support scheme for public buildings was produced in cooperation with and fully financed by the Swedish Energy Agency. A number of communication projects were also launched, both initiated by the programme board and from the annual calls for proposals.

A PV road show concept was created in order to mainly target actors that had previously not shown an interest in PV issues. The concept is based on having local actors arranging seminars in different regions in Sweden. The participants are actively contacted and invited to the seminars. The first seminar was held in Gothenburg during the fall of 2005 and more seminars will be carried out during the next programme phase.

During the previous programme period the web based design tool Solcell.nu found on [www.solcell.nu](http://www.solcell.nu) was developed. The design tool was further enhanced and updated during this programme phase in the project “Solcell.nu – a web based design tool for integration of solar cells in buildings, phase II. During this phase an extensive effort has been made to launch the design tool to the target group. The web page has also been modified into a web portal on solar cells, where the design tool is a sub part.

Two university thesis works at Dalarna University were financed during 2005 within the project “Master theses within the PV-area 2005”[23]. The theses were written by students at the European Solar Engineering School. The project was partly launched to ensure that PV competence is withheld within Dalarna University.

An important target group for PV information is architects. During a previous programme period a project aimed at producing an information material for architects on building integrated PV was launched. This project was concluded in this programme period, and the book “*Active solar energy in housing and city planning – contemporary perspectives and future prospects*” [17]. The book spans from building details to city planning. Information on prerequisites for solar energy in policy measures, requirements and guidelines, the bill on environment policy and the building sector is described. International and Nordic examples of PV installations are shown and analyses are made of city planning issues. The book is sold through [www.byggforlaget.se](http://www.byggforlaget.se).

As a follow-up of the book a “*Series of seminars on PV in architecture*” was initiated to spread information on and attract interest for PV both as a building component and as a material in the urban landscape. The target group was actors within the planning and building sector that will be involved when installing grid connected PV systems. The series comprised three seminars, of which two were financed within the SolEl programme. A total of some 160 participants attended the seminars.

A university course of PV technology has previously been developed within the program. This course was modified to an internet based course for consultants during this programme period. The project was called “Modification of internet based PV course to strengthen the investment support scheme”. Some 15 consultants attended the course during 2004.



## 1 Inledning

Denna rapport presenterar det arbete som bedrivits inom ramen för det nationella samarbetsprogrammet SolEl 03-07 etapp I – Tillämpat program för solcellssystem under 2003 till 2005.

### 1.1 Budget, vision och mål

SolEl 03-07 har tagit fasta på att det finns ett fortsatt behov av kunskapsbevakning och kompetensuppbyggnad för att kunna tillämpa solcellsapplikationer. Några intressenter från tidigare programperioder har ersatts av nya, och en förskjutning från komponentinriktade projekt till byggnadsintegration och systemprojekt har skett. Budgeten har legat på ca 3,4 Mkr per år.

Programmets vision är att den svenska marknaden för solceller, på kommersiella villkor men på lång sikt, kommer att expandera från nischmarknader och stand-alone applikationer till nätansluten elproduktion genom byggnadsintegration och andra decentraliserade och centraliserade system.

För att programmets intressenter skall kunna bidra till visionen, agera rätt och utnyttja möjligheten i en sådan expansion skall programmet etablera kunskap och kompetens kring solceller, system och tillämpningar i t ex byggnader. Programmet skall bereda enskilda aktörer och högskolor möjlighet att bygga upp och upprätthålla kompetens inom programmets prioriterade områden. Det innebär också att programmet skall etablera nära samverkan mellan aktörerna inom programmet för att bidra till överföringen av nya kunskaper till svenskt näringsliv.

Programmets huvudmål har varit att:

- *Öka kompetensen inom högskola och näringsliv om solcellssystem som energikälla och som byggnadskomponent (bl.a. via internationell teknikbevakning och information till svenska intressenter).*
- *Testa, utveckla och demonstrera, ur kostnadssynvinkel och/eller användbarhet intressanta tillämpningar för fristående och nätanslutna system och sprida kännedom om dessa (bl.a. demonstrationsprojekt som byggs med målsättningen att visa på kostnadseffektiva lösningar, för att tydligare klarställa prisläget för solcellssystem).*
- *Identifiera, studera och tillgängliggöra kunskap för användarintressenter om systemrelaterade frågeställningar med fokus på möjligheter till reduktion av totala systemkostnaden.*

### 1.2 Intressenter

SolEl 03-07 etapp I har finansierats av Energimyndigheten, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC, Vattenfall, Sydkraft, ABB Corporate Research, Skellefteå Kraft, Göteborg Energi, Brostaden, Fastighetskontoret i Västerås, Gällivare Photovoltaic, Mälarenergi, Jämtkraft, Sollentuna Energi och Falkenberg Energi.

### 1.3 Organisation

Programmet har administrerats av Elforsk AB. Monika Adsten och Cristian Andersson har varit Elforsks programledare. Programstyrelsen för SolEl 03-07 etapp I har bestått av:

Lennart Spante (ordf.), Vattenfall  
Lotta Brändström/Li Lövehed, Sydkraft  
Magnus Callavik, ABB Corporate Research  
Marika Edoff, Ångström Solar Center (Energimyndighetens mandat)  
Dan Engström, NCC  
Kjell Gustavsson, Statens Fastighetsverk  
Andrew Machirant, Gällivare Photovoltaic  
Maria Malmkvist/Maria Hall, Energimyndigheten  
Michael Rantil/Conny Rolén, FORMAS  
Cristian Andersson/ Monika Adsten (adj.), Elforsk

Programstyrelsen har fastställt verksamhetsplan och årsbudget och fattat beslut om projektförslag. Programstyrelsen har haft det övergripande ansvaret för programmets inriktning, kvalitet och ekonomi och har fortlöpande följt upp verksamheten och resultaten.

Programmets delprojekt har utförts av representanter från Carl Bro Energikonsult AB, Chalmers Tekniska Högskola, Elforsk AB, Energibanken i Jättendal AB, Högskolan Dalarna, Lunds Tekniska Högskola, NCC Teknik, MacHirant Communications, Malmö Stad Stadsfastigheter, SOLENKO, Solibro, Uppsala Universitet, Vattenfall Utveckling AB och White Arkitekter AB.

## 2 Utvecklingsläget för solcellstekniken

### 2.1 Statusrapport om teknik- och marknadsutvecklingen på solcellsområdet 2005

Lars Stolt, Solibro AB, [lars.stolt@angstrom.uu.se](mailto:lars.stolt@angstrom.uu.se)  
Elforsk rapport 05:29

Lars Stolt, Solibro, har under ett flertal år haft ett uppdrag att göra en årlig analys av statusen vad gäller teknik- och marknadsutveckling på solcellsområdet, både nationellt och internationellt. Denna rapport har bedömts vara av så stor vikt att den redovisas i sin helhet. Motsvarande rapporter för tidigare år finns att ladda ned från [www.elforsk.se](http://www.elforsk.se). Rapporten för 2005 har nr 05:29 i Elforsks rapportserie.

#### 2.1.1 Sammanfattning

Dynamiskt är det ord som bäst beskriver solcellsområdet i dagsläget. Detta tillstånd har skapats av följande faktorer:

- Mycket snabbt växande marknad – 40% per år under åtta år
- Total marknad uppemot 100 miljarder kronor per år
- Brist på renat kisel till tillverkningen av kiselceller som har mer än 90% marknadsandel
- Nya tekniker – tunnfilm – på väg att bli kommersiella

Den viktigaste motorn för den snabba marknadstillväxten är inmatningslagen i Tyskland. Den har gjort användningen av solceller mycket lönsam och lett till att ett stort antal, från början små, men nu allt fler stora solcellsanläggningar installeras. Det tidiga-relagda valet i Tyskland har skapat en del oro om den fortsatta utvecklingen. Det finns dock fler europeiska länder som har, eller är på gång att införa, liknande bestämmelser vilket gör att allt inte står och faller med Tyskland. Dessutom sker flera initiativ i USA som leder till att installationstakten där ökar. I Japan är subventionerna på väg bort men den egna marknaden, som är världens näst största, är idag så gott som självgående.

Bristen på kisel är den faktor som idag begränsar marknadstillväxten. Den förväntas därför bli långsammare åtminstone 2005 och 2006. Investeringar sker i produktion av renat kisel men det tar tid innan tillgången har hunnit ikapp efterfrågan. Det kommer att ta minst två år, men efter 3-4 år är bristsituationen sannolikt bortbyggd. Idag motiverar bristen på kisel den tydliga utvecklingstrenden mot tunnare kiselskivor och högre verkningsgrader. Den har också betytt ett ökat intresse för nya tekniker, frågan är bara hur snabbt dessa kan ta betydande marknadsandelar. De tekniker som är redo för en marknadsintroduktion har dock ett gyllene läge nu.

De mest intressanta nyetableringarna är med tunnfilmsteknikerna CdTe och CIGS. First Solar som är det största CdTe-företaget planerar att bygga ut produktionskapaciteten till 40 MW/år 2006 och 75 MW/år 2007. Würth Solar har tagit beslut om att satsa 55 miljoner euro in en 15 MW produktionsanläggning som skall stå klar 2007. Detta kommer inte att röra kiseldominansen på en marknad som totalt kommer att röra sig om 1500-

2000 MW men är stora investeringar i de första riktigt kommersiella stegen efter pilot-stadiet.

### 2.1.2 Den senaste europeiska solcellskonferensen

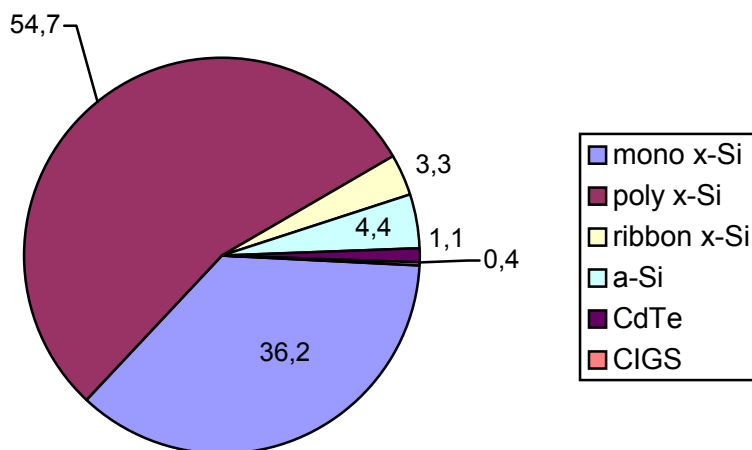
The 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EPVSEC-20) ingår i den serie internationella solcellskonferenser som årligen genomförs i Europa. Det finns också två andra serier internationella solcellskonferenser som hålls i USA respektive fjärran östern, men den europeiska är den största. Följande siffror ger en uppskattning av omfattningen

- 1700 föranmälda deltagare
- 245 muntliga föredrag
- 800 posters
- En omfattande utställning

Konferensen gav en utomordentlig bild av solcellsområdets utvecklingsstatus, både från forskningssidan och från den kommersiella sidan. Något som framgick mycket tydligt var hur affärsmässigt intressant solcellsområdet har blivit, vilket naturligtvis hänger samman med att den årliga marknaden av solcellssystem nu motsvarar många tiotals miljarder kronor.

### 2.1.3 Marknadsutvecklingen

Solcellsmodulmarknaden passerade 1 GW<sub>t</sub> nivån under 2004. Det motsvarar drygt 8 kvadratkilometer modulyta och ett försäljningsvärde från fabrik på 30 miljarder kronor. Hela året producerades 1 256 MW<sub>t</sub> solceller. Fördelningen av dessa MW på olika cell-tekniker beskrivs av Figur 1.



Figur 1 Årsproduktion av solceller fördelat på olika tekniker (2004)

Marknadsutvecklingen de senaste åren har varit fantastisk, 40% årligen under 8 års tid. Det innebär en fördubbling vartannat år. Denna utveckling har nu lett till att den sedan länge förutsedda bristen på råmaterial till produktionen av kristallina kiselceller har blivit akut. Den senaste tiden har de lager som funnits förbrukats och nu är bristen ett faktum. Andra solcellstekniker, som till exempel tunnfilm, har idag inte tillräcklig kapacitet för att ersätta kisel vilket kommer att innebära att åtminstone 2005 och 2006 får en påtagligt lägre marknadsstillväxt än tidigare. Det kommer helt enkelt inte att finnas tillräckligt med solceller på marknaden. Å andra sidan tjänar de industriella aktörerna rejält med pengar, förutsatt förstås att de har celler att sälja. Några som kommer att få det svårt i denna period är de mindre oberoende modulproducenterna som ej har egen cellproduktion. De kommer att ha svårt att komma över celler vilket kommer att leda till neddragningar och i värsta fall konkurs.

Kombinationen av marknadsstillväxt och brist på kisel har lett till en idealisk situation för de nya tekniker som är redo för marknadsintroduktion eller expansion (se nedan). Situationen kommer säkerligen att bestå under två år och sannolikt under ytterligare ett eller ett par år därefter. Det är den tid det tar att bygga upp produktion av högre ränt kisel vilket är en tidskrävande och kapitalintensiv investering. Det kan vara intressant att notera att produktionen av råkisel för solcellsindustrin nu är större än motsvarande produktion för mikroelektronikindustrin. Den aktuella situationen innebär att det finns ett fönster på ca 3 år för introduktion av ny solcellsteknik. Därefter kommer det att bli svårare.

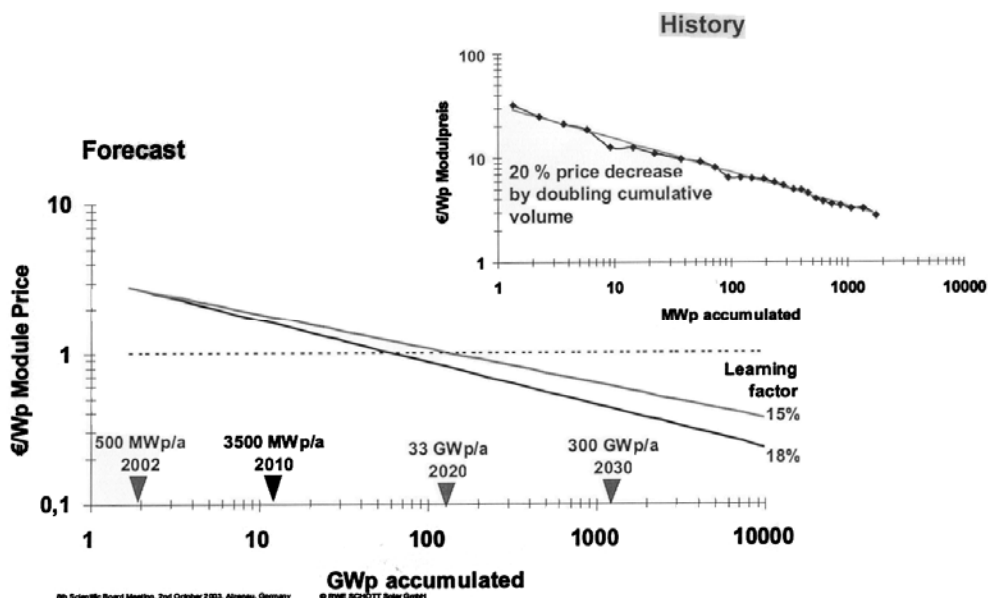
#### **2.1.4 Kristallint kisel**

Monokristallint kisel tillverkas med kristalldragning enligt den så kallade "Czochralski"-metoden som ger en stor kristall i form av en avlång cylinder som sedan skivas med sågning. Metoden ger bra solceller men är relativt långsam vilket lett till utvecklingen av en metod där man gjuter stora polykristaller i rektangulära former. Genom att noggrant kontrollera betingelserna erhålls relativt stora kristallkorn och solcellsegenskaperna kan fås att bli nästan lika bra som för monokisel. En ytterligare fördel med denna metod är att eftersom göten är rätvinkliga kan man enkelt såga kvadratiska skivor. Dessa kiselskivor kallas vanligen multikristallina. Dessutom finns så kallat bandkisel. Bandkisel tillverkas genom att man direkt drar kisel i tunna band som sedan kapas till rektangulära skivor. Fördelen är att man inte behöver såga skivor, en process som ger ett betydande materialspill i form av sågspån. Nackdelen är att processen är relativt långsam.

Reduktion av produktionskostnaden sker huvudsakligen genom att göra tunnare kisel-skivor för att därigenom minska materialåtgången. Av samma skäl utvecklas skivsågningstekniken mot tunnare snitt. En flaskhals idag är tillgången på rent kisel som utgångsmaterial till kristall tillverkningen. Den flaskhalsen bedöms vara försvunnen om 3-4 år efter att investeringar i produktion av rent kisel kommit på plats. Sannolikt kommer då också trycket på att minska materialåtgången att sjunka. Den andra viktiga utvecklingslinjen är ökning av verkningsgraden. Den bästa experimentcellen som gjorts har 24,7% verkningsgrad medan vanliga produktionsceller ligger på 15-16%. Några tillverkare har dock fokuserat på extra hög verkningsgrad i sina produkter. Dessa är Sunpower (20% cellverkningsgrad) och Sanyo (18,5%). Målsättningen mot höga verk-

ningsgrader har inneburit ett förnyat intresse för monokisel eftersom det har mindre defekter än multikisel. Man skall dock ha i minnet att verkningsgraden för en komplett modul är betydligt lägre än för de enskilda cellerna eftersom en del av modulytan inte är aktiv. Till exempel anger Sanyo för moduler med 18,5% effektiva celler modulverkningsgraden 16,1% och räknar man på angiven effekt och modulyta inklusive ram får man 14,5%.

Kostnadsutvecklingen för solcellsmoduler av kristallint kisel kan beskrivas av lärlkurvor (Figur 2), där modulpriset per watt topp effekt är plottat mot den kumulativa produktionen. Såväl minskade produktionskostnader per modul som ökad verkningsgrad bidrar till att kurvan sjunker med en hastighet som motsvarar 20% kostnadsänkning vid varje fördubbling av den sammanlagda produktionen. Liksom för annan produktion kommer denna sänkingshastighet att avta och kurvan kommer därefter att plana ut. Det är svårt att ange vid vilken nivå detta kommer att ske. Antar man att lärlkurvan fortsätter med något reducerad kostnadsänkningstakt, 15 – 18%, och att marknadstillväxten fortsätter kommer kristallint kisel att nå 1 €/W<sub>t</sub> någon gång runt 2020.



Figur 2 Prisutvecklingen för solceller (Från W. Hoffman, RWE Schott Solar)

## 2.1.5 Tunnfilmsteknik

### 2.1.5.1 Tunnfilmskisel

En klassificering av olika kiselmaterial kan göras efter storleken på de kristallkorn som bygger upp materialet. Den börjar med amorf kisel som ju inte har några korn alls och går vidare över nanokristallint kisel, mikrokristallint kisel (kornstorlek ca 1µm), polykristallint kisel (kornstorlek upp till en mm), till multikristallint med centimeterstora korn och monokristallint kisel. De två sistnämnda används inte för tunnfilm. Det vanligaste tunnfilmskiselmaterialiet är amorf kisel som ibland kombineras med mikrokristallint

kisel i så kallade ”micromorph” solceller. Man brukar referera till dessa som amorft kisel. När man talar om tunnfilmskisel så menar man oftast polykristallint kisel som tillverkas på ett sätt liknande annan tunnfilmsteknik men som har samma egenskaper som ”vanligt” kristallint kisel, dvs multi- och monokisel.

Tunnfilmsceller baserade på polykristallint kisel var ett hett forskningsområde under några år men har svalnat. Stort intresse tilldrar sig dock det kommersiella projektet, Crystalline Silicon on Glass (CSG), i Thalheim, Tyskland, tidigare Pacific Solar i Australien. De har nått 8,2% verkningsgrad på en prototyp med storleken 30 x 40 cm<sup>2</sup>. Tidigare investerare har dragit sig ur men man har lyckats samla en ny konstellation som bland annat innefattar norska Renewable Energy Corporation (REC). Produkten man sikar på att producera är en 1,4 m<sup>2</sup> stor modul med över 100 W topp effekt. Planerad produktionsstart är första kvartalet 2006 och kapaciteten 10 MW<sub>T</sub> per år. Aktiekapitalet är 27 miljoner euro (januari 2005).

Huvudproblemet med polykristallint kisel i tunnfilmsform är att få bra optoelektronisk materialkvalitet på ett billigt substrat. Vanligt fönsterglas används därför inte utan man använder ett betydligt dyrare så kallat borosilikatglas. Med tanke på att materialkostnaderna är viktiga så innebär detta en signifikant kostnadsnackdel jämfört med till exempel CIGS där vanligt fönsterglas fungerar bra. Eftersom verkningsgraden inte är så hög kommer tekniken i första hand att konkurrera med de olika varianterna av amorft kisel.

#### **2.1.5.2 Amorft kisel**

Tekniken för solceller av amorft kisel har varit mål för intensiv forskning och utveckling under lång tid. Det viktigaste framsteget har varit uppfinningen av det ”micromorpha” konceptet som kommer från universitetet i Neuchatel. Där kombineras en vanlig amorft kiselcell med en av mikrokristallint kisel i en tandemstruktur. En framstående forskargrupp finns i Jülich. Där arbetar man målmedvetet mot produktionsteknik för micromorpha moduler. Det bästa resultatet man nått hittills är en 10x10 cm<sup>2</sup> modul med verkningsgraden 10,1%. Japanska grupper har nått lika eller något bättre resultat (11,7% för en 14 cm<sup>2</sup> minimodul). Huvudproblemen ur produktionssynpunkt med tekniken är (1) litet processfönster för det mikrokristallina kiset, (2) låg deponeringshastighet, och (3) ett frekvent behov av rengöring av deponeringskammaren. Bernd Rech, som leder forskningsgruppen i Jülich hävdar att moduler med 14% verkningsgrad är möjligt men att mycket forskning krävs för att uppnå detta. Hittills är det endast Kaneka Corporation som kommersiellt producerat micromorpha celler.

Innan det mikromorpha konceptet låg fokus på multipelceller baserade på hydrerat amorft kisel och besläktade föreningar, framför allt kisel-germanium och kisel-kol legeringar. Den teknik som gav bäst verkningsgrad och också finns i produktion (United Solar) sedan flera år är en trippelcell-struktur. Produkternas verkningsgrad ligger på 7-8% och rekordverkningsgraden för experimentceller är 12,1%.

Världens i särklass största tillverkare av solcellsmoduler, Sharp, har valt att satsa på tunnfilmstekniken amorft kisel som ju har långa traditioner i Japan. Man har kvadratmeterstora moduler i pilotproduktion och har rapporterat så höga verkningsgrader som 11%. Det var dock för en mindre modul med micromorph-konceptet. En intressant pro-

dukt man tagit fram är en ”super see through” modul med 10% transparens och 9% verkningsgrad. I en särskild version av denna kallad ”Lumiwall” integreras den med vita lysdioder för att kunna ge belysning när det är mörkt.

Under 2004 producerades ca 50 MW<sub>T</sub> solcellsmoduler av amorft kisel. De största tillverkarna är Kaneka Corporation (17 MW), United Solar (14 MW) och Misubishi Heavy Industries (8 MW). Verkningsgraden för dessa produkter är som bäst ca 7%. De expansionsplaner som tillverkarna av amorft kisel presenterar innebär inte att marknadsandelen på 4,4% kommer att öka i någon större omfattning.

Kostnadsmässigt har man inte med amorft kisel lyckats demonstrera att tunnfilm är billigare än kristallint kisel per watt topp effekt räknat. Produktionskostnaden per ytenhet är dock lägre vilket betyder att om man kan nå jämförbar verkningsgrad som för kristallint kisel, klart över 10% i kommersiell produkt, kommer man att få en kostnadsfördel.

### **2.1.5.3 CIGS**

Den största och viktigaste nyheten är att Würth Solar beslutat att investera 55 miljoner euro i en fabrik för CIGS-moduler. Den skall få kapaciteten 15 MW/år och vara igång under 2007. Det blir den första tillverkningsenheten för CIGS-moduler över pilotskala. Beslutet visar ägarnas förtroende för tekniken. Shell Solar som också har en väl utvecklad CIGS teknik förväntas ta ställning till en motsvarande anläggning inom det närmaste halvåret. Sulfurcell i Berlin som arbetar med kopparindiumsulfid, i stället för kopparindiumgalliumselenid (CIGS), i övrigt är teknikerna lika, är på väg mot en 5 MW/år produktion. Det betyder att Solibros planer också ligger rätt i tiden. Ytterligare ett industriellt CIGS-projekt är CISEL-projektet som drivs av Electricité de France (EDF). Projektet har betydande storlek och ambitioner men ännu har inga imponerande tekniska resultat nåtts. Tekniken för att framställa CIGS-materialet är elektrokemisk deponering till skillnad från de övriga där vakuumtekniker används.

Världsproduktionen av CIGS moduler är ca 4 MW per år för närvarande. Även om det bara är en mycket liten andel av totala världsproduktionen av solcellsmoduler har det resulterat i solcellsinstallationer av betydande storlek, t ex en 40 kW<sub>t</sub> anläggning i Salzburg, en på 85 kW<sub>t</sub> i Wales, och en på 245 kW<sub>t</sub> i Kalifornien. Dessa har Shell Solar moduler. Würth Solar moduler finns t ex i en 50 kW<sub>t</sub> installation på en skola i Marbach, Tyskland.

De hittills nämnda företagen arbetar alla med glassubstrat för sina CIGS-moduler men det finns ett antal företag som i stället använder metallfolie som substrat vilket ger böjliga moduler om de lamineras med plastmaterial. Global Solar är det enda som säljer moduler men det finns ytterligare några företag i tidigare utvecklingsstadier, samtliga amerikanska. Dessa är Miasolé, Nanosolar och Daystar Technologies och har samtliga lyckats finna ansenlig finansiering (storleksordningen 100 miljoner kronor vardera) på den amerikanska kapitalmarknaden. De tekniska detaljerna avseende produktprestanda har hittills varit mycket vaga.

Utveckling av helt Cd-fria CIGS solceller fortsätter intensivt. Kadmium används i ett ultratunt passiveringsskikt inuti cellkonstruktionen. Det finns inget fundamentalt skäl

till att just kadmium skulle behövas men man har empiriskt funnit att ett skikt av kadmiumsulfid fungerar bra. De alternativ som testas är framför allt ZnO, Zn(O,S) och (Zn,Mg)O. Många lovande resultat finns. Tabell 1 nedan visar resultat för 30 x 30 cm<sup>2</sup> modulprototyper. Notera att Würth Solar resultat med Zn(O,S) är gjort med en process som utvecklats av Ångström-gruppen. Cellresultaten i Uppsala visar på lika bra eller bättre verkningsgrad med denna Cd-fria process som den konventionella med CdS. Ångström-cellerna har upp till 17% verkningsgrad vilket motsvarar 14-15% modulverkningsgrad.

**Tabell 1** Modulerkningsgrad för olika ersättningsmaterial för CdS

	Shell Solar	Shell Solar	Würth Solar	Würth Solar
CdS-ersättning	Zn(O,OH,S)	(Zn,Mg)O	In <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Zn(O,S)
30 x 30 cm <sup>2</sup> modul	11,1%	9,1%	12,9%	12,7%
Med CdS	13%			

En annan utvecklingslinje inom CIGS-området är flexibla solceller. Det uppnås genom att använda substrat av metallfolie eller temperaturtålig plast. Det har visat sig svårt att erhålla de högsta verkningsgraderna på plast (polyimid) men en grupp i Zürich har lyckats göra en cell med 14,1% verkningsgrad. Det återstår att se om detta resultat går att omsätta till någon produkt. Hittills har modulresultaten stannat vid ca 5%. Hahn-Meitner Institut i Berlin (HMI) utvecklar CIGS på metallfolie för rymdtillämpningar. CIGS tål strålningen i rymden bra och tunn metallfolie ger lätta men starka celler. Man har nått gjort en modul med hoplödda CIGS-celler med 12,6% verkningsgrad. Med metallsubstrat kan man inte tillverka moduler direkt, vilket är en fördel med tunnfilmsteknik på isolerande substrat som glas, utan måste först göra enskilda celler som seriekopplas i efterhand.

#### **2.1.5.4 CdTe**

Produktionen av tunnfilmssolceller baserade på CdTe har hunnit längre i uppskalningen av fabriksstorlek eftersom processtekniken är enklare. Två företag producerar idag men de är sinsemellan väldigt olika. First Solar som är amerikanskt planerar att bygga ut kapaciteten till 75 MW årlig produktion 2007. År 2006 skall 40 MW uppnås. För att minska risken för att gamla CdTe-moduler skrotas på en olämpligt sätt med eventuella Cd-utsläpp som följd har First Solar ett återtagningsprogram som är kostnadsfritt för kunden. När man vill bli av med sin CdTe-modul så kontaktar man helt enkelt en representant för First Solar som sedan kommer och hämtar modulen ifråga. Om företaget First Solar av någon anledning skulle upphöra att existera så kommer ända återtagningsprogrammet att genomföras eftersom man har tecknat en försäkring för detta.

Det andra företaget med produktion av CdTe-moduler är Antec i Tyskland. Antec gick i konkurs strax efter man kommit igång med produktionen och köptes därefter mycket billigt av en gruppering från Frankfurt. Antec producerar nu för fullt och man använder framför allt sina CdTe-moduler i egna solcellsanläggningar och räknar med att göra vinst genom att få bra betalt, i enlighet med den tyska inmatningslagen, för den el man levererar till nätet.

### ***2.1.5.5 Tandemceller med tunnfilmsteknik***

I en målsättning att höja verkningsgraden för tunnfilmceller har National Energy Laboratory i USA (NREL) startat ett projekt med tandemsolceller. Målet är 25% verkningsgrad. Bästa resultat hittills är en kombination av CdTe och CIS (CIGS utan gallium). Verkningsgraden för denna komponent uppmättes till 15,3% vilket är klart under bra CIGS-celler med rekordceller över 19%.

### ***2.1.5.6 Hållbara tunnfilmssolceller***

Redan tidigt ställdes frågan om livslängden för solcellsmoduler baserade på tunnfilmsteknik var lika bra som den för solcellsmoduler tillverkade av kristallina kiselceller. En befogad fråga eftersom lång livslängd, mer än 20 år, krävs för att kunna få ekonomi i soletproduktion. Tunnfilmssolceller innehåller mycket mindre aktivt material och det borde ge en ökad känslighet för långtidspåverkan från utemiljön. Framför allt kommer kemisk påverkan av cell materialen vara mer förödande helt enkelt för att en större andel av de funktionella delarna påverkas än i de mycket tjockare kiselcellerna. Å andra sidan ger den tunna cellkonstruktionen mindre känslighet för elektroniska defekter eftersom elektronerna skall transporteras mycket kortare sträcka. Sådana defekter uppstår till följd av strålning av olika slag. Därför påverkas rymdceller relativt kraftigt på detta sätt medan på jorden det är viktigare att minska kemisk påverkan genom att hålla framför allt fukt utestängd med effektiv inkapsling av själva solcellerna.

Efter ett antal barnsjukdomar finns nu långtidsstabla tunnfilmsmoduler på marknaden. För amorft kisel, som funnit ganska länge att tillgå kommersiellt, finns också en ett särskilt testprogram för certifiering framtaget, IEC 61646. Samma certifieringstester används för närvarande också för CIGS och CdTe. När det gäller tunnfilmsmoduler baserade på amorft kisel så uppvisar de en försämring den första månaden på grund av att ljuset skapar elektroniska defekter som försämrar verkningsgraden med 10-30%, relativt. Detta gav amorft kisel ett dåligt rykte som instabila moduler med dålig hållbarhet. Faktum är dock att efter denna initiala försämring stabiliseras verkningsgraden och modulerna är stabila över lång tid. Motsvarande stabilisering sker också för CIGS-moduler men där är effekten den omvända. Verkningsgraden ökar något när modulerna utsätts för solljuset, för att efter en kortare tid stabiliseras. Även kristallint kisel visar ibland ljusinducerad försämring. För att öka förtroendet för de olika modulprodukterna ger vanligen tillverkaren en så kallad effektgaranti. Det innebär att en viss elproduktionsförmåga, till exempel 80% av ursprunglig märkeffekt, garanteras efter lång tids användning, ofta 20 år. Ibland definieras effektgarantin vid två tidpunkter, se Tabell 2 nedan. Effektgarantin för tunnfilmsmoduler har samma nivåer som de för kristallint kisel.

Tabell 2 Certifiering och effektgaranti för kommersiella tunnfilmsmoduler.

Celltyp	Amorft kisel					CdTe		CIGS	
	EPV	Kaneka	Mitsubishi Hevy Ind	RWE Schott	Uni-Solar <sup>1</sup>	Antec	First Solar	Shell Solar	Würth Solar
Certifiering	IEC 61646	IEC 61646	IEC 61646	IEC 61646	IEC 61646	-	IEC 61646	-	IEC 61646
Effektgaranti			90% efter 10 år	81% efter 10 år			90% efter 10 år	81% efter 10 år	
	80% efter 20 år	80% efter 25 år	80% efter 20 år	72% efter 20 år	80% efter 20 år		80% efter 20 år		80% efter 20 år

<sup>1</sup>Det finns flera modultillverkare som använder sig av Uni-Solars celler. I vissa fall ger de en något annorlunda effektgaranti.

Även om godkännande i certifieringstester är ett gott tecken på modulernas hållbarhet så är det användning under lång tid i fält som bygger upp förtroende för de olika solcellsteknikerna i detta avseende. Allt fler fältförsök rapporteras, bland annat vid denna konferens, där det också framgår att tunnfilmsmoduler är stabila. Inte minst CIGS modulerna uppvisar mycket god långtidstabilitet. I resultaten från de olika installationerna framgår också att mängden el som produceras i förhållande till den installerade effekten och solinstrålningen, (eng. performance ratio) är lika med eller något bättre än för kristallint kisel.

### 2.1.6 Solceller för koncentrerande system

Det finns åtminstone två omständigheter som gör koncentrerande solcellssystem intressanta. Den ena är att av fundamentala skäl blir den teoretiska verkningsgraden högre om solljuset koncentreras. Den andra är att om man kan koncentrera solljuset, med billiga speglar eller linser, till en liten yta kan solcellen få vara betydligt dyrare – och därför mer sofistikerad – än om solcellerna skall täcka hela ytan. De viktigaste nackdelarna är att solföljande montering krävs och att bara det direkta solljuset kan utnyttjas medan vanliga solceller tar till vara både direkt och indirekt (diffust) ljus.

Det finns sedan länge prestigeprojekt i såväl Japan, USA och Europa om att göra solceller med superhög verkningsgrad. De bygger på den materialteknik som utvecklats för optoelektroniska komponenter av så kallade III-V halvledare. De kallas så efter de grundämnesgrupper i det periodiska systemet som beståndsdelarna kommer ifrån. Exempel på sådana halvledare är GaAs, InP, AlAs, GaSb samt legeringar mellan dessa. Med dessa material har man nått över 30% verkningsgrad med tandemceller och närmare 40% med trippelceller. Spectrolab i USA har gjort celler med 39% verkningsgrad vid ungefär 250 gångers koncentration av solljuset. Tillverkningskostnaden för dessa celler är dock alltför hög för jordtillämpningar. Celler av tandemtyp med verkningsgrad runt 25% har dock blivit vanliga i rymdtillämpningar.

Det faktum att kisel för närvarande är en bristvara har gett koncentratorcellerna ökat intresse och ett kommersiellt projekt har startats som spin-off från Fraunhoferinstitutet i Freiburg. Företaget heter Concentrix GmbH och man utvecklar koncentratormoduler med kiselceller. Fraunhofer har gjort kiselceller med 25% verkningsgrad vid 100 gångers koncentration, vilket är ungefär samma prestanda som amerikanska Sunpower Corp. som också försöker kommersialisera koncentrator tekniken. Marknaden för koncentrerande moduler sägs vara större anläggningar (0,1 -10 MW<sub>T</sub>) placerade där andelen direkt solstrålning är stor.

### **2.1.7 Övriga solceller**

#### **2.1.7.1 Nanokristallina solceller**

I dessa sker ljusabsorbtionen i ett färgämne i stället för en halvledare som i de konventionella solcellerna. Färgämnet finns i ett tunt (molekylärt) skikt på ytan av ett nanokristallint poröst skikt. Den principiella enkelheten i celltillverkningen gör tekniken attraktiv. Cellstrukturen består förutom den nanokristallina elektroden av kontaktskikt och en elektrolyt som vanligen är flytande. Denna innebär en komplikation när celler skall sättas ihop i moduler.

INAP är ett tyskt företag som ett längre tag hållit på med kommersiell utveckling av solcellsmoduler baserade på denna teknik. De bästa modulverkningsgraderna för större moduler är ca 3% men man anser att uppemot 5% bör vara möjligt. Högsta cellverkningsgrad är 11% för experiment celler och den högsta modulverkningsgrad som uppnåtts är 4,7% (minimodul).

#### **2.1.7.2 Organiska solceller**

Intresset inom detta område fokuseras på så kallade polymer-fulleren BHJ-solceller. BHJ står för "bulk heterojunction" och det organiska materialet är placerat mellan två kontaktskikt varav den ena är transparent. Strukturen som är relativt tunn behöver också en bärare såsom glas eller liknande. Cellstrukturen liknar därför en vanlig tunnfilmssolcell. Principen demonstrerades 1995 med en cell med nära 1% verkningsgrad. Sedan dess har tekniken utvecklats så att 3% verkningsgrad uppnås rutinmässigt i forskningslaboratorierna och något laboratorium har rapporterat 4%.

Förutom den låga verkningsgraden är huvudproblemet stabiliteten. Cellverkningsgraden försämras framför allt under inverkan av syre och vattenånga, men även i inert atmosfär försämras verkningsgraden. Tekniken befinner sig på grundforskningsstadiet.

#### **2.1.7.3 Tredje generationens solceller**

Ett antal olika koncept för hur högre verkningsgrader än man kan uppnå med konventionella solceller skulle kunna realiseras brukar i solcellssammanhang benämnas tredje generationens solceller. De är teoretiska koncept och inga tydliga existensbevis finns för att de skulle kunna leda till högre verkningsgrader i praktiken.

## 2.2 Internationell konferensbevakning

Teknikbevakning inom SolEl 03-07 har också skett genom deltagande i och rapportering från internationella konferenser. Under 2004 bevakades konferensen 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference (referat nedan) och under 2005 bevakades 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona 6-10 juni 2005 (se Lars Stolts teknik- och marknadsbevakning ovan)

### 2.2.1 Konferensbevakning 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, juni 2004, Paris, Frankrike

Bengt Ridell, Carl Bro Energikonsult AB, [bengt.ridell@carlbro.se](mailto:bengt.ridell@carlbro.se)  
Elforsk rapport 04:29

På uppdrag av SolEl-programmet bevakade Carl Bro Energikonsult AB konferensen 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference som hölls i Paris 7 – 11 juni 2004. Referatet från konferensen har fokuserats på SolEl-programmets inriktning med tonvikt på användning av solceller.

2004 var det den hittills största solcellskonferens som har arrangerats. Konferensen samlade 1 746 deltagare från 75 länder. Utställningen hade 233 utställare från 26 länder. Det gjordes cirka 300 presentationer i flera parallella sessioner och 900 posters visades. Det klart dominerande landet med störst antal deltagare och presentationer var Tyskland. Kina var en nykomling med en imponerande utställning som visade hög kvalitet.

Huvudintryck från konferensen:

- Det vanligaste användningsområdet för solceller idag är för anläggningar anslutna till elnätet. Det gäller speciellt byggnadsintegrerade PV, BIPV, en marknad som ökar kraftigt på flera ställen i världen. Dock är subventionerna fortfarande stora och utbyggnaden följer dessa. Flera stora och påkostade anläggningar presenterades under konferensen. För dessa anläggningar är arkitekturen och användarens acceptans prioriterade frågor. Semi-transparenta anläggningar som ger ett behagligt genomsläpp av ljus är vanliga.
- De stora volymerna av solceller som efterfrågas och tillverkas nu jämfört med tidigare har förbättrat konstruktioner och rationaliserat tillverkningstekniken vilket gör att kostnaderna för solceller är kraftigt på väg ner.
- Feed-in tariffer i Europa, ett system där det ordinarie elpriset höjs något och dessa pengar fördelas därefter till förnybar energi exempelvis solceller. I vissa fall är dessa omfördelningar stora, upp till 5 SEK/ kWh för el producerad från solceller. Det finns förslag på att införa feed-in tariffer i många länder i Europa.
- Japan och Tyskland är de klart ledande länderna för utveckling och användning av solceller. USA följer med men expanderar inte speciellt mycket.
- PV för användning i U-länder och glest befolkade områden fick stort utrymme på konferensen och anses viktigt för den lokala utvecklingen men det betonades att det är små volymer som inte har någon större betydelse för tillverkarna.
- EU har startat en så kallad Technology Platform med deltagare bland de ledande aktörerna i Europa. Syftet är främst att samordna forskningsinsatserna i Europa och att förbereda för det kommande ramprogrammet FP7.

- Kristallina solceller är fortfarande den klart dominerande tekniken och utvecklas fortfarande. Tunnsolceller är på stark frammarsch. Multi-junction eller tandem-solceller fick stor uppmärksamhet på konferensen och extremt höga verkningsgrader rapporterades 41,5% från laboratorieförsök och 27% för masstillverkade solceller av tandemtyp.

## 3 Internationellt samarbete inom IEA PV Power Systems Programme

### 3.1 Inledning

Inom SolEl 03-07 etapp I har ett internationellt samarbete via IEA PV Power Systems Programme (PVPS) bedrivits. Det är ett samarbete inom International Energy Agency med medverkan från ett 20-tal länder, EU samt EPIA (European Photovoltaic Industry Association). Uppgiften för PVPS är att ”förstärka den internationella samverkan för att bidra till att solcellsproducerad el blir en betydande framtida förnyelsebar energikälla”. Samverkan sker genom att länderna aktivt bidrar till så kallade Tasks inom PVPS. I tre av dessa har svenska experter medverkat med finansiering från SolEl 03-07 etapp I. Från och med juli 2005 finansieras de svenska experterna helt av Energimyndigheten. Programstyrelsen för SolEl 03-07 fungerar dock fortsatt som en rådgivande referensgrupp för verksamheten.

Huvudskälen till samverkan genom IEA är uppväxlingen för programmet med internationella erfarenheter av teknik, system och ekonomi för solcellssystem samt tillgången till ett internationellt kontaktnät.

Nedan ges en kortfattad lägesrapport från de insatser som Sverige bidragit till inom IEA ”Photovoltaic Power Systems Programme” (PVPS) och vilka resultat som uppnåtts inom samarbetet. Mer information finns tillgängligt via PVPS hemsida [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org) och i de referenser som anges.

Maria Hall, Energimyndigheten, är ordinarie svensk representant och Monika Adsten, Elforsk är alternerande i PVPS exekutivkommitté. Exekutivkommittén, ExCo, har möten två gånger per år och är beslutande inom PVPS samt ansvarig för den långsiktiga verksamheten inom samarbetet.

### 3.2 Task 1 – ”Exchange and dissemination of information, on photovoltaic power systems”

Ulf Malm/Lars Stolt, Uppsala universitet, [ulf.malm@angstrom.uu.se](mailto:ulf.malm@angstrom.uu.se)  
Mer information finns på <http://www.iea-pvps.org/>

#### 3.2.1 Bakgrund

Task 1, som är ett av fem aktiva delprogram inom IEA-PVPS, är programmets organ för informationsinsamling och -spridning. Task 1 ansvarar för att samla information om solcellstillämpningar i medlemsländerna, samt för spridning av denna information i form av rapporter, nyhetsbrev och programmets hemsida, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org).

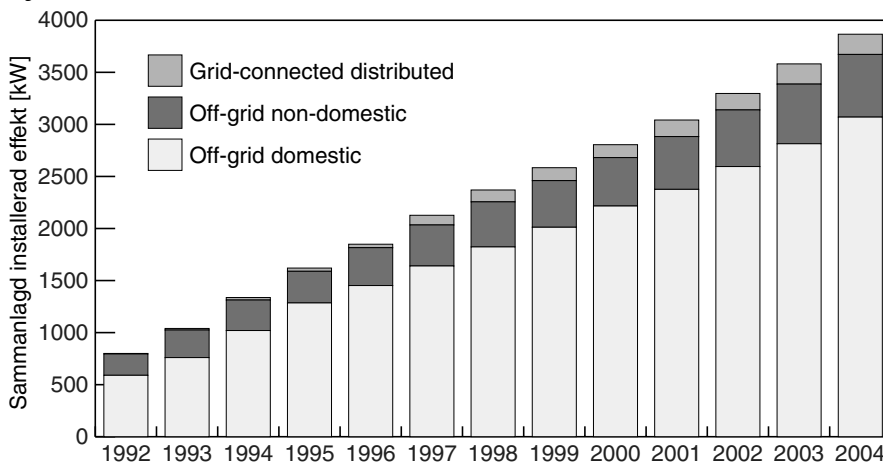
### 3.2.2 Målsättning

Den övergripande målsättningen för Task 1 är att gynna utbyte och spridning av information om tekniska, ekonomiska, miljömässiga och sociala aspekter av användningen av solcellssystem. Detta görs för att stödja PVPS bredare målsättning om kostnadsreduktion, ökad medvetenhet, sänkning av barriärer samt samarbete med länder utanför programmet. Denna målsättning angrips genom att information samlas in av gruppens medlemmar, genom deras respektive kontaktnät, och sammanställs för att sedan föras ut till den tilltänkta målgruppen. Att matcha informationen med den tilltänkta publiken är viktigt.

### 3.2.3 Projektbeskrivning

För det enskilda landets del innebär medverkande i Task 1 framförallt att information från det egna landet samlas in och sammanställs i en årlig rapport, *National Survey Report of PV Power Applications* [20, 18, 19]. Denna rapport behandlar framförallt den mängd solceller som installerats i landet under det senaste kalenderåret, samt hur den lokala solcellsindustrin utvecklas. Sammantaget skall rapporten ge en samlad bild av hur solceller tillämpas i det aktuella landet.

Förutom beskrivningen av installerad effekt och solcellsindustrin, innefattar rapporten även information om vilka stödsystem som finns för solcellsinstallationer, hur många som arbetar inom solcellssektorn, vilka speciella regler som gäller för solceller vid till exempel nätanslutning, samt exempel på specifika projekt som realiserats under det aktuella året. Dessutom anges ungefärliga priser på solcellssystem, så att dessa kan följas över tiden.



Figur 3 Sammanlagd installerad solcells-effekten i Sverige från 1992 t.o.m. 2004 uppdelat på olika marknadssegment.

De nationella rapporterna, som levereras av varje enskilt medlemsland, används dels som informationskällor för kontakter med lokala intressenter, såsom byggföretag, arkitekter, elbolag med flera. Dels används rapporterna i arbetet med att sammanställa en internationell rapport som beskriver solcellsläget i världen, *Trends in Photovoltaic Applications* [4, 5]. I den internationella rapporten fokuseras det på den installerade effekten i medlemsländerna, deras industriella aktörer samt de trender som kan skönjas vad gäller priser på solcellsutrustning. Dessutom behandlas utvecklingen i länder utanför IEA-PVPS.

### **3.2.4 Genomförda insatser och resultat**

#### **Rapporter**

Sedan 2003 har tre nationella rapporter publicerats, för åren 2002, 2003 och 2004. Dessa rapporter skickas ut till ett antal aktörer i branscher som kan tänkas vara intressanta målgrupper. Dels skickas de till aktörer som redan finns på solcellsmarknaden, dels skickas rapporterna till beslutsfattare och media som kan tänkas vara intresserade av att följa solcellsmarknaden. Utöver de hårdkopior som skickas ut, ca 70 st, får ytterligare ett 70-tal intressenter information om rapporterna och länkar till IEA-PVPS hemsida, där man kan ladda ned dem, per e-post.

En av de viktiga informationsuppgifterna för Task 1, att studera mängden installerad effekt från PV, tar sig uttryck i två viktiga siffror, den installerade effekten under det aktuella året och den sammanlagda installerade effekten. Den i Sverige installerade effekten varje år kan sägas vara relativt konstant. Under de drygt tio år undersökningarna pågått inom Task 1 har ca 250 kW installerats årligen. Denna siffra har varierat mellan 200 och 300 kW, och har till största delen utgjorts av små installationer (~100 W) för elektrifiering av stugor utan nätanslutning, båtar och husvagnar ("off-grid domestic"). Denna marknad har varit självgående och, som sagt, relativt konstant.

En annan del av marknaden, som varit självgående och stabil, är den för icke nätanslutna kommersiella tillämpningar ("off-grid non-domestic"), som eltilförsel för fyrar, telekomutrustning, fränskiljare för högspänningsledare, med mera, där nätanslutning inte bedömts ekonomiskt försvarbar. Denna marknad har, årligen, uppgått till ca 30 kW.

Den tredje marknaden, storleksmässigt räknat, är den för nätanslutna distribuerade system, det vill säga system i storleksordningen >1 kW, oftast på en byggnad som är ansluten till elnätet ("grid-connected distributed"). Dessa har, i Sverige, endast förekommit som enstaka demonstrationsprojekt, oftast ett par stycken per år, medan det är denna sektor som står för den stora volymen PV projekt som installerats i Japan och Tyskland de senaste åren. Den nätanslutna sektorn måste ha stödåtgärder för att den ska kunna konkurrera ekonomiskt med andra investeringar i förnybar energi, och i Sverige har detta saknats hittills.

Den fjärde marknadssektorn som används för att analysera siffrorna för installerad effekt, "grid-connected centralized" saknas helt i Sverige. I denna sektor hamnar framförallt en del stora anläggningar i USA och Tyskland som drivs som kraftverk med en stor mängd paneler som matar in ström på stomnätet.

Sammanlagt fanns det ungefär 4 MW installerad PV-effekt i Sverige vid slutet av 2004, vilket är relativt litet i ett internationellt perspektiv. Detta beror mycket på att en del andra länder har haft omfattande stödprogram under en längre tid. Jämfört med länder som, liksom Sverige, saknat stödprogram ligger Sverige relativt lika med dem räknat i installerad effekt per capita. Utbyggnadstakten kommer troligen att öka relativt kraftigt vid införandet av det investeringsstöd till solcellsinstallationer i byggnader för offentlig verksamhet, som trädde i kraft under våren 2005 och som pågår till och med 2007.

En annan viktig del av informationsarbetet inom Task 1 går ut på att undersöka den producerande PV-industrin, vilket i Sveriges fall innebär modultillverkning. Under de se-

naste åren har två nya modultillverkningsföretag, *ScanModule* och *PV Enterprise*, startats så att det idag finns fyra tillverkare i Sverige. I och med tillkomsten av nya företag har tillverkningen ökat, men de äldre företagen (*GPV* och *ArcticSolar*) har också byggt ut sin verksamhet och nyanställt för att kunna öka produktionen. Sammantaget har detta gjort att produktionen i Sverige har ökat från 9 MW år 2002 till 26 MW år 2004, varav den stora majoriteten exporteras, främst till den tyska marknaden.

### Övrig informationsverksamhet

Förutom arbetet med rapporterna har Task 1-gruppen arbetat med IEA-PVPS hemsida [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org) som fungerar som nav för informationsspridningen inom programmet, med rapporter för nedladdning, och mer grundläggande information för aktörer som är intresserade av, men inte etablerad på, solcellsmarknaden.

Två gånger per år har nyhetsbrevet *PV Power* publicerats, med en blandning av rapportering kring det som pågår inom PVPS och andra nyheter från solcellsvärlden.

## 3.3 Task 2 – “Performance, reliability and analysis of photovoltaic systems”

Jonas Hedström, Energibanken, [jonas@energibanken.se](mailto:jonas@energibanken.se)

Mer information finns på <http://www.iea-pvps.org/>

### 3.3.1 Bakgrund

Inom IEA PVPS Task 2 hanteras frågor runt solcellsanläggningar som rör elproduktion, tillförlitlighet, kostnader och skötsel. Målsättningarna som definierats för Task 2 är i mångt och mycket likalydande med de målsättningar som satts upp för den svenska driftuppföljningen. Svenska aktiviteter baseras därför på att utnyttja resultaten från Solel 03-07's driftuppföljningen av solcellsanläggningar som bidrag till det vetenskapliga arbetet.

### 3.3.2 Målsättning

Genom ett svenskt deltagande får vi tillgång till de senaste resultaten på området och till ett internationellt nätverk av experter.

### 3.3.3 Genomförande

Energibanken har som svensk representant under perioden 2003-09 till 2005-12 deltagit i fyra Task 2 möten. Med observatörsstatus: Zürich mars 2004 och Italien september 2004. Som fullvärdig medlem: Florida mars 2005 och Tyskland september 2005.

Sveriges bidrag i det internationella arbetet har i huvudsak bestått i:

- Väsentliga delar av Task 2 webbplats, [www.iea-pvps-task2.org](http://www.iea-pvps-task2.org), har under våren 2005 översatts till svenska.
- Fem svenska anläggningar har lagts till den databas som byggs upp under subtask 6, *PV-system cost over time*. Delresultat från denna subtask kan studeras från task 2 webbplats under ”Survey”.

- Svenska anläggningar i Performance Database har uppdaterats.
- Data från äldre svenska anläggningar har bearbetats och skickats till ansvarig för aktivitet 5.2 "Long Term Stability".
- Drifterfarenheter och uppbyggnad av Sveriges äldsta i solcellsanläggning i drift, "Huvudsta", har beskrivits i en rapport som en del i Aktivitet 5.2.

Under september 2005 har Energibanken inlett ett samarbete med konsultföretaget WSP i Stockholm. WSP har accepterat en förfrågan om att stödja en utveckling av en engelsk version av det svenska projekteringsverktyget "solcell.nu" som en del i arbetet i Subtask 7, "Dissemination", Aktivitet 7.3, "Educational tool". Avsikten är att den engelska versionen ska fungera som ett utbildningshjälpmedel både inom Task 2 och Task 10. En person på WSP:s dataavdelning har påbörjat arbetet och en första preliminär version finns på nätet, (se <http://194.71.254.36/solcell/>).

Denna version presenterades under Task 2 mötet i Hameln i september och under Task 10 mötet i Washington i oktober. Reaktionen på "solcell.nu/IEA" var positiv på båda mötena och flera viktiga synpunkter inkom på både design och innehåll. Från Task 2 och 10 har det funnits krav på att fler case studies ska presenteras. Detta har det tagits hänsyn till i programmering i den nya versionen. I nuläget finns fyra anläggningar inlagda, alla från Task 10: från Norge, Danmark, Kanada och Österrike. I den svenska versionen av solcell.nu, ingår tre anläggningar från Hammarby Sjöstad som alla är väl beskrivna avseende de teman som tas upp i "solcell.nu/IEA". De projekten ska endast ges en engelsk översättning.

### **3.3.4 Slutsatser och fortsatt arbete inom Task 2**

Från och med 2005-07-01 finansieras det svenska Task 2-arbetet av STEM. Svensk representant i Task 2 är Jonas Hedström, Energibanken i Jättendal AB. Avsikten är att förlänga det svenska deltagandet till 2007-08-31, då Task 2 avslutas. Arbetet med "solcell.nu/IEA" ska då vara färdigt och den ska vara inlemmad på IEA-PVPSs webbplats.

## **3.4 Task 3 – "Use of PV systems in stand-alone and island applications",**

Peter Krohn, Vattenfall Utveckling AB, [peter.krohn@vattenfall.com](mailto:peter.krohn@vattenfall.com)

Mer information finns på <http://www.iea-pvps.org/>

IEA PVPS, International Energy Agency, PhotoVoltaic Power Systems Implementing Agreement, Task 3, Use of Photovoltaic Power Systems in Stand-Alone and Island Applications, etablerades 1993 för att stimulera samarbete mellan IEA-länder med intresse för utveckling av fristående, icke nätanslutna, solcellssystem.

Sammantaget har Task 3 huvudsakligen bidragit till stöd för kvalitetssäkringsprocessen, klassificering av systemtyper, riktlinjer vid prestandautvärdering och styrning genom DSM. Task 3 avslutades 2004, men vissa av de frågor task 3 arbetade med har förts vidare i en nystartad task kallad PV-Hybrid, task 11. Denna kommer att fokusera på större fristående system bestående av solceller, en kompletterande kraftkälla, lager och ett flertal konsumenter.

### **3.4.1 Deltagande nationer**

14 nationer fanns med i det initierande skedet av arbetsprogrammet för Task 3: Australien, Frankrike, Italien, Japan, Kanada, Korea, Nederländerna, Norge, Portugal, Spanien, Sverige, Schweiz, Storbritannien och Tyskland. Från varje land har utsetts en nationell expert som deltar i arbetet. Experterna är individuellt finansierade från sina hemländer. Frankrike har därtill finansierat den operative ledaren för arbetet, kallad Operating Agent. Uppdraget som Operating Agent har innehafts av Philippe Jacquin, PHK Consultants, Frankrike. För svensk del övertog Peter Krohn expertrollen 2000 efter Bengt Perers, båda Vattenfall Utveckling AB.

### **3.4.2 Arbetsprogram för 1999-2004**

Exekutivkommittén beslutade i maj 1999 om att anta föreslagen arbetsplan med arbetsområden och aktiviteter enligt följande:

#### **3.4.2.1 Arbetsområde 1: Kvalitetssäkring**

*Aktivitet 11. Kritiskt granskande av implementerandet av kvalitetssäkringssystem*

Att utveckla kvalitetsstyrningssystem som garanterar att alla system installeras till rimlig kostnad.

*Aktivitet 12. Tekniska aspekter på prestandabedömning / kvalitetsstyrning*

Att identifiera och etablera praktiska vägledningar för prestandabedömningar.

#### **3.4.2.2 Arbetsområde 2: Tekniska frågor**

*Aktivitet 21. Hybridsystem*

Att bidra till kostnadsreduktion genom standardisering och modularitet i syfte att underlätta storskalig spridning av solcellshybridsystem. Processen leder till utveckling av en systemklassificering baserad på prestandabedömning utförd i enlighet med kvalitetsriktlinjer.

*Aktivitet 22. Lagringsfunktion*

Att tillhandahålla rekommendationer för att minska kostnaderna för energilagring i solcells- och hybridsystem. Det medför övervakning av prestanda i ett representativt urval av lagringssystem.

*Aktivitet 23. Belastning/utförande: laststyrning och nya applikationer*

Att tillhandahålla ett tekniskt bidrag till kostnadsreduktion genom att visa kostnadseffektivitet i förhållande till val av effektuerad laststyrning och verkningsgrad hos applikationen. Göra en översikt av DSM-aktiviteter inom ramen för Task 3 området, vilka användningstyper finns med höga verkningsgrader avseende både DC- och AC-området samt undersöka betydelsen av systemmodellering som ett verktyg för laststyrning.

Inom området för Task 3, icke nätanslutna system, behövdes gemensamma aktiviteter för att samla kunskap baserad på genomförda projekt, teknisk utveckling hos komponentleverantörer, forsknings- och utvecklingsprogram återkoppling från fältverksamhet. För att möta det breda området fristående solcellsapplikationer var det beslutat att

genomföra aktiviteter som berör system både inom den industrialiserade världen såsom inom sydligare delar.

### **3.4.3 Arbete och publikationer**

För att bistå både slutanvändare och programansvariga med riktlinjer för kvalitetssäkring av system, projekt och program, har deltagarna i Task 3 arbetat med systematiska och praktiska aspekter på kvalitetssäkring. För bättre utvärdering av systemprestanda har man tagit fram rekommendationer för kontroll och övervakning.

Lagringsfunktionen i fristående system är en avgörande fråga för livscykelkostnaden. Man har därför arbetat fram rekommendationer för att optimera och öka tillförlitligheten hos batterierna. Inom området har särskilda ansträngningar gjorts för att ta fram vägledning för avancerade energistyrningsstrategier.

Deltagarna har vidare ägnat sig åt laststyrning och driftstrategier för kostnadseffektiva användningsområden. Inom det området har vissa rekommendationer inom teknisk design för bättre verkningsgrad och tillförlitlighet i system presenterats.

Huvudsakligen har tekniska rapporter utgjort det materiella resultatet av arbetet i Task 3. Rapporterna som visas i Tabell 3 ska finnas tillgängliga på EIA PVPS hemsida på internet, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org), under Task 3. Av finansieringsskäl har bara ett fåtal exemplar av rapporterna givits ut på papper. Det kan tyckas vara något begränsande för spridningen av informationen men tillgängligheten har varit mycket god när dokumenten väl publicerats på web-platsen.

**Tabell 3 Rapporter IEA PVPS Task 3**

Survey of National and International Standards guidelines and Quality Assurance procedures for Stand-Alone Photovoltaic systems	IEA-PVPS T3-07:2000
Recommended practices for charge controllers	IEA-PVPS T3-08:2000
Use of appliances in Stand-Alone Photovoltaic systems: problems and solutions	IEA-PVPS T3-09:2002
Management of lead-acid batteries used in Stand-Alone Photovoltaic power systems	IEA-PVPS T3-10:2002
Testing of lead-acid batteries used in Stand-Alone Photovoltaic power systems - Guidelines	IEA-PVPS T3-11:2002
Selecting Stand-Alone Photovoltaic systems - Guidelines	IEA-PVPS T3-12:2002
Monitoring Stand-Alone Photovoltaic systems: methodology and equipment – Recommended practices	IEA-PVPS T3-13:2003
Protection against the effects of lightning on Stand-Alone Photovoltaic systems - Common practices	IEA-PVPS T3-14:2003
Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic systems - Recommended practices	IEA-PVPS T3-15:2003
Demand side management for Stand-Alone Photovoltaic systems	IEA-PVPS T3-16:2003
Selecting lead-acid batteries used in Stand-Alone Photovoltaic power systems - Guidelines	IEA-PVPS T3-17:2004
Alternative to lead-acid batteries in Stand-Alone Photovoltaic systems	IEA-PVPS T3-18:2004

*Tabell 3 återger de rapporter som givits ut från Task 3 under 1999-2004.*

**3.4.4 Informationsaktiviteter**

Vid många tillfällen har expertmötena förlagts i anslutning till nationella och ibland även internationella konferenser, seminarier, workshops eller dylika tilldragelser. Detta har givit tillfälle att sprida den expertkunskap som funnits inom Task 3 och samtidigt varit ett dragplåster för ett brett nationellt deltagande.

Vid de stora internationella konferenserna inom solcellsområdet har Task 3 också varit exponerat såväl genom föredrag som utställningar och seminarier.

*Abstracts* och *Conference papers* från Task 3 medverkan finns också tillgängliga på IEA PVPS hemsida på internet, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org), samt på den interna hemsidan för Task 3, [www.task3.pvps.iea.org](http://www.task3.pvps.iea.org).

### **3.5 Task 10 - "Urban-scale PV Applications"**

Mats Andersson, Energibanken i Jättendal AB, [mats@energibanken.se](mailto:mats@energibanken.se)  
Mer information finns på <http://www.ica-pvps.org/>

#### **3.5.1 Inledning och bakgrund**

Det nya samarbetsprojektet, IEA PVPS Task 10 – "Urban-scale PV Applications" (T10), startade i februari 2004. Det första expertmötet genomfördes då i Wien. Sverige är representerat genom Mats Andersson vid Energibanken. Denna rapport omfattar arbetet från starten till det fjärde expertmötet som hölls i Lyon, 1-3 juni. T10 inriktar sig, som namnet indikerar, mot storskalig användning av solceller inom bebyggelsen och skiljer sig mot det tidigare arbetet i Task 7, "Photovoltaic power systems in the built environment" genom att frågor som stadsplanering och finansiering också finns med som viktiga arbetsuppgifter. En annan skillnad är att T10 har som ett viktigt mål att involvera hela kedjan av aktörer, som blir berörda när solceller ska användas i en större skala.

Intresset är stort för T10 och vid senaste mötet var 17 länder representerade. Viktiga länder som Tyskland och Japan har dock ännu inte gått med officiellt. Det svenska motivet för att medverka har ökat avsevärt i och med det statliga stödet till solceller på offentliga byggnader. Antalet nya aktörer har redan ökat kraftigt i Sverige, liksom kunskapen om solcellers användning i byggnader. Enbart Energibanken har under våren och försommaren blivit engagerade i ett 20-tal möjliga projekt.

#### **3.5.2 Beskrivning av Task 10**

T10 är uppdelat på fyra så kallade subtasks:

##### **Subtask 1: Economics and Institutional Factors**

Inom denna avdelning är avsikten att söka efter möjligheter för olika aktörer att se motiv och värden för att tillämpa solceller, inte bara i enskilda projekt, utan i större sammanhang. Det innebär att energi- och nättariffer, stadsplanefrågor och industriella motiv kan påverka ett scenario. Ett konkret exempel för Sveriges del är att arbeta för att förenkla möjligheten till försäljning av solceller till nätet.

##### **Subtask 2: Urban Planning, Design and Development**

Inom subtask 2 ingår planerings- och projekteringsfrågor som är en förutsättning i arbetet med att skapa en vision för en ökad acceptans för storskalig solcellsanvändning inom bebyggelsen. I Sverige kan frågorna kännas oviktiga idag, i motsats till länder som Japan, där en nationell uttalad målsättning för solcellsanvändning redan har antagits. Om och när solceller ska få en betydelse måste kunskapen om tekniken integreras i beslutsprocesser och projekteringsrutiner i samband med planering av nya bostadsområden. Arkitektoniska frågor som rör byggnadestetik, markanvändning, "rätt till sol" blir då också viktiga. Även eltekniska frågor som laststyrning inom ett bostadsområde ingår.

### **Subtask 3: Technical Factors**

I den här delen behandlas tekniska frågor som rör anpassningen av solcellstekniken till att bli en naturlig del i byggandet. Solcellsmoduler måste på sikt kunna hanteras som konventionella byggnadselement med bibehållen funktion som elproducerande enheter. Inom Task 7 utvecklades en databas för montagelösningar och byggnadstillämpade solcellsmoduler. Avsikten är att den databasen ska vidareutvecklas inom T10. Andra aktuella frågor att behandla är standarder och föreskrifter, både el- och byggnadstekniska.

### **Subtask 4: Targeted Information Development and Dissemination**

Inom subtask 4 ingår arbetet med att sprida all den kunskap som genereras inom T10. En viktig del är T10:s hemsida som redan nu innehåller en utförligare beskrivning av de fyra ”subtasken” än vad som har presenterats här i denna rapport. Adressen till hemsidan är; [www.iea-pvps-task10.org](http://www.iea-pvps-task10.org). Utvecklandet av utbildningsmaterial ingår även här. Den svenska arbetsinsatsen har koncentrerats just på den delen av T10:s arbete.

#### ***3.5.3 Status i Task 10 – juni 2005***

T10 är planerat att pågå i fem år. Nedan beskrivs de aktiviteter som planeras genomföras. Sveriges insatser ingår i subtask 4 under aktiviteten 4.1, ”Educational Tools”, ”Information development and Dissemination”.

##### **Aktivitet 4.1 Educational Tools**

Den svenska målsättningen är att utnyttja det internetbaserade projekteringsverktyget ”solcell.nu”. Delar av verktyget kommer att översättas till engelska och nya anläggningsbeskrivningar kommer att läggas till i form av s.k. ”case studies”. I den svenska versionen beskrivs tre anläggningar från Hammarby Sjöstad; JM:s, NCC:s och Familjebostädernas projekt. Deltagarna har uppmanats att skicka in minst en beskrivning från varje land, enligt en mall som baseras på upplägget i ”solcell.nu”.

#### ***3.5.4 Den svenska aktörgruppen***

I EB:s arbete inom Task 10 ingår det att bygga upp en s.k. aktörsgroup (stakeholders) som har till uppgift att ge synpunkter på arbetet, fungera som ett bollplank för idéer och även verka för att resultaten sprids på ett effektivt sätt inom landet. Vissa frågor har aktualiserats i samband med det statliga stödet till solceller på offentliga byggnader och kan vara lämpliga att diskutera i en sådan grupp. Ett exempel är frågan om ekonomisk ersättning vid leverans av solcellsgenererad el ut på nätet. Förslagsvis kan en aktörsgroup bestå av ett mindre antal fasta personer och därutöver kan olika personer och företag bjudas in att medverka. Ett första möte genomfördes i samband med Energitinget i Eskilstuna den 9 mars 2005.

En viktig förutsättning för att en sådan här grupp ska fungera är att den består av aktiva deltagare. Det visar sig helt naturligt att intresset för frågorna ökar betydligt när ett företag eller en enskild person blir involverad i ett solcellsprojekt. Tack vare det nuvarande statliga investeringsstödet har antalet engagerade företag och personer ökat kraftigt på en relativt kort tid.

## 4 Utvärderingar och driftuppföljning av svenska solcellssystem

### 4.1 Driftuppföljning av svenska nätanslutna solcellsanläggningar

Jonas Hedström, Energibanken i Jättendal AB, [jonas@energibanken.se](mailto:jonas@energibanken.se)

Driftuppföljningen bedrivs kontinuerligt och redovisas på [www.elforsk.se/solenergi](http://www.elforsk.se/solenergi)

#### 4.1.1 Bakgrund

Under 1983 anslöts för första gången en solcellsanläggning till det svenska elnätet. Antalet har sedan dess ökat till 24 aktivt anslutna anläggningar. Fyra stycken har under tiden av olika skäl tagits ur drift. Alla nätanslutna svenska anläggningar är uppförda på byggnader och representerar ett välbalanserat urval av tillämpningar med avseende på möjliga tekniska och arkitektoniska lösningar.

#### 4.1.2 Målsättning

Programstyrelsen för Solel 00-02 såg vid programmets inledning ett behov av en uppföljningsrutin för befintliga och framtida anläggningar. Målsättningen med driftuppföljningen har varit att genom att sammanställa och analysera driftdata skapa ett underlag för bedömningar av produktionsresultat, typiska felkällor, hindertid, degradering, underhållsbehov och trender för kostnader och nya tekniker. Genom att resultaten publiceras på Elforsks webbplats säkerställs spridningen till en vidare grupp.

Deltagandet i IEA-PVPS Task 2 gör att Sverige får del i det internationella arbetet på området och tillgång till ett brett globalt nätverk av experter.

#### 4.1.3 Projektbeskrivning

##### *Tidigare aktiviteter:*

Arbetet med driftuppföljningen har pågått sedan 2000. Tabell 4 beskriver insatser som gjorts under tidigare etapper.

Tabell 4 Aktiviteter i kronologisk ordning

År	Beskrivning
2000	Insamling av anläggningsbeskrivningar och historiska produktionsdata. Upprättande av datainsamlingsstrategier
2001	Uppbyggnad av web-baserad databas.
2002	Inkörning och drift av webbpublicerad databas
2003	Sammanställning av data, nya anläggningar och analys av mekanismer som påverkar anläggningars produktion
2004-2005	Insamling av produktionsdata och adderande av nya anläggningar. Degradering hos komponenter. Felfunktion och därmed resulterande hindertid. Nya metoder för datainhämtning (färdig våren 2006)

- Databasen som är publicerad på [www.elforsk.se/solenergi](http://www.elforsk.se/solenergi) har byggts upp i samarbete med SysTeam AB i Uppsala och togs i drift i mars 2002.
- Anläggningarna är beskrivna med storlek, startår, lokalisering, bilder, ingående komponenter och systemuppbyggnad.
- Historiska data från 1999-01-01 har lagts in i databasen som startvärden.
- Databasen uppdateras den tionde varje månad med alla nytillkomna värden

### ***Nya anläggningar under projektiden***

Under innevarande rapportperiod, (2003-09 – 2005-12), har 6 anläggningar adderats till databasen. Ytterligare en anläggning står på tur att läggas in i databasen (Västerås Högskola). Den har av tekniska skäl ännu inte driftsatts. Under perioden har även den fristående anläggningen på Bullerö på 1,5 kW tagits ur drift. Utöver detta har anläggningen på högskolan i Borlänge utökat sin kapacitet från 1,8 till 3,0 kW. De som tillkommit beskrivs i Tabell 5.

**Tabell 5 Nya anläggningar under projektperioden 2003-09 till 2005-11**

<b>Namn på anläggning</b>	<b>Lokalisering</b>	<b>Toppeffekt [kW]</b>	<b>Datum för drifttagande</b>
NCC Holmen	Stockholm	17,6	2003 – 09 –12
Lysande	Stockholm	21,9	2004 – 01 –23
NCC Gynnan	Stockholm	17,1	2004 – 04 – 22
Lars Kaggskolan	Kalmar	2,6	2002 – 01 – 01
<i>Västerås Högskola</i>	<i>Västerås</i>	<i>1,4</i>	<i>Ej i databas *</i>
Augustenberg	Malmö	11,0	2005-03
ABB testanläggning	Västerås	3,0	2005-05-11

\* Färdig i september 2002. Ej drifttagen pga tekniska problem.

#### ***4.1.3.1 Driftresultat***

2003, 2004 och 2005 kan beskrivas som solinstrålningmässigt bra år i Sverige. SMHI mätte vid sina mätstationer i södra Sverige över 3% mer solenergi än under normala år. Tabell 6 nedan redovisar övergripande fakta från driftuppföljningen.

**Tabell 6 Sammanfattning av driftuppföljningen under projektperioden 2003-09 till 2005-11**

Toppeffekt 1 januari 2003	117	[kW]	19 anläggningar i databas
Toppeffekt 31 december 2003	136	[kW]	20 anläggningar i databas
Toppeffekt 31 december 2004	195	[kW]	23 anläggningar i databas
Toppeffekt 30 nov 2005	209	[kW]	24 anläggningar i databas
Producerad växelströmsenergi 2003	93	[MWh]	100% dataåterbäring
Producerad växelströmsenergi 2004	114	[MWh]	97% dataåterbäring
Producerad växelströmsenergi 2005-11	117	[MWh]	94% dataåterbäring
Förlorad energi 2003-09 - 2005-11	4	[%]	pga felfunktion

### ***Tillförlitlighet***

**Solcellsmoduler** är gjorda för att klara typgodkännanden som innebär livslängder över 20 år. De flesta tillverkare ger garantier på 25 år. Det finns därför en allmän konsensus i solcellsvärlden att degradering av modulprestanda är ett litet problem. Anläggningar i den svenska databasen har studerats med avseende på trender över längre tid och i vissa fall har mer direkta mätningar gjorts. Slutsatsen är att degradering av moduler i de anläggningar som ingår i databasen är helt försumbar och begränsas till en form av tillverkningsfel hos en typ av tunnfilmsmodul.

**Växelriktare** har på samma sätt studerats. Med utgångspunkt från befintliga och representativa växelriktare har det visats att livslängden är långt över 10 år. En siffra som bekräftas från liknande studier ute i Europa.

**Systemfel** av annan art har gett upphov till små problem. Dock har det förekommit att försummad tillsyn har lett till lång tid från att fel har uppstått tills de är upptäckta och åtgärdade. Det har uppskattats att siffran 4% förlorad energi på grund av felfunktion i Tabell 3 snarare skulle vara 1 till 2% om alla fel åtgärdas inom tre månader.

#### ***4.1.4 Framtida utbyggnad***

Den framtida utbyggnaden av nätanslutna anläggningar kan förväntas öka från 209 kW i slutet av 2005 till 2 MW vid utgången av 2007. Skälet är det 70-procentiga investeringsstödet till solceller på offentliga byggnader. Den utökade datahantering som detta leder till kommer att kräva automatiseringar och förenklingar av de metoder som används för att hämta in data. Beskrivningen av anläggningarna kommer att bli mindre detaljerad. Som en delaktivitet i projektet har metoder för automatiserad datainhämtning studerats. Ett förslag som baseras på GSM-teknik har presenterats. I samarbete med Statens Provningsanstalt kommer under våren 2006 ett mer specificerat förslag på nya datainhämtningsmetoder att studeras.

Redan i november 2005 finns minst två nya anläggningar färdigställda som är finansierade genom investeringsstödet. De kommer att adderas till databasen när alla detaljer kring uppbyggnad och dataöverföring är klara. Toppeffekten är på 68 kW tillsammans.

#### ***4.1.5 Tillgång till driftuppföljningens data***

När formerna för driftuppföljningen etablerades överenskomms att databasens information skulle göras elektroniskt tillgängliga för andra aktörer genom att alla data läggs i en excel-fil. Den ska innehålla anläggningsbeskrivningar exklusive bilder, publicerade data och dessutom historiska data tillbaka till 1991 för de äldre anläggningarna. Den är tillgänglig för intresserade användare och fås från Energibanken.

## 4.2 Utvärdering av MaReCo-hybrid i Hammarby Sjästad

Anna Helgesson, Vattenfall Utveckling AB, [anna.helgesson@vattenfall.com](mailto:anna.helgesson@vattenfall.com)

Peter Krohn, Vattenfall Utveckling AB, [peter.krohn@vattenfall.com](mailto:peter.krohn@vattenfall.com)

Elforsk rapport 05:36

### 4.2.1 Bakgrund

Tidigt 2004 levererades 30 m<sup>2</sup> (12 moduler) MaReCo-hybridsolfångare för installation på ett av SBC:s hus, i kvarteret Kobben, i Hammarby Sjästad (en miljöanpassad stadsdel i Stockholm). Hybriden ska värma vatten i ackumulatortankar samt, via en nätanslutten växelriktare, mata ut el till fastigheten. Till följd av förseningar i installationerna driftsattes systemet först under våren 2005.

Den använda MaReCo-hybriden har utvecklats av Vattenfall Utveckling AB inom ett tidigare Elforskprojekt. Tillverkningen av modulerna har skett vid VUAB med en lokal entreprenör. MaReCo-hybriden består i princip av ett parabolformat reflektortråg med en längsgående, dubbelsidigt belyst, hybridabsorbator. Hybridabsorbatorn är uppbyggd av en speciellt utformad aluminiumprofil med rör för vattencirkulation på ena sidan och solceller laminerade på den andra. Till skillnad från en konventionell solfångare erhålls från en hybrid både el och värme, vilket innebär ett effektivare utnyttjande av solenergin samt att kostnaden för varje producerad kWh<sub>el</sub> kan sänkas. Målsättningen med utvecklingen är att hybriden i ett framtida kommersiellt skede ska kunna installeras till ett pris av 2 000 kr/m<sup>2</sup> och ge ett årsenergiutbyte om 50 kWh<sub>el</sub> och 200 kWh<sub>värme</sub> per m<sup>2</sup><sub>glasad area</sub>.

### 4.2.2 Syfte

Syftet med det aktuella projektet var att VUAB, i samarbete med SBC, skulle utvärdera anläggningens värme- och elproduktion under ett års drift.

### 4.2.3 Genomförande

För att kunna följa anläggningsdriften även efter projektets slut valde SBC att använda dataundercentralen (DUC:en) i fastighetens styr- och kontrollsystem för mätdatainsamling. Vidare var tanken att man skulle kunna fjärransluta sig via Internet till DUC:en vid överföring av mätdata för utvärderingen och för SBC:s del även för att kunna visa realtidsvärden vid exempelvis presentationer av projektet. Fjärrkommunikationen med systemet kunde dock inte realiseras till en rimlig kostnad varför alla mätdata för utvärderingen distribuerades till VUAB manuellt. Allt arbete med detta utfördes på entreprenad av JM, som i sin tur anlätade underentreprenörer.

Solvärmesystemets uppföljning erfordrade, utöver solinstrålningsmätning, egentligen inga andra givare än vad som redan introducerats för att styra solfångardriften. Även solfångarstyrningen integrerades i DUC:en. Under arbetet visade det sig ånyo att installationsentreprenörerna är mycket ovana att hantera multipla energiinmatningar, särskilt de förnyelsebara typerna.

På solcellssidan blev nästa utmaning för fastighetsägaren att hitta en växelriktare för nätanslutningen. De ursprungliga planerna hade hunnit föråldras i och med förfluten tid samt en halvering anläggningsdimensionen.

För styrning av solcellssystemet krävs ingen utrustning utöver den autonoma växelriktaren. Eftersom I/V-karakteristiken för ett koncentratorsystem ser annorlunda ut i jämförelse med ett konventionellt system infördes givare för mätning av ström och spänning på likströmssidan av växelriktaren. För att enkelt följa elproduktionen infördes också energimätning på växelströmssidan efter växelriktaren. För utvärderingen, av såväl värme- som elutbyte, erfordras information om solinstrålningen. Solinstrålningsgivare monterades både i hybridsolfångarens glasade öppningsplan och i solfångarens ekvivalenta horisontalplan, då hybriderna är monterade i takets lutning.

#### **4.2.4 Resultat**

Vid leveransen till Stockholm erfors att hybriderna är skrymmande och därmed svåra att transportera rationellt. I Figur 4 visas en bild av solfångarna uppställda på taket i Hammarby. Bilden är tagen strax efter leveransen, innan installation mot fastighetens el- och värmesystem.



**Figur 4** Översiktsbild över hybridanläggningen i Hammarby Sjästad.

Planen var att utvärdera anläggningens prestanda under ett års drift. Till följd av förseningar erhöles dock mätdata först sent våren 2005, varför en årsuppskattning av energiproduktionen inte kunnat göras.

Vad gäller värmeproduktionen har ett fåtal mätdata via fastighetens styr- och kontrollsystem kunnat samlas in under den korta driftperioden. Utifrån dessa data kan konstateras att temperaturnivån i solfångarsystemet varit relativt låg samt att ackumulatortanken i princip är omblandad. Fastighetsägaren rekommenderas därför att utföra en injustering av anläggningen.

Vad gäller elutbytet upptäcktes efter installationen att en del solcellsmoduler inte gav någon elektrisk effekt. Genomförda tester antyder att kontaktbanden mellan cellerna i modulerna skadats. Ett försök gjordes att koppla om modulerna för att erhålla en fungerande enhet för utvärdering, men andelen defekta moduler var dock för stor. Detta

problem är emellertid mer av praktisk än av principiell art och bör enkelt kunna åtgärdas genom att absorberarna byts ut.

I projektet har även ingått studie av så kallade "mjuka frågor" avseende de speciella systeminstallationerna. Några kommentarer rörande detta område är att det är viktigt med en långsiktig satsning för att nå ett hållbart boende samt att redan tidigt i planeringsprocessen ta hänsyn till en eventuell solenergiinstallation, varvid bl.a. finansiering, ägarförhållanden och underhåll är intressanta frågor att beakta. Vidare är det viktigt med ett starkt engagemang av alla inblandade parter för att ett gott resultat ska erhållas.

Projektet presenterades också vid "19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition" i Paris i juni 2004.

#### **4.2.5 Slutsatser**

Konceptet med en koncentrerande hybridsolfångare som levererar både el och värme är intressant eftersom det möjliggör ett effektivt utnyttjande av den tillgängliga solenergin. Tidigare prototypvärderingar gör gällande att en MaReCo-hybrid kan öka elutbytet per cellarea med ca 50%. För ett gott helhetsresultat är det viktigt med ett starkt engagemang och en god planering av såväl förberedelser och installation som framtida drift och underhåll.

## 5 Systemstudier

Under 2003/2004 planerades en större studie kallad ”Solceller i Sverige”. Innan det planerade projektet hann sjösättas fick Energimyndigheten ett uppdrag av departementet att redovisa en kartläggning av potentiella nischmarknader för solceller och graden av kommersialiseringsmognad och efter en aktörsanalys föreslå åtgärder för att främja introduktionen av solceller. Detta uppdrag överlappade delvis den studie som planerats inom Solel-programmet. Programstyrelsen beslutade därför att låta Staffan Jacobsson och Björn Sandén, Chalmers, göra en delstudie där resultatet gick in i Energimyndighetens uppdrag.

### 5.1 Att befrämja solcellstekniken i Sverige: Varför, hur och hur mycket?

Staffan Jacobsson, Industriell Dynamik, Chalmers Tekniska Högskola samt RIDE (IMIT och Chalmers Tekniska Högskola), [stajac@mot.chalmers.se](mailto:stajac@mot.chalmers.se)

Björn Sandén, Miljösystemanalys, Chalmers Tekniska Högskola samt RIDE (IMIT och Chalmers Tekniska Högskola), [bjorn.sanden@esa.chalmers.se](mailto:bjorn.sanden@esa.chalmers.se)

Rapporten är utgiven i Miljösystemanalys rapportserie, ESA-rapport 2005:2, och kan laddas ned från [www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel)

#### 5.1.1 Bakgrund

Inom ramen för långsiktiga forskningsprogram, i främst USA, Japan och Tyskland men även i Sverige, har det sedan mitten av 1970-talet utvecklats en rad olika solcellstekniker. Fram till 1990-talet var marknaden mycket liten men med kraftfulla stödprogram i främst Japan och Tyskland har industrin gått in i en tillväxtfas. Således växte den årliga produktionen av solceller från 90 MW 1996 till ca 750 MW 2003. Tillväxten återfinns i huvudsak i nätanslutna anläggningar på byggnader. Medan det japanska stödprogrammet drevs av investeringssubventioner och höga elpriser bygger den tyska marknadstillväxten främst på en inmatningslag som garanterar i stort sett kostnadstäckande ersättning, i dagsläget (2004) 57.4 eurocents per kWh för den el som genereras i en solcellsanläggning. Denna är garanterad i 20 år men en prispress är inbyggt i stödsystemet genom att ersättningen sänks för nya investeringar. Japanska företag dominerar produktionen med en andel på nästan 50 procent av världsmarknaden 2003, men även en mängd europeiska tillverkare har vuxit fram. I takt med att antalet tillämpningar ökat, har även en rad andra företag än de som producerar solceller och moduler etablerats. Särskilt betydelsefullt är byggsektorns engagemang. En omfattande industriell verksamhet håller således på att byggas upp, främst i Japan och Tyskland men expansion sker även i andra länder.

### **5.1.2 Målsättning**

Mot denna bakgrund är målsättningen med rapporten att genomföra en beskrivning av stödprogram för solceller i andra länder samt en analys av för- och nackdelar med olika tänkbara svenska stödåtgärder.

### **5.1.3 Genomförande**

Båda författarna har länge varit verksamma med att analysera frågor kring teknisk och industriell utveckling och samarbetade nyligen i en studie om framväxten av solcellstekniken i Tyskland. En av oss skrev sin avhandling i detta teknikområde. Till detta projekt förde vi således in en stor mängd erfarenhet och specifik kunskap om solcellsområdet. Till denna lades möjligheten att samspela med viktiga svenska aktörer i Sverige inom ramen för ett projekt som drevs av Energimyndigheten. De diskussioner som fördes under projektmötena gav mycket och påverka vår skrivning.

### **5.1.4 Resultat**

Den svenska positionen skiljer sig markant från dessa länders genom att en relativt stor (per capita) satsning på forskning inte kombineras med några marknadsskapande åtgärder av betydelse. Den lilla svenska marknaden på 0,2-0,3 MW per år finns främst inom fritidssektorn som efterfrågar system fristående från elnätet. Några demonstrationsprojekt med nätanslutna system har genomförts, till exempel Hammarby Sjöstad. Samtidigt som marknaden är liten finns det ett stort intresse för solcellstekniken bland allmänheten. Detta yttrar sig både i en önskan om statligt stöd till denna och i ett intresse att betala extra för solel. Det är emellertid inte möjligt för en enskild konsument att köpa solel. Med undantag av fyra företag som sammanfogar celler till moduler, vilka går på export, är den svenska aktörsbasen tunn. Den marknad som har funnits har inte varit stor nog att ge utrymme för formandet av starka nätverk där olika led, i exempelvis byggprocessen, har givits möjlighet till ett gemensamt lärande. Ej heller har det skapats starka intresseorganisationer som företräder den nya tekniken på olika arenor. Det saknas även standardlösningar för byggdelskomponenter och solcellsmoduler, certifiering av installatörer och ett genomtänkt förhållningssätt till bygglov.

Vi föreslår en strategi där Sverige bryter den tidigare inriktningen mot att stödja enbart forskning och att denna kompletteras med marknadsstödjande åtgärder. Med beaktande av de möjligheter som finns att bygga ut både vindkraft och kraftvärme baserat på biobränsle föreslår vi en defensiv strategi. Denna strategi skulle innebära att Sverige följer de ledande länderna med en tidseftersläpning på kanske ett årtionde med avseende på marknads storlek (satt i relation till befolkningen). Marknaden behöver dock vara tillräckligt stor för att ett läroutrymme kan formas där en svensk leverantörsindustri (i bred mening) kan växa fram. Från denna bas kan delar av leverantörsindustrin ta tillvara den snabbt expanderande internationella marknaden samtidigt som en inhemsk kompetensbas kan nyttjas för en vidare spridning av solceller i det svenska kraftsystemet om detta, i det läget, anses önskvärt.

Strategin omfattar två distinkta faser. I en första och formativ fas är syftet att genom olika medel undanröja eller minska kraften i de ovan nämnda hindren för en spridning

av solceller i Sverige. Detta innebär att målet är att få till stånd en vidgad aktörsbas, tätare nätverk, stärkta intresseorganisationer, standarder, certifiering av installatörer samt, i allmänhet, höja medvetenheten och kunskapen om solcellstekniken i samhället. De medel som föreslås användas är dels sådana som skapar incitament för att investera i solceller, dels medel som kompletterar sådana instrument.

Till ROT bidraget för offentliga byggnader, som omfattar omkring 2 MW, bör läggas ett långsiktigt demonstrationsprogram på cirka 3 MW vilket föreslås sträcka sig in i nästa fas. Detta inriktas mot nybyggnation på den privata marknaden. Alla demonstrationsanläggningar bör följas upp med både teknisk och samhällsvetenskaplig analys. En möjlighet är att redan för dessa program införa 'net metering' (alternativt två mätare där den ena mäter el som går till nätet) som ett sätt att få erfarenheter inför en inmatningslag (se nedan). Investeringar som görs inom ramen för dessa två program kan verka tillsammans med olika solelbörser, vilka bygger på en betalningsvilja hos enskilda elkonsumenter. Bland demonstrationsprojekten bör vi finna sådana som innehåller oprövad svensk teknik, till exempel den tunnfilmsteknik som nu tas fram i Uppsala. Även svenskt bistånd till landsbygdselektrifiering i, till exempel, Afrika, skulle kunna nyttjas för att skapa ett marknadsutrymme för svensk teknik. Ett program på 2 MW kan vara rimligt. Vi ser det som väsentligt att dessa mindre marknadsutrymmen temporärt avsätts för svensk teknik för att ge svensk industri en möjlighet att lära sig tekniken och få upp en viss volym på verksamheten.

Som komplement till dessa program föreslås åtgärder som syftar till att höja medvetenheten om solcellstekniken samt skapa den kompetens och de nätverk som krävs för att den skall kunna spridas. Vi föreslår att demonstrationsanläggningarna nyttjas systematiskt för att nå ut till arkitekter och byggherrar. Vi föreslår även att det skapas en fysisk och en virtuell plattform för möte och erfarenhetsutbyte mellan arkitekter, byggherrar, kraftbolag, entreprenörer, stadsbyggnadsarkitekter, solcellskonsulter, leverantörer av solcellsmoduler samt olika intresseorganisationer. Tillsammans med ytterligare aktörer kan dessa även utgöra en kompetensbas som företräder solcellstekniken i olika fora och säkerställer att solcellsteknikens möjligheter tas till vara. Den virtuella plattformen skulle kunna utgöras av en utvidgning av [www.solcell.nu](http://www.solcell.nu) vilken är en portal inriktad mot solcellstekniken. Handböcker/guider behöver tas fram för elektriker, installatörer, energirådgivare etc. Slutligen föreslår vi att utbildningsprogrammen och universitetsforskningen stärks inom området. En professur inom solcellsarkitektur bör skapas.

Genom dessa åtgärder läggs den grund i form av aktörer, kompetens, nätverk, infrastruktur och standarder som krävs för att mer omfattande marknadsstödjande program ska kunna tillämpas i en andra fas, en tillväxtfas. Redan nu bör detta program planeras och hur det skall utformas bör kommuniceras för att skapa intresse bland olika företag. I denna kommunikation är det väsentligt att förklara hur tidiga investerare (genom demonstrationsprogram och frivilliga åtgärder) inte kommer att lida ekonomisk skada av att vara banbrytare.

Det finns ett antal olika stödformer att välja mellan. För att ett sådant skall stödja spridningen av solcellstekniken krävs att det ger kraftfulla och förutsägbara incitament, annars investerar sannolikt inte företag och privatpersoner i solceller. Gröna certifikat och

utsläppsrättigheter uppfyller inte dessa krav. För leverantörsindustrins olika led måste dessutom programmet vara uthålligt och vara av en omfattning som gör att investeringar i lärande och utrustning kan motiveras. En inmatningslag likt den tyska uppfyller de tre första kriterierna och kan även uppfylla det fjärde. Från 2008-2009 föreslås därför införandet av en inmatningslag med en prisnivå som leder till kostnadstäckning. Vi föreslår att ett första ”tak” på den spridning som detta program skapar sätts till 100 MW med en begränsning av den årliga marknaden till 15 MW. 100 MW motsvarar ungefär 33 000 anläggningar à 3 kW. Om den nordiska elmarknaden nyttjas för att skapa en nordisk inmatningslag kunde nivån höjas till 250 MW (ungefär 82 000 anläggningar). Detta skulle innebära en markant ökad stimulans för företag att satsa på solcellstekniken, med alla fördelar som finns med mångfald, och bättre förutsättningar för att sänka kostnaderna. Kostnaden, utslagen per kWh förbrukad el i Sverige, alternativt Norden, skulle vara modest. Om vi antar att taket på 100 MW nås år 2017, blir den maximala kostnaden per år, givet vissa antaganden, 0.3 öre per kWh.

Parallellt med dessa marknadsskapande åtgärder föreslås en fortsatt satsning på FoU rörande olika typer av tunnfilmsteknik. Tekniken är långt ifrån färdigutvecklad och den starka miljö som finns i Sverige är en resurs som måste vårdas. Denna forskning bör kompletteras med mer systeminriktad forskning, främst i anslutning till demonstrationsprojekt samt med forskning inriktad mot att utveckla produktionsteknik.

## 6 Demonstration av intressanta tillämpningar

### 6.1 Vidareutveckling av överliggande reflektorer för fristående solcell-system för årstidsutjämning

Peter Krohn, Vattenfall Utveckling AB, [peter.krohn@vattenfall.com](mailto:peter.krohn@vattenfall.com)  
Vattenfall Utveckling AB Rapportnummer U04:138

#### 6.1.1 Bakgrund

En många gånger avgörande nackdel med solceller för strömförsörjning av kontinuerliga laster är att utbytet blir beroende av solinstrålningens variation över såväl dygnet som året. Med laddningsbara batterier klarar man av att hantera dygnsvariationen. Det är svårare att med realistisk insats klara årstidsvariationen. Sedan slutet på 1980-talet har man vid Vattenfall Utveckling AB arbetat med reflektorer med avsikt att reducera kostnaden för solenergisystem. Det har då handlat om att maximera det totala utbytet från exempelvis en solfångare.

För att få maximalt utbyte från en solcellsmodul vintertid, ska den på våra breddgrader placeras i det närmaste vertikalt. Genom att placera ett reflektorplan i överkant av solcellsmodulen kan instrålningen mot dess yta öka ytterligare samtidigt som den kommer skyddas mot snö och frostbeläggning. Sommartid kommer emellertid reflektorn att skugga solcellsytan vilket dock saknar betydelse då installationen syftar till årstidsutjämning av produktionen. Försök med överliggande plan reflektor i system mot referens inleddes 1998 vid Älvkarlebylaboratoriet. Utbytet under vintermånaderna har visat sig kunna öka med mer än 30% medan årsutbytet i ogynnsamma fall sjunker ner mot 50% i reflektorsystemet relativt referensen utan reflektor.



Figur 5 Tidig provuppställning vid Vattenfall Utveckling AB med överliggande reflektor, referensmodulen ovanför är snötäckt.



Figur 6 Exempel på soleftförsörd frångiljarstation utan reflektor

En applikation som visat sig kunna dra nytta av dessa fördelar är fjärrkontrollerade kraftledningsfrånskiljare vars styrdon och kontrollsystem strömförsörjs med solceller enligt Figur 6. Nortroll AB levererar denna typ av utrustning till bland andra Vattenfall Eldistribution AB som har cirka 400 stycken i distributionsområde Mellan. Ett problem har varit att energitillgången ibland varit otillräcklig. Detta har främst inträffat vintertid då infallande ljus är begränsat under långa perioder.

#### Utveckling av reflektor

Som en del i det nationella solcellsprogrammet SOLEI 00-02 påbörjades arbete under 2001 vid Vattenfall Utveckling AB med utvecklingen av en plan reflektor för frånskiljarstationer med solcells-försörjning, enligt Figur 8.

Ett grundläggande praktiskt krav är att en kristallin solcellsmodul måste ha jämn belysning över hela ytan för att leverera elektrisk effekt motsvarande instrålningen. Detta får i sin tur den praktiska följderna att reflektorn måste ha en större yta än solcellsmodulen för att fungera under längre tid av dagen och året, än bara den stund solljusets infallsvinkel överensstämmer med reflektorns position relativt solcellsmodulen. Reflektorn fick storleken 130x98 cm<sup>2</sup> vilket kan jämföras med solcellsmodulens 59x50 cm<sup>2</sup> och väger bara 5,7 kg. Det är viktigt med låg vikt för att kunna montera reflektorn utan hjälp av skylift eller liknande specialfordon. För att fungera bra måste reflektorn också vara formstabil ur både optisk och mekanisk synpunkt. Rätt positionering av reflektorn erhålls genom att prefabricerade konsoler, som skruvas fast i befintliga hål på solcellsmodulen, håller reflektorn på plats. En metod att montera reflektorn utvecklades i samarbete med entreprenören Vattenfall Service Syd AB.



Figur 7 Reflektor med konsoler och stagning



Figur 8 Prov- och referenssystem vid Älvkarlebylaboratoriet

#### 6.1.2 Prov i fält och laboratorium

Åtta stationer i Vattenfall Sveanäts, numer Vattenfall Eldistribution AB, område försågs med reflektorlösning enligt Figur 7 under vintern 2001/2002. Av anvisade platser har några avståtts från installation för att erhålla referenssystem. Vidare har några platser

valts bort med hänsyn till dåliga förutsättningar på grund av skuggning eller annan för montage besvärande anledning.

Ett provsystem med reflektor och en referens för detaljerade jämförande mätningar enligt Figur 8 sattes upp vid Vattenfall Utveckling AB, Älvkarlebylaboratoriet. Här följs belastning, laddningsström och batterispänning kontinuerligt med hjälp av mätningar med logger.

### **6.1.3 Mål**

Projektets pågående del har haft som mål att verifiera årstidsutjämningsfunktionens tillräcklighet i fält och laboratorium vid lågljussäsong.

### **6.1.4 Fältförsök**

8 stycken fränkiljarstationer i Vattenfall Eldistribution ABs nät i Norduppland försågs med reflektorkonstruktionen i början av 2002. I projektplanen var avsikten att besöka dessa samt referenssystemen för att få jämförande uppgifter om batteristatus.

Liksom montageperioden drabbades av vädret har också utvärderingen drabbats. Trots en underhållsinsats av samtliga fränkiljarstationer hösten 2003 ställde huvudsakligen två stormar under hösten och vintern till avsevärda problem på kraftledningsnätet i det aktuella området. Vid det första uppföljningstillfället visar det sig att flera batterier helt tappat kapaciteten, fjärrstyrningar varit urkopplade och någon laddningsregulator helt enkelt gått sönder. Vid följande besök har status sedan ändrats i sådan grad att några slutsatser beträffande reflektorns inverkan är näst intill omöjlig att dra.

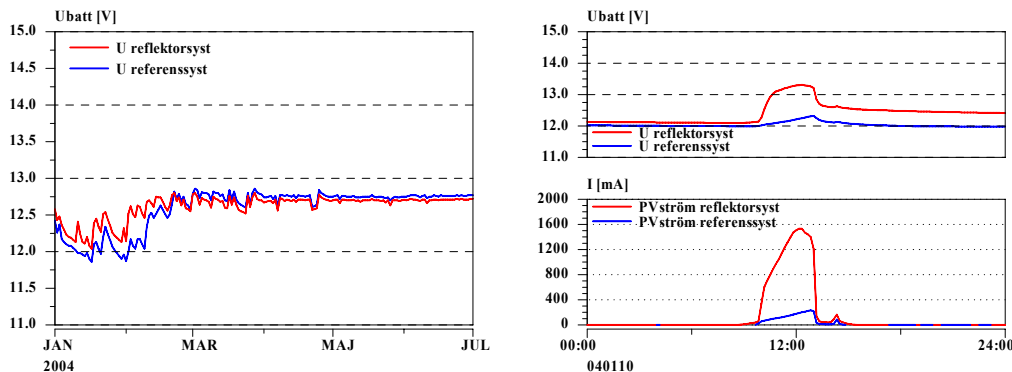
I brist på statistik får enskilda iakttagelser exemplifiera nyttan även om även om absoluta prestanda inte kan bestämmas på det viset. Ökad laddningsström vid montage av reflektorn är ett konkret exempel på funktionen. Vid något fall uppmättes 1,22 A och 2,15 A före respektive omedelbart efter montage av reflektorn.

I drift är annars batterispänningen den parameter som lättast kan iakttagas i fält och ge ett ungefärligt mått på systemets status. I anslutning till en reparation den 19 februari uppmättes batterispänningen till 12,2 V. Batteriet är då således inte fulladdat. Tidpunkten är intressant eftersom man i laboratoriesystemet kunnat konstatera att laddningsbegränsning hunnit inträda redan så tidigt på säsongen som tre dagar senare. Fyra dagar senare har spänningen i systemet i fält ökat med 0,4 V vilket är mätbart mer än vad som erhållits i laboratoriereferensen som inte begränsats laddningsbegränsning eller extrema nivåer i spänning.

Totalt sett tyder tecknen på att reflektorn på systemet i fält givit ett bättre utbyte i systemet än om den inte funnits. I motsvarande grad är det svårt att kvantifiera storleken av förbättringen. Tillgängligheten hos systemen har som tidigare nämnts varierat kraftigt. I något fall förväntades spänningen ligga högre än vad som detekterats. Trots problem med hög växtlighet runt omkring har stationens solcellsmodul en gynnsam riktning nästan rakt söder ut med fritt ljusfält längs kraftledningsgatan. Här borde reflektorn göra stor nytta men försöket har alltså inte kunnat påvisa det.

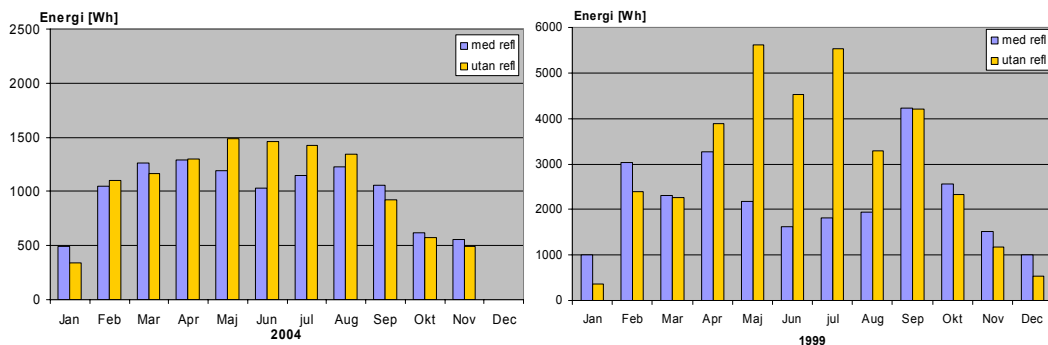
### 6.1.5 Laboratiemätningar

Reflektornytan presenteras nedan i några diagram. Mest betydelsefull är den i januari. Ett exempel är den 10 januari, när molnen skingras får reflektorsystemet ett rejält lyft som avspeglas i bestående spänningsnivå i mörker.



Figur 9 Tv, spänningsnivåerna i reflektor- respektive referenssystem första halvåret, värdena är midnattsnoteringar dvs laddningsnivåerna dagtid syn ej. Th, spänningsnivåer och laddningsströmmar en solig dag i januari.

Av Figur 9 kan man se en antydning till att nyttoäsongen för reflektorn är relativt kort. Det framgår också av solcellens energiutbyttetsfördelning över året i Figur 10. Där visas också utbytet för den första försöksuppsättningen, se Figur 5. I det systemet är lasten sådan att all instrålning kan tillgodogöras, på så vis blir nyttoäsongen för reflektorn längre än i det verkliga systemet med laddningsbegränsningsfunktion. På så vis åstadkommes också en ännu tydligare årstidsutjämnning än vad som antogs initialt.



Figur 10 Energiutbytesfördelning på system från 1999 med maximalt utnyttjande av energin, och frånskiljarsystemet med sin verkliga last och laddningsreglering.

Av Figur 10 kan man också dra slutsatsen att systemet har avsevärda laddningsförluster. Frånskiljarsystemet har en årslast om 6600Wh eller ungefär 550Wh per månad. Batteriförlusterna överstiger alltså 50% sommartid.

Sammantaget verkar reflektorn ha avsedd effekt med tydlig årstidsutjämning. Utbytet ökar i reflektorsystemet under den kritiska delen av året. Med normalt användande av systemet är energitillförseln tillräcklig för att upprätthålla spänningsnivån.

## **6.2 Industriell utveckling av hybridabsorbator vid Texusn och GPV**

Björn Karlsson, Energi och ByggnadsDesign, LTH, [bjorn.karlsson@ebd.lth.se](mailto:bjorn.karlsson@ebd.lth.se)

### **6.2.1 Bakgrund och Målsättning**

En solcellsmodul uppbyggd av enkristallint eller polykristallint kisel omvandlar 10-15% av solstrålningen till elektrisk energi. Den resterande andelen solstrålning bidrar till att oönskat värma upp solcellen och avges till omgivningen i form av värme. Idag utgör solcellen och solfångaren två olika enheter placerade var för sig. I en framtid är det attraktivt att bygga ihop dessa till en enda enhet för att spara utrymme, minska materialåtgång och kostnad. Det är i princip enkelt att åstadkomma genom att man kyler solcellen och nyttjar värmen.

I detta projekt samarbetar GPV i Gällivare som är en av Europas större tillverkare av solcellsmoduler och Texusn i Skellefteå som tillverkar absorbatorer för solfångare för att utveckla en plan hybrid. Målsättningen är att utveckla en industriellt producerad hybridabsorbator, bestående av solceller som lamineras av GPV på en plan stålabsorbator från Texusn. Absorbatorn skall kunna tillverkas i varierande bredder mellan 100 mm och 600 mm. Den skall kunna användas som en oglasad solfångare avsedd för låga temperaturer och som en glasad solfångare för högre drifttemperaturer.

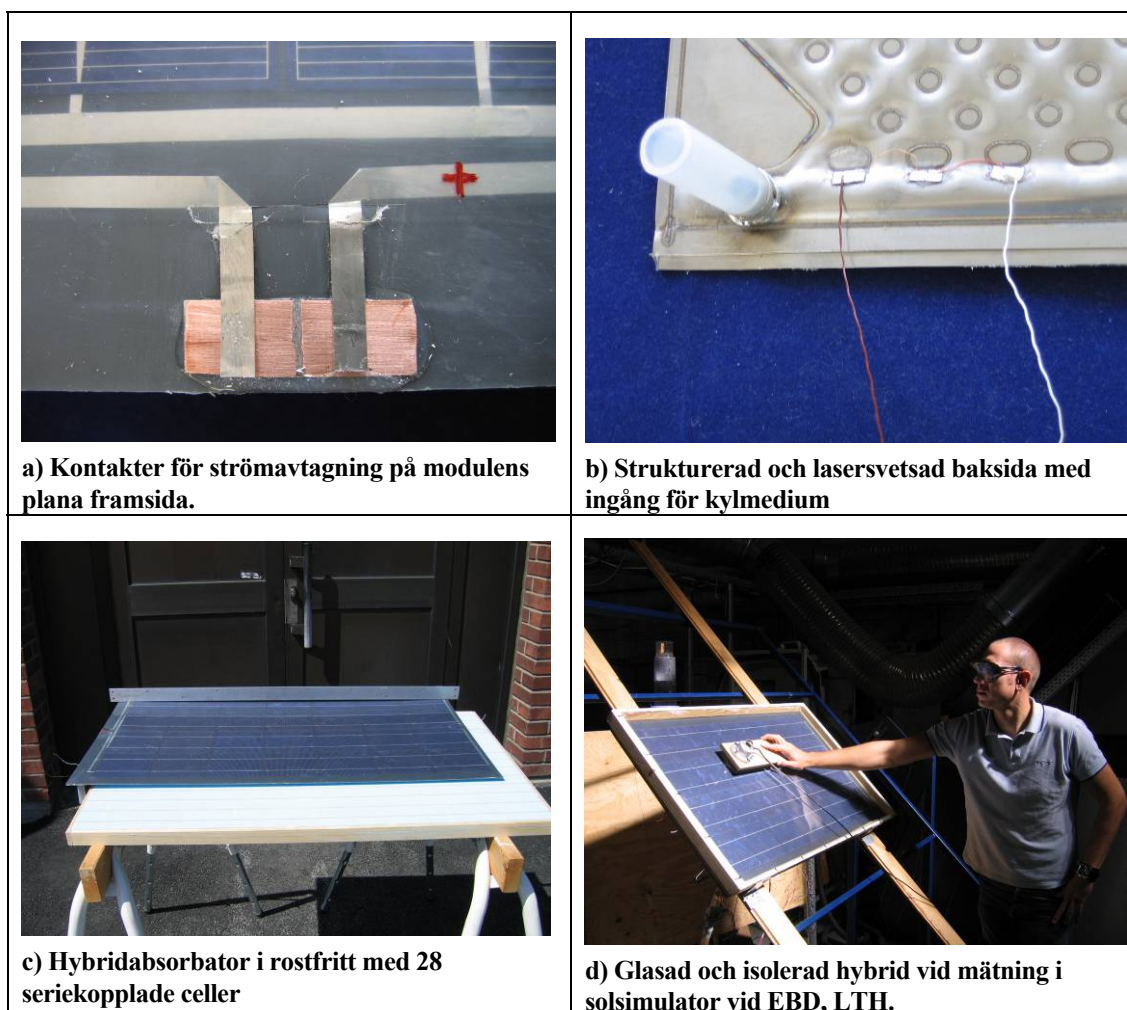
### **6.2.2 Projektbeskrivning och genomförda insatser**

I detta projekt ingår följande deluppgifter:

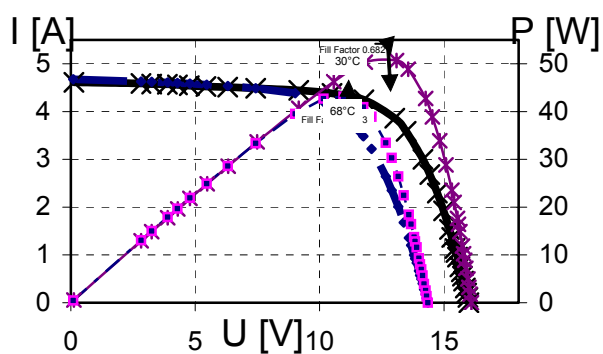
- En metod utvecklas av Texusn för att utveckla helvåta absorbatorer med plan framsida som tål höga övertryck.
- GPV utvecklar teknik för att laminera solceller på den plana stålabsorbatorn.
- Absorbatorn karakteriseras elektriskt och termiskt vid Lunds Tekniska Högskola.

### **Mätning av elektrisk och termisk verkningsgrad**

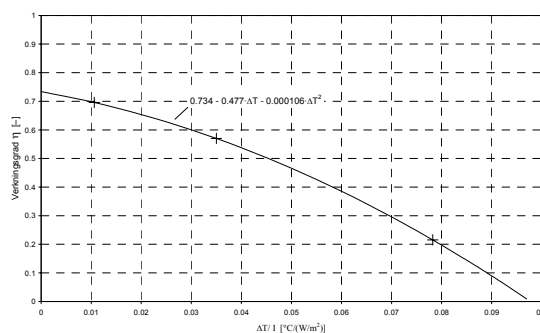
Den hybrid som utvecklats och tillverkats vid Texusn i samarbete med GPV visas i olika steg i Figur 11. Modulen är uppbyggd av solceller, 123\*123mm, laminerade på dubbla lasersvetsade plåtar i rostfritt stål. De okonventionella cellmåttan används för att anpassa 28 seriekopplade celler till absorbatorplåtens mått. Den övre plåten är slät och den undre plåten är vågig. Modulen kyls genom att vatten leds in mellan plåtarna. Ett stort antal tekniker, bl.a. vakuumlödning och punktsvetsning, har analyserats och provats innan denna relativt avancerade absorbator i rostfritt stål kunde tillverkas med lasersvetsning. Det visade sig att även med lasersvetsning är det svårt att sammanfoga plåtarna utan att införa termiska spänningar som gör att plåtarna slår sig och inte blir perfekt plana.



Figur 11 Olika steg i utvecklingen av hybridabsorbatorn



Figur 12 Uppmått IV kurva och effektkurva vid EBD, LTH vid 30° och 60° på kylvattnet.



Figur 13 Uppmått termisk verkningsgrad hos hybridolfångare

Resultatet av karakterisering av IV-kurvor utomhus vid LTH vid varierande temperatur visas i Figur 12. Fillfaktorn varierar mellan 0,68 och 0,64 och uteffekten minskar från

51W till 43 W när temperaturen ökar från 30° till 68°, motsvarande 0,4%/°C. Denna koefficient överensstämmer med förväntat värde för solceller tillverkade av kisel.

Den glasade hybridens funktion som solfångare visas i Figur 13. Den optiska verkningsgraden enligt Figur 13 är omkring 74%, vilket är ett överraskande högt värde. Värmeförlustfaktorn är 5,2 (W/m<sup>2</sup>,K) vid en övertemperatur av 50°. Detta är ett typiskt värde för en plan solfångare med icke selektiv yta. Stagnationstemperaturen vid bortfall av kylning är 100° högre än omgivningstemperaturen vid en instrålning av 1000 W/m<sup>2</sup>. Det innebär att hybriderna under en längre period måste tåla en temperatur av omkring 125°C.

Tryckfallet som uppstod när vattnet pumpades igenom absorbatoren visade sig vara alltför högt, vilket innebär att hybriderna bör modifieras med färre svetspunkter och något större avstånd mellan plåtarna så att värmebäraren lättare kan pumpas igenom absorbatoren. En stor del av det höga tryckfallet uppstod vid ingångskanalen som visas i Figur 11b), vilket innebär att denna måste modifieras.

### **6.2.3 Slutsatser**

Mätningarna visar att hybriderna elektriskt fungerar som en plan PV-modul och termiskt som en solfångare med icke selektiv yta. El- och värmeproduktion avtar med drifttemperaturen som för en konventionell PV-modul respektive en solfångare med en icke selektiv absorbatoryta. Det innebär att drifttemperaturen bör hållas så låg som möjligt och ändå leverera varmt vatten vid användbara temperaturnivåer

Hybridabsorbatoren har tagits fram i en första prototyp som testats med i huvudsak positivt resultat. Det är dock mycket angeläget att prova hybriderna beträffande mekanisk och termisk stabilitet under en längre period. Den måste modifieras för att ge ett lägre tryckfall vid cirkulation av högre flöden. Ett omfattande utvecklingsarbete återstår för att rationellt kunna lasersvetsa hybridmoduler av hög kvalitet.

En mycket intressant systemlösning är att använda hybridabsorbatoren som uteluftförångare för en värmepump. Det ger idealiskt låga temperaturnivåer för solcellerna, högt elutbyte och stort värmeutbyte från värmepumpen. Om värmepumpen sänker drifttemperaturen för PV-modulen med i genomsnitt 40° i jämförelse med en byggnadsintegrerad modul ökar elutbytet med en faktor 1,16 eller 16%.

## 7 Byggnadsintegration av nätanslutna system

### 7.1 Solceller i Malmö Stad- förstudie

Martin Nilsson, Malmö Stad Stadsfastigheter, [martin.c.nilsson@malmo.se](mailto:martin.c.nilsson@malmo.se)

Andreas Fieber, LTH, [andreas.fieber@ebd.lth.se](mailto:andreas.fieber@ebd.lth.se)

Elforsk rapport 05:21

#### 7.1.1 Bakgrund

Det förbrukas mer och mer energi i världen, och inom en inte allt för avlägsen framtid kommer vi stå inför en stor energikris i takt med att de fossila energikällorna börjar sina. Att utnyttja den gratisenergi vi får från solen har länge anses vara ett attraktivt alternativ som mer och mer börjar kunna bli verklighet. Ett sätt att utnyttja energin är att omvandla den till el genom en solcell. Sverige ligger långt framme inom forskningen på solceller, dock är den inhemska solcellsmarknaden i princip obefintlig. Skall Sveriges solcellssatsning inte enbart sluta vid forskning utan även bygga upp en solcellsindustri är den inhemska marknaden viktig. Det är en av anledningarna till att regeringen valt att inför ett investeringsstör på 70% för totalkostnaden av installation av solceller på offentliga lokaler. Malmö Stad Serviceförvaltningen har för avsikt att utnyttja detta bidrag, och därmed startat en förstudie för att undersöka i vilken utsträckning solceller lämpligast kan placeras.

#### 7.1.2 Mål

Målet med rapporten är att ta fram ett beslutsunderlag för installation av solceller inom Malmö Stad Stadsfastigheters fastighetsbestånd. Syftet är att installera upp till 1000 m<sup>2</sup> solceller inom Malmö stad. Rapporten skall också fungera som en metodbeskrivning till förstudier av solcellsinstallationer.

#### 7.1.3 Malmös solcellssatsningar

Förstudien är tänkt att leda fram till att det installeras 1000 m<sup>2</sup> solceller på Malmö Stads fastigheter. I dagsläget finns det totalt 2000 m<sup>2</sup> installerad nätansluten solcellsyta i Sverige, vilket skulle göra att Malmös solcellssatsning skulle öka ytan med 50% från dagens nivå. Anledningen till att Malmö valt att göra denna storsatsning är i huvudsak följande.

- Malmö Stad har satsat mycket på att bygga ett hållbart samhälle, och att satsa på solenergi har blivit en naturlig del i denna utveckling. En solcellsanläggning på 100 kvm är redan installerad, och i och med regeringen beslutat att införa bidrag för solceller anser Malmö Stad att det är ett bra tillfälle att göra en större satsning.
- Att kunna hitta alternativa energikällor är också en anledning till att Malmö valt att satsa på solceller. Även om lönsamheten för solceller inte är stor i dagsläget, är det viktigt att lära sig inför framtiden.
- Elpriset har under den senaste tiden stadigt ökat, och mycket talar för att det kommer fortsätta i den riktningen. Om lämpliga objekt kan hittas och kostnaderna kan

minimeras bör solcellen kunna produceras till mellan 1 och 2 kr/kWh inklusive bidraget på 70%.

- Det finns väldigt få solcellsanläggningar i Sverige idag, framför allt nätanslutna. Att göra en större satsning på solceller kommer troligen få stor uppmärksamhet, och ge Malmö ett tydligt ansikte utåt som en stad som satsar på förnybar energi.

#### **7.1.4 Urval av lämpliga objekt**

Malmö Stad Stadsfastigheter har ett mycket stort fastighetsbestånd, och på de allra flesta skulle det kunna gå att integrera solceller på ett eller annat sätt. Det har gjorts att vissa aspekter har prioriterats. Det går inte bara att ta hänsyn till elförbrukningen i byggnaden, utan det är viktigare att titta på andra aspekter. I vårt urval av objekt har olika aspekter prioriterats för att kunna demonstrera olika solcellsapplikationer. En aspekt är att solcellerna skall utgöra ett stort demonstrationsvärde. Det kan exempelvis innebära att montera solceller på en exponerad fasad. Ofta medför god exponering högre pris och lägre produktion. Aspekten att solcellerna syns kan dock anses ha ett större värde än att produktionen är optimal.

Skall solcellerna kunna producera el till ett konkurrenskraftigt pris måste installationen ske på ett så förmånligt sätt som möjligt. Om det är planer på att bygga ett uterum kan solcellerna integreras i taket på uterummet, och på så sätt blir marginalkostnaden för solcellerna liten, eftersom bidraget täcker kostnaden för taket också.

Vi har studerat 12 objekt, som till sin karaktär är relativt väsensskilda. Kontorsbyggnader, daghem, vårdinstitutioner, museer och bostäder ingår i urvalet. Byggnadernas ålder sträcker sig från 1950-tal till 2000-tal, och utmärks således av ett mer eller mindre modernistiskt formspråk, vilket oftast ter sig lämpligast och minst känsligt för den här typen av tillägg. Oavsett stil är det emellertid av stor vikt att tilläggen görs med stor hänsyn till arkitekturen, och i den mån tilläggen är exponerade, görs detta med utgångspunkten att de skall verka berikande för arkitekturen.

Rapporten innehåller en inventering av objektet som ur olika aspekter är intressanta för solcellsinstallationer. Nedanstående stycken går igenom de aspekter som bör behandlas vid framtagning av potentiella objekt för solcellsinstallationer.

##### **7.1.4.1 Elförbrukning**

Byggnadens elbehov kan vara intressant för såväl lämplighet som dimensionering av ett solelsystem, även om det är nätanslutet. Särskilt lämpliga tillämpningar är i situationer då ett ökat elbehov sammanfaller med ett stort solelutbyte, t ex vid stora laster för komfortkyla sommartid.

##### **7.1.4.2 Hyresgästers önskemål**

Förslag till förändringar bör förankras bland hyresgäster och den verksamhet som bedrivs i objektet. Utifrån detta kan tankar om de mjukare, adderade värden som solenergi kan tänkas bidra till, utvecklas och tillvaratas.

### **7.1.4.3 Förutsättningar**

Byggnadens arkitektoniska karaktär och dess lämplighet för solpaneler redovisas. Byggnadens lämplighet för ett tydligt exponerat system, eller snarare en diskret inpassning, bör avgöras tidigt. Ifall panelerna är tänkta att integreras i eller på byggnadens klimatskal, måste förutsättningar som material, färg, proportioner osv. uppmärksammas och tas hänsyn till vid utformning av förslag. Om panelerna är tänkta att adderas som del av en tillagd struktur, som exempelvis ett skärmtak, undersöks förutsättningarna för detta.

Tillgängliga tak- eller fasadytor lämpliga för soletintegrering diskuteras. Orientering och lutningsvinklar redovisas, liksom ytstorlek. Då solet är känsligt för skuggning, behöver omgivningen noggrant undersökas, så att intilliggande byggnader, träd eller dylikt inte utgör ett hinder genom skuggning. De tillgängliga ytorna kan således behöva justeras neråt. Dessutom bör hänsyn tas till omgivande arkitekturs förutsättningar för en dramatisk förändring av den aktuella byggnaden.

För den faktiska integreringen av solpaneler i byggnadens klimatskal, behöver konstruktionen undersökas. Aspekter som måste tas hänsyn till är möjligheten att fästa panelerna, huruvida det existerande ytterskiktet kan eller bör ligga kvar, eller om solpanelen skall ersätta detta, samt huruvida taket tål ytterligare laster. Vid en nybyggnad eller renovering kan detta utgöra en ekonomisk fördel. Möjligheterna för genomföring av elkablage samt utrymme för övriga systemkomponenter och bör också undersökas.

### **7.1.5 Sammanställning och slutsatser**

Utifrån den analys som genomförts görs ett eller flera förslag, som förväntas svara mot de förutsättningar som konstaterats. Primärt görs förslagen utifrån dess arkitektoniska lämplighet för objektet. En strävan i den arkitektoniska utformningen är att tilläggen ges ett väl exponerat uttryck, utan att förta intentionerna i den ursprungliga arkitekturen. De 12 objekten visar samtliga en god potential för att förses med en soletanläggning. Tabell 7 sammanställer objekten och den omfattning installationen kan tänkas få samt förväntat energiutbyte. Det beräknade energipriset är inklusive 70% ROT-avdrag samt beräknat med 20-årig kalkylränta på 5%.

Tabell 7 Sammanställning av studerade objekt lämpliga för solcellsinstallation

Objekt	Yta (m <sup>2</sup> )	Orientering	Lutning	Installe- rad topp- effekt (kW <sub>t</sub> )	Simulerad årsprestanda (kWh)	Uppskattat energipris (kr/kWh)
Augustenborg, balustrad	48	30°	90°	5	3880	3,0
Augustenborg, café	17	30°	90°	2	1600	1,8
Aurahallen, fasad	217	-35°	90°	27	21130	2,1
Blomsterbuketten, tak	46	15°	24°	6	5890	1,9
Blomsterb., fasad	43	15°	90°/24°	6	4600	2,2
Ellenborg och Trekan- ten	212	28°	18°	23	22170	1,8
Heleneholm	270	-37-35°	14°	31	30020	2,1
Kajplats 305, takfot	68	-10,-50,- 65°	61°	9	7668	2,3
Konsthallen	300	10°	33°	16	16100	3,1
MINC, glastak	95	9°	20°	10	9840	2,3
MINC, takappl.	44	9°	41°	4	3982	2,4
Orangeriet	78	-40° (me- del)	90°	6	4689	4,2
Pilängen (2 hus)	120	~40°	<10°	14	13390	2,6
Sege Park, balkong	170	-30°	90°	20	15220	2,3
Sege Park, ställning	200	-30°	45°	26	25680	-
Tekniska museet fasad	38	-31°	70°	5	4425	2,1
Tekniska museet tak	271	0°	41°	35	37700	1,6
<b>Totalt</b>	<b>237</b>			<b>246</b>	<b>222977</b>	

Enligt Tabell 7 erhålls lägst energikostnad för anläggningen på tekniska museets tak. Solcellsytan är stor vilket gör att installationskostnaderna kan hållas låga, samt den optimala orienteringen ger en hög elproduktion. För fasadintegrerade anläggningar är energikostnaden drygt 2 kr/kWh, men då exponeringen av solcellerna blir tydligare kan dessa alternativ ändå vara mer attraktiva än rena produktionsanläggningar. Större anläggningar ger lägre pris per m<sup>2</sup> eftersom kostnader som projektledning, DU-manualer och etablering på arbetsplats inte är proportionella till solcellsytan. Kan ett antal anläggningar handlas upp i en upphandling beräknas kostnaderna sjunka ytterligare något. Efterfrågan av solceller och solcellsinstallatörer kan dock göra att priserna på marknaden stiger då risk för överhettning är befarad i och med ROT-avdraget.

Trots ett bidrag på 70% är solceller inte en garanterat ekonomisk lönsam investering om hänsyn endast tas till elproduktionen. Det är viktigt att se solceller som ett byggnadsmaterial och inte bara som elproducent. Att använda sig av solceller som byggnadsmaterial medför flera fördelar, så som uppmärksamhet och publicitet om nyskapande och ett aktivt miljötankande. Den planerade solcellssatsningen i Malmö kommer inte bara ge miljövänlig el till staden, utan även vara ett tydligt tecken på att kommunen satsar framåt på ett hållbart samhälle.

## **7.2 Solen skiner alltid på Ullevi**

- Förutsättningar för en storskalig nätansluten solcellsanläggning på Ullevi's tak  
Petter Sjöström SOLENKO/Switchpower, [petter@switchpower.se](mailto:petter@switchpower.se)  
Elforsk rapport 05:20

### **7.2.1 Bakgrund**

Den största solcellsanläggningen i Sverige ligger idag i Älmhult, den byggdes 1998 och är på 50 kWt. I Sverige har inga större system installerats sedan dess och det saknas praktisk erfarenhet av större anläggningar. Samtidigt går trenden i resten av världen mot nätanslutna anläggningar där de storskaliga anläggningarna på senare år blivit allt vanligare.

Bakom förundersökningen stod en grupp kommunala Göteborgsbolag, som alla har någon typ av intresse av en installation av solceller på Ullevi's tak: Got Event är ett kommunalt bolag som har ansvar för driften av Göteborgsarenorna Ullevi och Scandinavium samt Valhallabadet. I arbetet med miljöprofilen inför EM 2006 kom solceller upp som en tänkbar profilering. HIGAB äger en mängd fastigheter i Göteborg, däribland Ullevi. Göteborg & Co har uppdraget att marknadsföra Göteborg och har därmed ett stort intresse av projekt som har marknadsföringsvärde. Det kommunala energiföretaget Göteborg Energi har redan erfarenheter av solcellsinstallationer på sin egen kontorsfastighet. De är dessutom nätägare och skulle därmed vara ansvarig för en eventuell nätanslutning. Arenan har 43 000 sittplatser och har under musikevenemang en kapacitet på 60 000 personer (varav 25 000 står på planen). Arenan hyser även Got Events kontorslokaler.

### **7.2.2 Målsättning**

Målet med projektet var att identifiera förutsättningarna för en storskalig solcellsanläggning på Ullevi's tak och på så sätt möjliggöra ett investeringsbeslut.

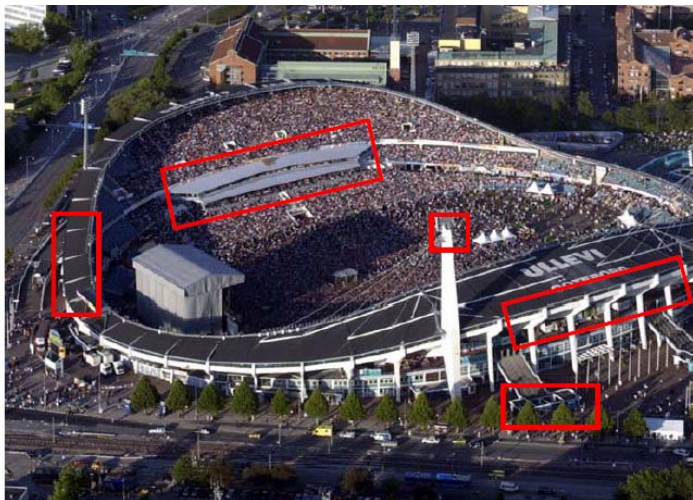
### **7.2.3 Projektbeskrivning**

Förundersökningen utgick från tre parametrar vid en översiktlig genomgång av lämpliga placeringar av solcellsanläggningar på Ullevi. För det första var det viktigt att solcellerna exponerades på ett tydligt sätt för besökare alternativt förbipasserande. För det andra var det viktigt att förutsättningarna för elproduktion ur ett solcellstekniskt perspektiv var goda. För det tredje var det viktigt att det fanns såväl byggtkniska som arkitektoniska förutsättningar. Ullevi är ett landmärke i Göteborg och har en speciell karaktär som inte får förändras nämnvärt av en installation av solceller.

Under själva förundersökningen träffades de bolag som stod bakom förundersökningen med jämna mellanrum för att diskutera själva förundersökningen. Som avslutning bjöds fler företag och förvaltningar in för att ytterligare sprida de kunskaper som byggts upp under förundersökningen.

### 7.2.4 Genomförda insatser

Ett flertal placeringsalternativ på arenan med en maximal sammantagen effekt på över 1,4 MW<sub>t</sub> har förundersökts. All produktionsdata är baserade på lokal solinstrålning samt modullutning. I Figur 14 kan de placeringar som förundersökningen arbetat med beskådas.



Figur 14 Ullevi sett från väster. De rödmarkerade områdena är de placeringar vars förutsättningar för installation av solceller som har undersökts. Utöver dessa gjordes en undersökning av kostnaderna för en installation av solceller på hela det svarta tjärpappstaket. Uppräknat från vänster har vi Västra tjärpappstaket, Plåttaket på nordöstra läktaren, Pylonerna, Biljettluckorna samt Sydvästra fasaden. Se text för närmare beskrivning. Foto Flygare Palmnäs.

Av de studerade lokaliseringalternativen visade sig plåttaket på den nordöstra läktaren vara mest lämpat för solcellsinstallation. Taket över logerna är ett plåttak med falsar. Taket lutar ca 20 grader och har en total yta på ungefär 630 kvadratmeter. Exponeringen av solcellerna på detta tak är mycket stor då de är synliga från alla sittplatser samt hela planen, se Figur 14. På plåttaket kan det få plats så mycket som 80 kW<sub>t</sub> vilket skulle innebära en investering kring 5 MSEK utan 70% investeringsstöd och 1,5 MSEK med 70% investeringsstöd.

#### 7.2.4.1 Marknadsföringsvärde

Förundersökningen har undersökt marknadsföringsvärdet hos liknande solcellsanläggningar i Sverige, Europa och Australien och kommer fram till att det i alla undersökta fall funnits ett marknadsföringsvärde i solcellsanläggningen oavsett hur fastighetsägaren har valt att arbeta med kommunikationen kring solcellerna. Solceller har ofta ett strategiskt eller symboliskt värde för ägaren som kan använda dem som ett sätt att profilera sig. Till skillnad från de flesta andra investeringar i förnybar energi och energieffektivisering kan solceller visas upp på ett estetiskt tilltalande sätt. Därigenom kan de dra uppmärksamhet åt fastighetsägarens övriga verksamhet. I det mest väldokumenterade fallet var marknadsföringsvärdet nästan dubbelt så högt som själva investeringen.

#### 7.2.4.2 Finansiering

Förundersökningen har undersökt olika finansieringsalternativ för en solcellsanläggning på Ullevi. Det finns flera möjligheter för Got Event att få finansiellt stöd till en eventuell investering. Enbart investeringsstödet i kombination med undvikta energikostnader samt försäljning av gröna certifikat står för över 90% av investeringen. De kvarvarande 10% skulle utan tvekan täckas av marknadsföringsvärdet.

### **7.2.5 Resultat**

Placeringsalternativet Plåttaket på nordöstra läktaren diskuteras vidare internt. Bolagen bakom förundersökningen erkänner det ökade marknadsföringsvärde som solcellerna ger och överväger ett flertal finansieringsalternativ.

Som ett direkt resultat av förundersökningen har ett frö såtts till en lokal intressegrupp för solceller innehållande representanter från högskolor, förvaltningar och bolag. Denna grupp kan möjliggöra ytterligare investeringar och demonstrationsprojekt.

## 8 Nätanslutningsfrågor

### 8.1 Standardisering av kostnadseffektiva nätanslutna solcellsystem

Falah Hosini, ABB Corporate Research, [falah.hosini@se.abb.com](mailto:falah.hosini@se.abb.com)

Peter Krohn, Vattenfall Utveckling AB, [peter.krohn@vattenfall.com](mailto:peter.krohn@vattenfall.com)

Elforsk rapport 04:08

#### 8.1.1 Bakgrund

Solcellsel är sedan länge ett lönsamt alternativ på platser som saknar utbyggt elnät. Inom det befintliga elnätet har nätanslutna solcellsystem genomgått en dramatisk utveckling det senaste decenniet främst i Tyskland och Japan på grund av riktade marknadsstöd. Detta har lett till kostnadseffektiva, tillförlitliga, säkra och i stor utsträckning standardiserade anläggningar, som enkelt och snabbt kan installeras på hustaken. Kostnaderna är dock fortfarande höga och fler åtgärder krävs för att kraftigt reducera systempriset samt öka systemverkningsgraden jämfört med idag. Det går säkerligen att vidare pressa kostnaderna för solel med massproduktion, byggnadsintegration och standardisering men om inte komponenterna utnyttjas och kopplas optimalt kommer kostnadsänkningen att undergrävas och förtroendet för tekniken faller.

#### 8.1.2 Målsättning

Förstudien syftar till att underlätta för kommersialisering av nätanslutna småskaliga solcellssystem i enskilda småhus genom att kartlägga de hinder och påvisa möjligheterna för dagens solcellsystem.

#### 8.1.3 Genomförande och resultat

##### 8.1.3.1 Normer och lagkrav

Säkerheten är det viktigaste att beakta vid etableringen av distribuerad energiproduktion för att nå problemfri drift och underhållsmiljö. Högsta prioritet för normerna måste därför vara inom säkerhetsområdet. I många fall har dock lösningarna eller kraven lett till en markant kostnadsökning av systemet. Regelverket, utgående från Ellagen, är svårtillgängligt och tveksamt anpassat för småskalig distribuerad elproduktion. Inmatad energi på nätet ersätts otroligt lågt i jämförelse med energi man köper. Nätbolagen har också stora krav på sig från lagstiftningen. Sådana krav som mätning och avräkning kommer naturligtvis att avspeglats i kostnaderna för nätanslutning av solceller. Följande är de viktigaste kraven som kan ha en marknadsmässig förödande effekt på kostnaderna:

#### Ö-drift

Ö-drift är en driftform som kan inträffa när en elproduktionskälla (t.ex. en solcellsanläggning) kan klara av att mata ett lokalnät (t.ex. byggnaden) fränkopplat från det befintliga elnätet. Detta är fortfarande ett av de mest kontroversiella ämnena inom det internationella standardiseringsorganet som behandlar nätanslutningskrav för distribuerad generering, i synnerhet för PV-system. Utan konsensus kommer kraven att sätta upp gränser mellan olika länder och därmed begränsa möjligheterna till kostnadsreduktion pga minskad volym.

### **DC-ströminjektion**

Trots det faktum att många normer ej kräver användning av en isolertransformator, så behövs i praktiken detta för att tillfredställa de stränga kraven på maximalt tillåten DC-ström in på nätet. En höjning av den maximalt tillåtna strömnivån till rimliga värden kan leda till att transformatorlösa system blir accepterade och som i sin tur kan medföra en kostnadssänkning.

### **Frånkopplingsanordning**

Elarbete är omgivet av många säkerhetsregler för att skydda både personal och kunder. Ett sådant säkerhetskrav är elkopplare med synligt brytställe eller säker indikering mellan växelriktare nätanslutningspunkt. Det är vanligt att nätbolaget kräver kontinuerlig tillgänglighet till denna frånskiljningsanordning. I de nya installationsreglerna ställer man också krav på anordningar för frånskiljning på båda sidor om växelriktaren för att arbete på den ska kunna utföras utan spänning.

### **Kostnader för nätanslutning**

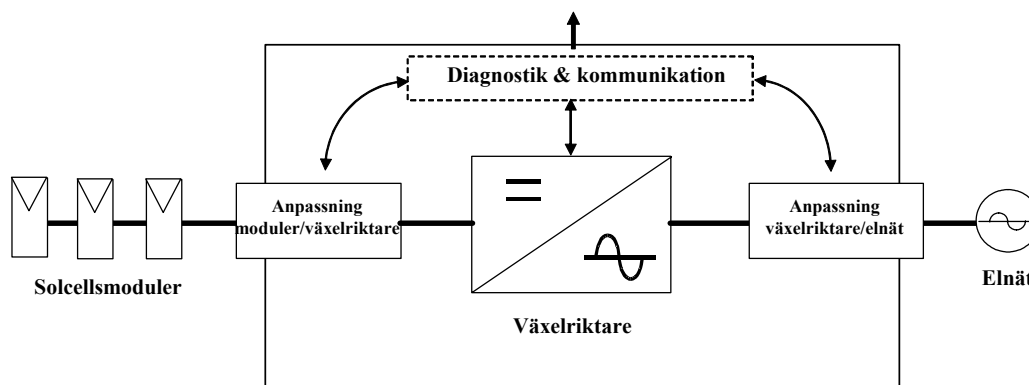
Nätkoncessionsinnehavaren har skyldighet att utföra mätning av mängden överförd el och dess fördelning över tiden. Det åligger också nättinnehavaren att rapportera resultaten av mätningarna. Kostnaden för en mätare med tillhörande insamlingsutrustning och för dess installation i inmatningspunkten hos en elproducent skall av nätkoncessionsinnehavaren debiteras elproducenten. Men med begränsningen att en innehavare av produktionsanläggning som kan leverera en effekt om högst 1500 kW skall för överföring av el betala endast den del av avgiften enligt nättariffen som motsvarar den årliga kostnaden för mätning, beräkning och rapportering på koncessionsinnehavarens nät. Anläggningsinnehavaren skall dessutom betala engångsavgift för anslutning. Trots dessa begränsningar tenderar avgifterna att nå oanade höjder.

### **Ersättning vid inmatning**

Innehavare av en produktionsanläggning har rätt till ersättning av den nätkoncessionsinnehavare till vars ledningsnät anläggningen är ansluten. Ersättningen ska motsvara värdet av den minskning av energiförluster som inmatning av el från anläggningen medför i ledningsnätet och värdet av nätkoncessionsinnehavarens avgiftsreduktioner mot andra nät. Rent praktiskt betyder det att ersättningen för en mindre mängd utmatad energi blir mycket begränsad. I det fall solcellsanläggningens ägare är en för övrigt vanlig elkonsument blir ersättningen i jämförelse med inköpspriset på gränsen till löjlig.

#### ***8.1.3.2 Dagens standardiserade system***

I ett nätanslutet solcellssystem matas solcellsenergin direkt ut på det lokala elnätet utan behov av lagring. Figur 15 visar ett generellt blockdiagram på de nödvändiga kopplingarna och funktionerna.



Figur 15 Enkelt blockschema för ett nätanslutet solcellssystem.

En allmän slutsats från en genomlysning av dagens solcellssystem utförda med standardmoduler är att systemen inte är kostnadseffektiva. De slösar bort den dyra elenergin samt kräver ingående teknisk kunskap för dess systemdesign och installation trots standardisering och kommer därmed att försvåra spridning av tekniken till oinitierade användare som hushåll.

Systemstrukturen behöver förenklas så att:

- Den är lätt begriplig både för elinstallatören och konsumenten.
- Systemet kan dimensioneras mer anpassande till behov och plånbok.
- Uppbyggnad och sammansättning är trivial för en händig person.
- Ha en inbyggd övervakning som kan genomlysa energiutbyte och prestanda.

Ett sätt att sänka den ekonomiska tröskeln är att använda solcellsmodulerna som ett byggnadselement. Men för att påverka kostnaderna och öka volymerna, behöver byggnadsintegrationssatsningarna koncentreras på att utveckla tekniken mot gör-det-själv marknaden genom modularisering och standardisering av elektrisk och mekanisk konstruktion samt säkra kopplingar för att sänka dagens höga installationskostnader.

Det optimala sättet att utnyttja den tillgängliga solenergin är att konstruera dessa system genom parallellkoppling av solcellsmodulerna via modulbaserad omvandlare (dvs. varje solcellsmodul har egen dedicerad omvandlare). Omvandlarna kan vara DC/AC (så kallad AC-moduler) eller DC/DC. Den kommersiellt tillgängliga systemlösningen med AC-moduler har många fördelar men också har sina brister såsom kostnad och tillförlitlighet. Alternativet med DC/DC omvandlare har samma fördelaktiga egenskaper som AC-moduler men kan nå lägre kostnader och bättre tillförlitlighet. Nackdelen med DC lösningen jämfört med AC-moduler är att man måste behålla en del av DC-kablaget som finns i dagens system, men eftersom DC-kabel tekniken redan är standardiserad idag, borde det inte vara något problem.

Fördelarna med modulbaserade system (både AC och DC) är många, bl.a.:

- Effekten av skuggning och toleransspridning begränsas till den aktuella modulen.

- Systemuppbyggnaden är trivial och kräver inga speciella ingenjörsmässiga kunskaper vid dimensioneringen. Systemet kan installeras med minimalt behov av specialkunskap som kan leda till en signifikant minskning av installationskostnaderna.
- Systemet är teknikoberoende. Moduler av olika storlekar, typ, fabrikat eller teknologi kan fritt blandas, modulorientering är heller inte begränsande till uppbyggnaden.
- Systemet kan byggas ut gradvis utan större omkonstruktion. Detta är viktigt med tanke på att solcellstekniken är under utveckling och prestanda förändras med tiden.
- Systemet är ganska lätt att förstå för en installatör, byggingenjör eller konsument. Detta kommer att leda till ökat förtroende och större acceptans för tekniken.
- Byggnadsintegration är mycket lättare att åstadkomma eftersom arkitekten kan få friheter som inte är möjliga med dagens standardsystem.

### **8.1.3.3 Slutsatser från workshop**

En workshop med rubriken ”Standarder och riktlinjer för nätanslutning av småskaliga solcellssystem i Sverige” var ordnad i samband med Elforsks SolEl-seminarium den 12:e Maj 2004. Målet med workshopen var att aktörer med olika kompetenser (systemleverantörer, installatörer, myndigheter, elbolag, konsumenter etc.) diskuterar vad som krävs i form av guider/riktlinjer/standarder för att underlätta för privatpersoner i Sverige att installera och ansluta småskaliga solcellssystem till elnätet. Diskussioner fördes såväl i plenum som i mindre grupper.

Den generella slutsatsen från workshopen är att det råder oklarhet vad gäller regler och riktlinjer angående nätanslutna solcellsanläggningar. Ingen aktörsgrupp hade klart för sig vad gällde regler eller hur man ska hantera frågeställningen. Detta gjorde att diskussionen förblev av en allmän karaktär med obesvarade frågor.

Följande sammanfattande slutsatser kan dras:

- Klara och otvetydiga guider för hur en anläggning skall upprättas saknas. Dessutom är den tillgängliga informationen svår att hitta för en icke insatt person. **En guide i form av en lathund för konsumenter behövs.**
- Det är oklart hur de olika elbolagen ställer sig i frågan om nätanslutning. Inga klara besked kan ges om nätanslutning, inmatning och ersättning för genererad el. **Särskild inmatningslag och installationsguide för småskaliga solcellsanläggningar behövs.** Guiden kan ingå i en omarbetad AMP med särskilt kapitel för solcellsanläggningar.
- Kunskapen om tekniken, möjligheter och brister är inte spridda. Referens på privata anläggningar saknas. **Stödprogram för privata småskaliga solcellsanläggningar behövs.**
- Byggnadsintegration behöver utvecklas mot gör-det-självt marknaden för att sänka de höga installationskostnaderna.

## 8.2 Nätanslutning av småskaliga solcellssystem för elförsäljning - En demonstrationsanläggning

Bengt Stridh, ABB Corporate Research, [bengt.stridh@se.abb.com](mailto:bengt.stridh@se.abb.com)  
Elforsk rapport 05:30

### 8.2.1 Bakgrund

Nätanslutningsaspekter bedöms viktiga i Sverige om solelen ska ge ett betydande bidrag till vårt framtida energisystem då det finns behov av att kunna lagra solelen i det svenska kraftnätet. Lagring behövs eftersom vår elkonsumtion är som lägst på sommaren då vi producerar som mest solel. Det finns potential för lagring av 5-10 TWh solel per år utan extra kostnad i det svenska elnätet genom att vattenkraften utnyttjas som buffert.

Dagens svenska solcellsanläggningar är endera fristående eller inkopplade på byggnadens elnät för försörjning av delar av byggnadens elbehov. Men eftersom solelinstallationernas elproduktion generellt understiger konsumtionen i byggnaden finns det inte några anläggningar som har sålt all el till en elhandlare. I Sverige saknas därför erfarenheter från nätanslutning av solcellssystem hos en nätägare för försäljning av producerad solel.

Vidare är det förmånligt att kvalificera solkraftverken för ekonomisk kompensation genom elcertifikat och möjligheten för elbolagen att kvalificera sin elmix som grön el.

Med utgång från denna bakgrund ses ett behov att uppföra demonstrationsanläggningar för elförsäljning som ett led i skapandet av en inhemsk kompetensbas inom solcellsområdet. Denna kompetens kan sedan nyttjas för etablering av solceller i det svenska energisystemet och vidare knyta samman den svenska expertisen inom området för en framtida etablering på den internationella arenan.

### 8.2.2 Målsättning

Det övergripande målet har varit kompetensuppbyggnad för aktörer involverade i uppförandet av en solcellsanläggning för elförsäljning för att underlätta vid uppförande och nyttjande av sådana anläggningar i Sverige och att skapa en lättillgänglig och förstklassig demonstrationsanläggning.

### 8.2.3 Genomförande

En referens- och projektgrupp av intressenter inom solelområdet såsom installatörer, leverantörer och nätägare har skapats. Deltagare i projektet var ABB AB, Corporate Research (projektledare), ABB Automation Technologies AB, Cewe-Control (komponentleverantör), Elforsk (programledare för Solel 03-07), Mälarenergi AB (elhandel), Mälarenergi Elnät AB (nätägare och installatör), NAPS Sweden AB (leverantör av solcellsanläggningar), YIT Sweden AB (installatör) och Vattenfall Utveckling AB (referensgrupp).

I uppförandet av demonstrationsanläggningen (3 kW<sub>t</sub>), har design av anläggningen, upphandling av tjänster, installation och nätanslutning samt försäljning av all solel till en elhandlare ingått. Anläggningens storlek och design efterliknar en anläggning som

skulle kunna sitta på ett svenskt hustak direkt inkopplat på elnätet. Produktionen beräknas bli ca 2,5 MWh<sub>AC</sub>/år. Anläggningen har uppförts på parkeringen på ABB AB, Corporate Research, vid E18 i Västerås för att vara lättillgänglig för studiebesök. Erfarenheter och förslag till förbättringar har diskuterats och dokumenterats under projektets gång.



**Figur 16** Nätanslutet solcellssystem för elförsäljning. Anläggningen finns på parkeringen på ABB AB, Corporate Research, vid E18 i Västerås.

#### **8.2.4 Resultat och Slutsatser**

Projektet har visat att det inte finns några tekniska hinder att bygga solcellsanläggningar som levererar all producerad el direkt ut till nätägaren.

När det gäller ekonomin för anslutning av småskaliga solcellsanläggningar direkt till nätägaren finns en allvarlig invändning idag. Den höga kostnaden för inmatningsabonnemanget gör att små installationer där man levererar all producerad solel till en nätägare går med förlust, oavsett vilken investeringskostnaden är för uppförandet av solcellsanläggningen. För att få någon ekonomi i en liten solcellsanläggning behövs en översyn av situationen både från statens och från energibolagens sida.

Ovanan hos inblandade parter att hantera nätanslutna solcellsanläggningar gjorde att vissa moment tog längre tid än vad det skulle behöva göra eftersom upparbetade rutiner saknades. Inte minst bör ingående parametrar i en slutbesiktning av en nyinstallerad anläggning fastställas. När det gäller layout och vilka komponenter som ska ingå i en solcellsanläggning finns möjligheter att göra anläggningen billigare. Genom en optimering av layouten och förmontering i fabrik av brytare, överspänningsskydd etc i ett standardiserat skåp borde det gå att få ned kostnaden för både hårdvara och installationsarbetet.

## 9 Informations-spridning och utbildning

SolEl-programmet har en lång tradition av god informations-spridning i form av nyhetsbrev, seminarier, hemsida och årsrapporter. Därutöver har också ett ökat fokus lagts på informations-spridning i form av att ett flertal av projekten i programmets projektportfölj har haft en informationsprofil. För att få en god samordning mellan dessa projekt och andra informationsinsatser som har bedömts som viktiga av programstyrelsen initierades också projektet ”Samlad informations-spridning” av programstyrelsen efter en idé från Dan Engström, NCC.

### 9.1 Information från SolEl 03-07 etapp I

Monika Adsten, Elforsk, [monika.adsten@elforsk.se](mailto:monika.adsten@elforsk.se)

Under denna etapp av programmet har totalt 3 nyhetsbrev givits ut och två seminarier har hållits. Det första hölls den 12 maj 2004 och samlade ett 100-tal deltagare. Seminariet anordnades tillsammans med Ångström Solar Center, ÅSC. Under förmiddagen hölls övergripande presentationer och under eftermiddagen delades programmet upp på tre parallella sessioner, byggnadsintegrerade solceller, nätanslutningsfrågor respektive ÅSC. Det andra seminariet hölls den 26/5 2005 på Ångströmlaboratoriet i Uppsala med ett 80-tal deltagare. Efter några inledande föredrag hölls presentationer samt en diskussion på temat nätanslutning och därefter behandlades temat byggnadsintegrerade solceller. Dokumentation från dessa båda seminarier finns att ladda ned från [www.elforsk.se/nyhet/seminarie/sem\\_old.html](http://www.elforsk.se/nyhet/seminarie/sem_old.html). Vidare har en omarbetning av hemsidan gjorts för att få en mer översiktlig struktur. De årsrapporter som tidigare har givits ut prioriterades under denna etapp ned för att istället ge utrymme för nyhetsbrev och hemsidesomarbetning. Hela periodens verksamhet beskrivs dock i denna slutrapport.

### 9.2 Samlad informations-spridning

Monika Adsten, Elforsk, [monika.adsten@elforsk.se](mailto:monika.adsten@elforsk.se)

Dan Engström, NCC, [dan.engstrom@ncc.se](mailto:dan.engstrom@ncc.se)

#### 9.2.1 Bakgrund

Detta projekt initierades av programstyrelsen efter en idé av Dan Engström, NCC. Syftet med projektet var att bevaka att de olika informationsprojekten inom programmet, både löpande och avslutade, samordnades samt att genomföra ytterligare insatser för att komplettera projekten i programmet.

#### 9.2.2 Projektbeskrivning

Utöver den samordnande delen i projektet initierades ett flertal nya delprojekt:

##### 9.2.2.1 Omarbetning av projekteringsverktyget Solcell.nu

Projekteringsverktyget Solcell.nu utarbetades under NCC:s ledning under flera programetapper. Verktyget har fått ett mycket positivt mottagande både nationellt och internationellt, med ett flertal förfrågningar om att efter översättning använda materialet i olika sammanhang. Inom ramen för den samlade informations-spridningen omarbetades

sidan Solcell.nu så att den idag utgör en portal där projekteringsverktyget är en del av innehållet. Tanken med detta är att en annan aktör sedan ska kunna ta över sidan och bygga vidare med ytterligare innehåll och ta över den löpande driften så att sidan hålls fortsatt levande. Förfrågningar om att ta över sidan har gjorts till den branschorganisation som är under bildande, och detta är under diskussion.

### ***9.2.2.2 Utarbetande av informationspaket om solceller***

Ett förslag till informationspaket innehållande broschyr, CD-skiva samt boken ”Aktiv solenergi i hus och stadsbyggnad” utarbetades. En ansökan till Energimyndigheten möjliggjorde att dessa finansierade framtagande och distribution av informationspaketet. Paketet skickades sedan ut i 1000 exemplar till energirådgivare, förvaltare av offentliga byggnader, stadsbyggnadskontor och andra intressenter för att underlätta implementeringen av investeringsstödet för solcellsinstallationer i offentliga byggnader. Vidare trycktes broschyren upp i ytterligare 5 000 exemplar för distribution via Energimyndighetens förlag. Både broschyr och CD-skiva finns också nedladdningsbara från Energimyndighetens hemsida.

### ***9.2.2.3 SolEl Roadshow***

För att nå aktörer som ännu inte visat intresse för solceller i byggnader utarbetades ett koncept för informationsseminarier som sedan kan hållas i olika delar av landet. Ett första seminarium hölls den 14 september 2005 i Göteborg. Switchpower i samarbete med Göteborg Energi ordnade seminariet på uppdrag av SolEl-programmet. Ett 30-tal deltagare från Göteborgsregionen deltog i seminariet. Efter utvärdering av det första seminariet planeras ytterligare seminarier i Malmö i januari 2006 samt i Härnösand under våren 2006. Därefter kommer ytterligare seminarier eventuellt att hållas på andra platser i landet.

## **9.3 Solcell.nu - ett webbaserat projekteringshjälpmedel för integrering av solceller i byggnader, fas II**

Dan Engström, NCC, [dan.engstrom@ncc.se](mailto:dan.engstrom@ncc.se),  
Stefan Woksepp, NCC, [stefan.woksepp@ncc.se](mailto:stefan.woksepp@ncc.se)  
Arbetet redovisas på [www.solcell.nu](http://www.solcell.nu)

### ***9.3.1 Bakgrund***

Byggandet av idag tar i allt högre grad sitt ansvar för samhällets energianvändning och dess belastning på miljön. Förnyelsebar energi övervägs allt oftare. Solceller har tidigare främst utnyttjats som fristående system där annan elektricitet inte funnits tillgänglig. Byggnadsintegrerade solcellssystem (ofta refererade till som BIPV, eller Building Integrated Photovoltaics) utvecklas nu för att vara en del av ett uthålligt byggande. Elgenererande solceller integreras i byggnaden – solceller som förutom att generera el också kan nyttjas som fönster, taktäckning, solavskärmning, estetiska element med mera. I Hammarby Sjöstad, Stockholm, har just av några av de första solcellsinstallationerna inom bostadsbyggande genomförts. Det visade sig där att kunskapen om vad som går att göra och hur det kan göras ofta saknas hos användarna: byggherrar, arkitekter, el-konsulter, byggkonstruktörer och uppköpare. Detta leder till att projekten kräver en stor utbildningsinsats som i sin tur resulterar i att solcellsprojekt blir dyrare, inte uppfyller de målsättningarna eller inte ens förverkligas.

Under utvecklingsprogrammet SolEI 00-02 tog NCC och Energibanken tillsammans fram ett svenskspråkigt webbaserat projekteringsverktyg, Solcell.nu. Avsikten med detta projekteringsverktyg är att underlätta solcellsprojekt, och särskilt arbetet med att projektera, upphandla, bygga, driftsätta och sköta solcellsanläggningar integrerade i byggnader. På Solcell.nu skall alla som deltar i solcellsprojekt i byggandet kunna hitta tillräcklig information för att effektivt kunna arbeta vidare. Ett ytterligare syfte är också att ge information till en intresserad allmänhet - alla som har ett intresse av byggnader med solceller skall kunna använda Solcell.nu för att stilla sin nyfikenhet genom att kunna studera lättförståeliga beskrivningar och exempel.

Efter färdigställandet av den första versionen av Solcell.nu under 2003 strömmade en rad synpunkter in från, dels de fem speciellt utsedda granskarna, men också från andra aktörer och från personer inom projektgruppen. En del av synpunkterna har varit av den arten att de omedelbart har kunnat åtgärdas. Andra synpunkter och förslag på förändringar bedömdes inte då vara meningsfulla att åtgärda relativt den då aktuella budgeten. Utformning av ett pedagogiskt hjälpmedel av den typ som t ex Solcell.nu är en iterativ process: man gör ett förslag och publicerar det, får synpunkter på det när andra arbetar med det och förbättrar det ytterligare. Detta har vi gjort i två varv inom ramen för den första fasen av projektet.

Vi vet dock mer nu än vi gjorde för ett år sedan, när verktyget utarbetades. Under den korta tid som gått sedan verktyget lanserades har vi fått bra gensvar på verktyget. Vi har också fått ett antal påstötningar om mer information och med synpunkter. Med detta som grund initierades ”uppfräschningsprojektet” Solcell.nu - fas II.

Finansieringen till Solcell.nu - fas II kommer från Elforsk utvecklingsprogram SolEI 03-07, vilket tacksamt noteras.

### **9.3.2 Målsättning**

Det övergripande målet med projektet ”Solcell.nu – fas II” var att förbättra det grafiska utseendet samt komplettera och uppdatera innehållet i det webbaserade projekteringsverktyget Solcell.nu så att fler personer kan nyttogöra sig det på ett bättre sätt - *Uppstramning*. Ett annat mål var att sprida kunskapen om dess existens - *Informationsspridning*.

### **9.3.3 Genomförande**

Genomförandet av projektet Solcell.nu – fas II utgjordes av två delmoment – *Uppstramning* och *Informationsspridning*, i nämnd ordning.

#### **9.3.3.1 Uppstramning**

I och med fas II förbättrades stora delar av det webbaserade projekteringsverktyget Solcell.nu med mer och uppdaterad information, fotografier, illustrationer, typlösningar, etcetera. Särskilt var det avsnitten ”Gestaltning”, ”Elektrisk Design”, ”Modulmontage” och ”Standarder” som hanterades, men väl också alla andra delarna.

Webbsidans grafiska framtoning och funktionalitet förbättrades med en ändrad upplösning (från 800x600 till 1024x768), ny framsida, förbättrat menysystem, sökfunktion, med mera.

### **9.3.3.2 Informationsspridning**

Första versionen av Solcell.nu åtnjöt ingen större marknadsföring utan resultatet presenterades internt på NCC samt som en slutrapport för Elforsk utvecklingsprogram SolEl 00-02. Under fas II kommer vi att marknadsföra den nya versionen av Solcell.nu genom artiklar, samt på seminarier och konferenser. I och med att denna rapport skrivs den 14 juli 2004 återstår endast några finjusteringar innan vi kan anse att projektet är avslutat. Men med tanke på att juli är semestertider väntar vi med att gå ut med pressreleaser och artiklar tills ett mer gynnsamt läge (augusti) uppkommer. Därför kan nedanstående nyhetsbrev, journaler, etcetera, i vilka vi vill presentera artiklar, anses som förslag. Ytterligare förslag tillkommer med största säkerhet.

Förslag på nyhetsbrev, journaler, etcetera:

- Elforsk nyhetsbrev
- NCC Internt – Teknikforum, NCC Nyheter, EU-Nytt, Perspektiv, etc.
- Husbyggaren
- Byggindustrin
- Arkitektur
- Bygg & Teknik
- Byggkontakt

### **9.3.3.3 Seminarier och konferenser:**

- Inom utvecklingsprojektet PV NORD hölls 15-16 april 2003 ett möte där också Solcell.nu medverkade.
- 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 7-11 June 2004 in Paris.

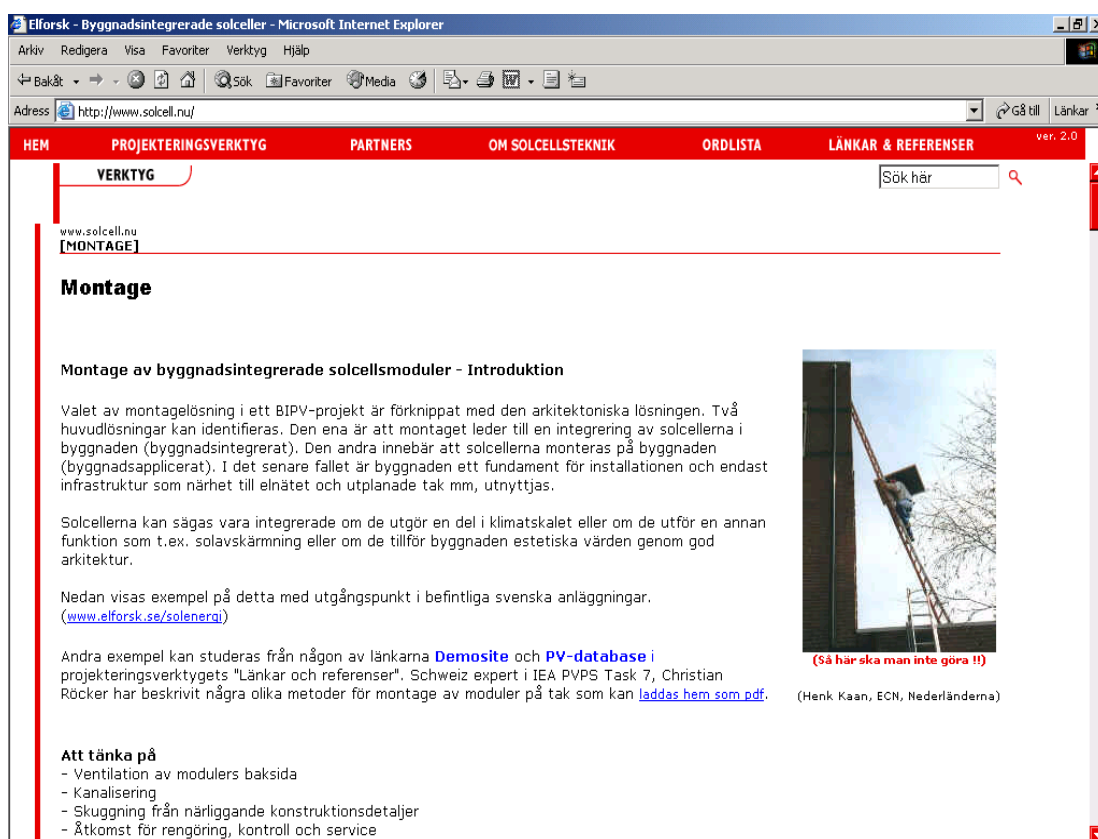
Jonas Hedström på Energibanken har lång erfarenhet av byggnadsintegrerade solceller och utförde också därför merparten av förbättringsarbetet. Jonas ombesörjde också, tillsammans med Henrik Sjönebring (webbansvarig) på NCC Communication, uppbyggnaden och förbättringen av webbsidan Solcell.nu. Gestaltningsskapitlet är skrivet av Marja Lundgren, White Arkitekter. Här beskrivs hur byggnadsintegrerade solceller som en del av klimatskalet skall vara inordnade eller underordnade en arkitektonisk helhet. Initiering av projektet, hantering av administrationen samt informationspridning sköttes av Dan Engström Och Stefan Woksepp på NCC Construction Sverige AB.

### **9.3.4 Resultat**

Solcell.nu har nu genomgått sin andra fas vilket inkluderade en ansiktslyftning samt uppdatering av information. Solcell.nu kan användas i alla faser av ett projekt - från förstudie- och projekteringsstadierna till upphandling, driftsättning och skötsel. Verktöget är också lämpligt att användas under projekterings- eller byggmöten som ett referensverk för att mötet skall slippa skjuta upp uppkomna frågor till nästa möte. Det belyser på ett översiktligt sett de frågeställningar som kommer upp vid byggnadsintegrering

av solceller, men innehåller också djupare frågor för den som är intresserad och länkar till detaljerad kunskap.

Den som söker information om solceller har ofta en specifik fråga som behöver svar. Informationen på Solcell.nu är strukturerad efter den metodik information söks via webben. Solcell.nu bygger därför på den enkla pedagogiska metoden att man klickar på det man är nyfiken på, bland allmänna beskrivningar, länkar, bilder och fallstudier.



Figur 1. Projekteringsverktyget Solcell.nu version 2.0

Verktygets navigering är kronologiskt uppbyggd på så sätt att det går från en idé genom en beslutsprocess till drift via olika genomförandesteg. Projekteringsverktyget är uppdelat på tretton olika rubriker. Rubrikerna har en struktur som innehåller en beskrivande text och typlösningar från tre utvalda projekt. Tre nya projekt (NCC, Familjebostäder och JM) i Hammarby Sjöstad har genomgående valts som fallstudier. De ger konkreta lärdomar om byggnadsintegrering av solceller ur olika aspekter, allt ifrån motiv, ekonomi och energiberäkningar till montering, drift och skötsel.

## **9.4 Genomförandet av en serie examensarbeten (magisteruppsatser) inom solel-området under 2005**

Mats Rönnelid, Högskolan Dalarna, [mrd@du.se](mailto:mrd@du.se)  
Elforsk rapport 05:28

### **9.4.1 Bakgrund:**

Under läsåret 2004/05 har sammanlagt 22 studenter från ett tiotal länder genomgått magisterprogrammet ESES (European Solar Engineering School) vid Högskolan Dalarna. Utbildningen genomförs i anslutning till Centrum för solenergiforskning SERC vid Högskolan. Huvuddelen av examensarbetena som genomförs vid Högskolan Dalarna rör termisk solenergiteknik, det kompetensområde som utgör kärnan inom SERCs arbetsområde. I och med detta Elforskprojekt har det givits möjlighet att även genomföra examensarbeten inom solelområdet genom att medel kunde ställas till förfogande för mätutrustning och extra teknikerhjälp.

### **9.4.2 Målsättning**

Målsättningen med projektet har varit att genomförandet av avancerade examensarbeten inom solelområdet ska ge ökad och bibehållen kompetensen inom PV-området inom högskolevärlden.

### **9.4.3 Genomförda insatser**

Under våren 2005 har två solelanknutna examensarbeten genomförts av studenter vid ESES. Förutom examensarbetena i sig, har tid använts för handledning, diskussion av experimentuppläggning, teknikerhjälp vid uppsättning av experimentutrustning samt sammanfattning av examensarbetena i slutrapport.

### **9.4.4 Resultat**

#### **9.4.4.1 Examensarbete 1: "Performance of MPP charge controllers for stand alone systems"**

Arbetet genomförs av Md. Shamsujjoha. I vanliga fall används MPPT (Maximum power point trackers) i större nätanslutna system och större egenförsörjda system. Under senare tid har dock olika företag marknadsfört MPPT även för mindre fristående system. Skälet är att MPPT påstås kunna öka utbytet väsentligt jämfört med konventionella system. Anledningen skulle vara det kalla klimatet i Sverige, vilket gör att solcellspanelerna arbetar vid lägre temperaturer (och därmed med annorlunda spänningsintervall) i jämförelse med t e x kontinenten. Vissa företag påpekar också att MPPT ökar utbytet signifikant om batteriet har dålig laddning, vilket ofta skulle inträffa i Sverige då vi har perioder med låg solstrålning. Syftet med exjobbet har därför varit att undersöka om MPPT är intressant för små system och undersöka hur stor fördelen är med MPPT i jämförelse med konventionella laddningsregulatorer.

I de praktiska försöken har fyra system med solcellspanel med kristallint kisel (55 Wp), batteri (75 Ah), och regulator byggts upp och undersökts vid olika klimatförhållanden

(temperatur och instrålning) och då batterierna haft olika laddning. Syftet med detta har varit att undersöka vilka parametrar som är avgörande och under vilka förhållanden MPPT fungerar bättre än konventionell laddningsreglering i små solesystem. I de fyra systemen har tre av systemen kommersiellt tillgängliga MPPT medan ett system fungerar som referens med konventionell laddningsregulator.

Kvalitativa resultat pekar på att MPPT i de flesta fall gör att utbytet ökar i jämförelse med vanlig teknik. Detta är speciellt markant om utomhustemperaturen är låg. Vid höga paneltemperaturer, något som lätt uppkommer vid stark solstrålning är dock skillnaden mellan MPPT och konventionell reglering minimal och ibland t o m negativ, dvs MPPT gör att utbytet minskar i jämförelse med konventionell teknik.

Vidare undersökningar i detta exjobb ska visa hur laddningstillståndet av batteriet påverkar systemutbytet med olika regleringsteknik. Fler mätningar vid olika väderlek kommer att göras för att den uppmätta ökningen ska kunna kvantifieras. Korrelation mellan temperatur och utbyte ska genomföras. Olika typdagar ska plockas ut för att därmed kunna göra en kvantitativ uppskattning av hur stor fördelen kan vara med MPPT. En ekonomisk analys ska visa om det är lönsamt att installera en MPPT i jämförelse med att öka solcellsarean.

#### ***9.4.4.2 Examensarbete 2: "Grid connected photovoltaics in Sweden – Investigation of the current status and a case study"***

Examensarbetet genomförs av Stefanie Koepsel. Från början var det tänkt att examensarbetet skulle innebära projektering och en detaljerad förstudie av en byggnadsintegrerad soleanläggning på SERCs lokal i Borlänge, men då riktlinjerna för solestödet inte blev klara förrän i maj 2005 blev det inte möjligt att genomföra projektet som planerat. Projektet omdisponerades därför och examensarbetet innehåller två delar; juridiska faktorer kring solestödet samt en teknisk förstudie av ett större solesystem i Borlänge

I delstudien om de juridiska faktorerna kring solestödet och större solesysteminstallationer jämförs förhållandena för soleteknik i Sverige med resten av EU. Speciellt går uppsatsen igenom den tyska situationen och hur PV-marknaden och stödformerna har utvecklats genom åren. Det konstateras bl a att nätanslutna system är dyrare i Sverige än i många andra länder. En viktig orsak till detta verkar vara att det i Sverige ofta finns "krav" på att systemen verkligen ska vara byggnadsintegrerade vilket medför dyra monteringskostnader då modulerna ska passas in i de befintliga byggnadselementen. I många andra länder med stor solemarknad är en stor andel av de "byggnadsintegrerade" systemen betydligt enklare byggnadstekniskt, med enkel montering direkt på plåttak eller fasader. Ofta anlitas därför inte arkitekter eller konsulter för denna del, vilket ytterligare drar ner kostnaderna.

Rapporten är i många fall kritisk till det nya stödsystemets och den nya lagens möjligheter att verkligen bana väg för en solesystemintroduktion i stor skala i Sverige. Medan Sverige har ett system som ger en rabatt på själva installationen (ett skatteavdrag på upp till 70% av investeringskostnaden för solesystemet) har de flesta andra EU-länder (18 av 25 stater) ett system som istället medför garanterade elpriser för solesysteminstallationen.

Dessa ”feed-in tariffs” garanterar ofta höga elpriser (som mest 0,62 Euro/kWh i Tyskland) under lång tid, vilket möjliggör såväl bättre ekonomi för installationen som att det lättare går att göra en budget för att ekonomiskt kunna räkna hem systemet. Det ska dock noteras att det ska komma en gemensam rekommendation för alla EU-stater i oktober 2005 om hur PV-installationer ska stödjas i framtiden, något som kan komma att påverka det svenska programmet.

Det svenska stödsystemet liknar den tyska stödformen som introducerades kring 1990. Dock följdes den senare upp av ett omfattande mätprojekt där i princip varje större installation följdes upp av mätningar. På detta sätt fick man stor erfarenhet som kunde användas i vidare utveckling av såväl tekniken som framtida stödformer. Även mer sociotekniska aspekter av PV-installationerna följdes upp. Något liknande tycks inte vara planerat i Sverige, vilket gör att man kan fråga sig hur erfarenheterna av den nuvarande stödformen och satsningen på större PV-installationer kommer att tas tillvara.

I rapporten pekas det på några faktorer som gör att man kan vara tveksam till om man kommer att kunna utnyttja de medel på 100 MSEK som ställts till förfogande; för att kunna utnyttja stödet måste solelanläggningarna vara färdiginstallerade till 31/12 2007. I det nuvarande stödsystemet finns inga speciella regler för installation av nätanslutna PV-system, utan varje anläggning får sin individuella lösning som beslutas tillsammans med de lokala nät- och energibolagen. Detta riskerar försena installationerna om det inte snabbt växer fram en standard som underlättar projekteringen och de förhandlingar som måste till lokalt. Vid tidigare stödprogram i t.ex. Tyskland har det lagstadgats att elbolagen är tvungna att köpa el producerad från solelanläggningar. Även detta är oklart i Sverige och riskerar försena förverkligandet av större installationer om intresset från de lokala elbolagen är ljust.

Det är slutligen mycket osäkert om det kommer att finnas tillgång till solelpaneler i den skala som krävs om hela stödvolymen ska kunna utnyttjas. Redan idag rådet det en brist på solcellsmoduler i Europa, och väntetider på upp till ett år eller mer för leverans är vanliga. Utnyttjas de svenska stödmedlen kommer detta innebära att det finns behov av ytterligare uppskattningsvis 19 000 m<sup>2</sup> solcellsmoduler (totalt 1,9 MW<sub>p</sub>, räknat på polykristallina moduler). Detta, tillsammans med en alltjämt ökande europeisk efterfrågan och introduktion av nya program (t ex i Spanien), kommer att öka efterfrågan inom EU ytterligare. Då installationer i Sverige måste vara klar 31/12 2007 för att vara stödberättigade betyder det att anläggningen måste beställas senast under 2006, kanske t o m under första delen av eller senast sommaren 2006. Det verkar vara mycket osäkert om en tillräckligt stor mängd större anläggningar kommer att hinna projekteras och beställas i tid.

I delstudien om en solelinstallation på SERCs byggnad i Borlänge projekteras en 18 kW<sub>t</sub> anläggning med polykristallina solceller. Förutom en teknisk beskrivning med förslag på vilka komponenter som ska användas kommer en kostnadsanalys och en arbetsbeskrivning för installationen att genomföras.

## 9.5 Aktiv solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter

Marja Lundgren och Fredrik Wallin, White Arkitekter, [marja.lundgren@white.se](mailto:marja.lundgren@white.se)  
Projektet redovisas i boken ”Aktiv solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter”, Marja Lundgren och Fredrik Wallin, Arkus förlag 2003, ISSN 0284-7809. Skrift nr 44. Boken kan beställas från Byggförlaget, [info@byggforlaget.se](mailto:info@byggforlaget.se).

### 9.5.1 Bakgrund och målsättning

Den dominerande utvecklingen för solcellstekniken har under lång tid fokuserats på att optimera verkningsgrader och pressa priser, vilket har varit och är viktigt för att möjliggöra att solceller blir ekonomiskt gångbara i nätanslutna sammanhang. I Sverige har icke nätanslutna användningsområden dominerat eftersom att el från solceller prismässigt kan konkurrera där alternativet är framdragnings av el. Under samma period bidrog stödsystem i Europa till att solceller används även i bebyggelse med nätanslutning. Detta innebar att en utveckling i användandet av solceller som kräver estetiska ställningstaganden redan påbörjats. Initialt tenderade arkitekterna att manifesteras solcellerna och att helt solenergianpassa byggnaderna men efter hand har solcellerna kommit att bli en naturlig del av konceptet. I SolEl-programmet 00-02 inleddes en studie på initiativ av Gunilla Hagberg från White arkitekter om solenergens påverkan på design av bebyggelsestruktur och om utvecklingen av byggdelskomponenter ur stadsbyggnadsperspektiv. Ambitionen var att färdigställa denna i form av en ”inspirationsskrift” snarare än en vetenskaplig rapport för att engagera planarkitekter och arkitekter i utvecklingen av solceller från ren energiomvandlare till att även vara ett material i stadsbilden. Under arbetet med studien framkom att både referensgrupp och författarna Marja Lundgren och Fredrik Wallin ansåg att arkitektens ställningstagande kring solceller, som genererar el, även i hög grad kunde gälla för solfångare, som genererar värme. Tillsammans tog man beslutet att den kommande skriften skulle redovisa förutsättningarna för båda teknikerna.

### 9.5.2 Projektbeskrivning

Under åren 2000-2002 genomförde Marja Lundgren tillsammans med Fredrik Wallin en studie över aktiv solenergi som ett byggnadselement och förutsättningar för detta i stadsplanering. I en referensgrupp fanns företrädare för forskning, planering och byggsektor. Under 2003 ansvarade Marja Lundgren, på uppdrag av Elforsk och med Arkus (Arkitekternas forum för forskning och utveckling) som förlag, för vidare bearbetning och publicering av studien i en skrift kallad ”Aktiv Solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter”. Grafisk bearbetning utfördes av Laila Reppen, Laila Reppen arkitektkontor AB.

### 9.5.3 Genomförda insatser och resultat

Skriften ”Aktiv Solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter” lanserades den 12 maj 2004 under SolEl-seminariet – från komponent till byggnadselement. I skriften behandlas såväl detaljer på byggnadsnivå som planering

och samhällsbyggande. Förutsättningarna för aktiv solenergi i styrmedel i form av normer och regelverk, miljöpropositionen och byggsektorns åtaganden beskrivs. Internationella och nordiska inspirationsexempel kombineras med analyser av förutsättningar i olika stadsplanesammanhang. Skriften är riktad till arkitekter, byggherrar och planerare. Skriften trycktes i en första upplaga av 1000 exemplar och har därefter tryckts i ytterligare 1000 exemplar för att ingå i en utökad informationssatsning till länsstyrelser och kommuner med anledning av investeringsbidraget för solceller som löper mellan 2005 och 2007.

## **9.6 SolEI 03-07 Seminarserie om solceller i arkitektur**

Marja Lundgren, White Arkitekter, [marja.lundgren@white.se](mailto:marja.lundgren@white.se)  
För mer information kontakta Marja Lundgren.

### **9.6.1 Bakgrund**

Idén till seminarieserien kom ur arbetet med skriften ”Aktiv solenergi i hus- och stadsbyggnad” som under 2004 gavs ut i samverkan mellan Elforsk och Arkus (Arkitekternas forum för forskning och utveckling). Det är den första svenska skriften om solceller som byggnads- och stadsbyggnadselement som publicerats. Informationssatsningar kring solceller som inslag i stadsbilden hade tidigare förekommit i mindre omfattning i Sverige, främst inom SolEI-programmet och PV Nord:s verksamhet (PV Nord var ett demonstrations och utvecklingsprojekt med stöd av EU och STEM). Ett seminarium där byggherrar och stadsbyggnadsarkitekter kan mötas hade inte tidigare genomförts i Sverige.

Under 2004 föreslog även näringsdepartementet ett investeringsstöd riktat till offentliga byggnader som är särskilt förmånligt för solceller, med en förhöjd skattereduktion på 70 procent. Det antogs väcka ett intresse hos offentliga byggherrar, förvaltare och planerare för solceller, vilket också visade sig riktigt.

Före 2004 hade det varit främst i samband med Hammarby Sjästad och BO01 som stadsplanerare kommit i kontakt med solceller. Möjligheterna för solceller i framtida bebyggelse fastläggs i dagens detaljplaner och diskussion samt kunnande kring solceller, dess estetiska möjligheter och tekniska förutsättningar saknades hos stadsbyggnadskontoren. Både för framtida bebyggelse och för att skapa god arkitektur i förnyelse av befintlig bebyggelse som tar hänsyn till ett hållbart samhälle är information till och diskussion med stadsbyggnadskontoren vital.

Seminarieserien var knuten till ett solcellsgalleri som etablerades på White arkitekters kontor vid Skanstull i Stockholm. Galleriet är en visningsyta för att belysa estetiska och tekniska möjligheter och krav för solcellskomponenter. Avsikten med galleriet är att skapa en praktisk möjlighet för kontinuerliga möten mellan företrädare för form, forskning och tillämpning kring utformningen av byggnadsintegrerad solenergi.

### **9.6.2 Målsättning**

Målsättningen med seminarieserien var att sprida information och väcka intresse kring solceller som byggdel och som material i stadsbilden. Med seminarierna avsågs att nå ut till de aktörsgrupper som inom planering och byggbransch kan komma att bli viktiga för solceller i nätanslutning. Särskild tyngd lades vid ett heldagsseminarie riktat till arkitekter, stadsplanerare och byggherrar om möjligheterna med solceller som byggnads- och stadsbyggnadselement. Potentialerna för solceller i dagens förnyelseprojekt och i framtida byggnadsprojekt påverkas i hög grad av dagens stadsbyggnadskontor. Kunniga föreläsare inbjöds att dela med sig av sina erfarenheter och under seminariet ”Solceller i stadsbilden” fördes dialog med deltagarna genom en avslutande paneldebatt. Seminarietillfället avsåg möta ett nyvaknat eller ökat intresse från offentliga byggherrar och planeringssidan i relation till det föreslagna investeringsbidraget.

### **9.6.3 Projektbeskrivning**

Seminarieserien omfattade slutligen tre seminarietillfällen inriktade på byggnadsintegrerade solceller, stadsplanering respektive byggdelskomponenter. Formas gav ett mindre anslag till serien som helhet och Elforsk var delfinansiär till sessionen ”Arkitektur med byggnadsintegrerade solceller” och ”Solceller i stadsbilden”. Det första seminarietillfället planerades som en del av Elforsks SolEI-seminarie och det andra seminarietillfället om stadsbyggnadsperspektivet planerades som en fristående heldag. Till detta seminarie inbjöds representanter från Stockholms stadsbyggnadskontor, gatu- och fastighetskontor, arkitekter och övriga konsulter i Hammarby Sjöstad samt arkitekt för Kollektivhuset, Köpenhamn och stadsarkitekt från Köpenhamn att presentera sin syn på solceller i stadsbilden. Även Anna Green som utvärderat Hammarby Sjöstads miljösatningar inbjöds att medverka och berätta om sina reflexioner kring solceller och stadsplaneringsprocessen i Hammarby Sjöstad.

### **9.6.4 Genomförda insatser, resultat**

Under 2004 genomfördes en serie seminarier med temat solceller i byggnader: Byggnadsintegrerade solceller (12 maj), Solceller i stadsbilden (2 dec) och Solceller som byggdelskomponent (13 dec). Serien anordnades av White arkitekter och finansierades av Elforsk och FORMAS. I samband med seminarieserien etablerades även ett Solcellsgalleri för byggnadsintegrerade solceller på Whites kontor vid Östgötagatan 100, finansierat av Stiftelsen för Arkitekturforskning. Solceller integrerat i solavskärmning, takbeläggning och glasytor visades i olika kulörer och olika sorter (tunnfilm och kisel).

Seminarieserien engagerade drygt 160 deltagare. Bland föredragshållare och åhörare fanns stadsplanerare, arkitekter, byggkonsulter, entreprenörer, byggherrar, forskare, solcellsproducenter och byggdelstillverkare och företrädare för länsstyrelser runt om i landet, Boverket, Energimyndigheten, Miljöförvaltningen i Stockholms Stad och Byförnyelsekontoret i Köpenhamn.

Seminarieinnehållet beskrivs här i korthet. Sessionen ”Arkitektur med byggnadsintegrerade solceller” som hölls den 12 maj som en del av SolEI-dagen riktade sig till byggherrar, arkitekter och byggdelstillverkare. Under eftermiddagen delgavs deltagarna erfarenheterna i några nordiska projekt där solceller integrerats i dubbelglasfasad, balkong-

fronter och putsfasad. Arkitekten Sara Grahn vid White arkitekter presenterade sina erfarenheter kring att arbeta med solceller som ett fasadmateriel vid utformningen av ett medborgarhus i Kolding i Danmark. Solcellsentreprenören Jyrki Leppinen, NAPS som utvecklade balkongfronter med integrerade solceller för ett bostadshus i Ekovikki, Finland tillsammans med Lumon balkongtillverkare belyste möjligheter och svårigheter kring byggnadsintegration av solceller. Byggtreprenören NCC:s erfarenheter fasadintegration av solceller i Holmen och Grynnan, bostadshus i Hammarby Sjöstad presenterades av Dan Engström. Marja Lundgren, White arkitekter och Dan Engström berättade kort om olika projekteringsstöd – boken om Aktiv solenergi i hus och Stadsbyggnad och hemsidan Solcell.nu båda ett resultat av SolEL 99-03. Från Lunds tekniska högskola berättade arkitekten Andreas Fieber om ett pågående forskningsprojekt där solceller och solfångare integrerats i en invändig fasadpersienn.

Den 2 december hölls ett heldagsseminarium om Solceller i stadsbilden med studiebesök i Hammarby Sjöstad. Under förmiddagen berättade Gustaf Landahl från miljöförvaltningen i Stockholms stad och Maria Hall från Energimyndigheten om solceller som energikälla och dess inverkan på planering. Yvonne Svensson jurist vid Boverket beskrev vad näringsdepartementets förslag om riktat investeringsstöd till solceller i offentliga byggnader innebar. Därefter berättade planarkitekt Jan Inghe-Hagström om stadsplaneringen i Hammarby Sjöstad, varefter arkitekterna Kjell Torstensson och Mats Egelius vid White arkitekter och Stellan Fryxell från Tengbom arkitekter berättade mer i detalj kring sina projekt och arbetet med solceller som ett material i stadsbilden. Visningen av byggnader i Hammarby Sjöstad genomfördes med hjälp av Mats Andersson, Energibanken och Leif Selhagen, NAPS. Under eftermiddagen gjorde Anna Green, doktorand vid Tema, Linköpings universitet en jämförelse av planprocessen i Hammarby Sjöstad och den i Västra Hamnen i Malmö, varefter två danska föreläsare Sune Skovgaard, Byfornylsekontoret i Köpenhamn och Claus Sondergaard, Domus arkitekter berättade om solceller i Köpenhamns stadsbild. Dagen avslutades med en paneldiskussion mellan fördragshållare och publik som leddes av Johanna Wiklander vid White arkitekter.

Det sista seminariet i serien ”Solceller som byggdelskomponent” genomfördes i samarbete med Switch, EPIA och innehöll en förmiddagssession som behandlade arkitektoniska frågeställningar kring massproduktion av byggdelar med integrerade solceller och en presentation av solceller som en byggprodukt. Inbjudna föredragshållare var byggdelsproducenterna Rheinzink, Schüco, Dasolas, Hydro Building Systems som även ställde ut i solcellsgalleriet under seminarietillfällena den 2 och 13 december. Eftermiddagen ägnades åt näringsdepartementets förslag till investeringsstöd, möjligheterna för solceller 2020 i Sverige och diskussioner kring möjligheter och intresse av ett svenskt solcellsförbund leddes av Dag Sigurd, Industrifonden. Föredragshållare var Erik Thornström, Näringsdepartementet, Staffan Jacobsson, Chalmers Tekniska högskola och Michel Vaud, EPIA. Eftermiddagen organiserades av Andrew Machirant, Switch.

Solcellsseminariet har en permanent utställning av kisel-solceller i olika byggdelsutformning och kulörer samt kan härbärgera tillfälliga utställningar i samband med seminarier som kan arrangeras i White arkitekters seminarielokal.

## 9.7 Anpassning av Internetbaserad solelkurs för att utveckla ROT-programmet

Bengt Perers, LTH, [bengt.perers@ebd.lth.se](mailto:bengt.perers@ebd.lth.se)

Projektet redovisas i ett kursmaterial som används i kursen. För mer information kontakta Bengt Perers.

### 9.7.1 Bakgrund

Mycket kunnande finns om solcellssystem i Sverige, men koncentrerat till ett fåtal aktörer. Detta har varit ändamålsenligt hittills med tanke på den låga utbyggnadstakten av solcellssystem i Sverige.

I och med att det aviserades en kommande 70% subventionsnivå, i ett ROT program, för solcellssystem under andra halva av år 2004, på offentliga byggnader, så tog Energi och Byggnadsdesign vid Lunds tekniska högskola initiativet att försöka ta fram en speciell kurs för att sprida kunnandet till en bredare krets av mera professionella aktörer, så att denna chans kunde tas tillvara för att få ut väl fungerande Solcellssystem i vettiga applikationer, som kan bli ett föredöme framöver.

För att få en stor spridning av deltagare över landet och då Energi och Byggnadsdesign har en lång erfarenhet av Internetbaserade kurser, valdes denna studieför form för kursen.

### 9.7.2 Målsättning

Målsättningen med kursen är att ge intresserade företag ett baskunnande, så att deltagarna kan göra egna analyser och förstudier och bedöma tekniken utgående från sin egen fackkompetens, synvinkel och affärsidé. En viktig målgrupp har också varit energirådgivare.

Ett viktigt delmoment i kursen har varit att sprida kunnande om energieffektivisering kopplat till solcellssystem. Energieffektivisering är definierat som ”samma nytta med mindre energiåtgång” till skillnad från sparande som ofta ger en standardförsämring. Speciellt i system utanför elnätet kan detta ha en helt avgörande betydelse för lönsamheten och framgången i ett solcellsprojekt.

Genom att göra en internetbaserad kurs kunde man uppnå målet att lättare nå ut till professionella aktörer, som måste kunna sköta sitt vanliga arbete parallellt och delvis jobba i sin egen takt och på distans.

### 9.7.3 Projektbeskrivning

Arbetet baseras på en befintlig Internetbaserad kurs om solcellssystem vid Energi och Byggnadsdesign som går varje vårtermin. Denna har omarbetats radikalt för att hamna rätt för denna målgrupp.

Det ingående systemsimuleringsprogrammet PVSUN3 fick också anpassas för att klara nätanslutna system på ett litet mera tydligt och detaljerat sätt för förstudier inför ROT-programmet. Det baseras på TRNSYS paketet och är väldigt avancerat under skalet, men förhållandevis enkelt att använda, genom att en mängd inställningar och indata

sköts automatiskt av programmet under ytan. För en kurs av denna art är det ett perfekt verktyg för att ge eleverna en introduktion till systemsimulering och ger möjlighet till snabba överslagsberäkningar för förstudier. Kursschemat med nedladdningsbara föreläsningar, inlämningsuppgifter och programvara visas nedan.

Datum och Tid	Kursavsnittets Titel	Länkar till Kursavsnittets Litteratur och Läsanvisning
v. 46	Inledning till Solel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solceller<sup>1</sup>: Kapitel 1 och kapitel 3</li> <li>IEA-rapporten <a href="#">Trends in Photovoltaic Applications</a> Denna rapport ger en bra sammanfattning av marknads-, teknik- och kostnadsläge för PV-tekniken</li> </ul>
v. 47	Hammarby Sjöstad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solceller: Kapitel 6 och kapitel 10</li> <li><i>Rapporten "Solel i bostadshus" (Maria Brogren). Denna rapport visar hur solelssystem införts i ett nytt svenskt bostadsområde i Stockholm, Hammarby Sjöstad.</i></li> <li><i><a href="#">Rapport om kostnader för solcellssystem</a> (Elisabeth Kjellsson)</i></li> </ul>
v. 48	Solcellsfysik och moduler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solceller: Kapitel 2 och kapitel 4</li> <li><a href="#">Utdrag ur Miljöfysik</a> (Mats Areskoug)</li> </ul>
v. 48	Skuggningseffekter	<ul style="list-style-type: none"> <li><a href="#">Rapport om skugginverkan på PV-moduler</a> (Simon Jansson)</li> <li><a href="#">Faktablad om partiell skuggning</a></li> </ul>
v. 49	Solcellsystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solceller: Kapitel 5</li> <li><a href="#">PM om solcellsystem</a> (Bengt Perers)</li> <li><a href="#">Rapport om uppföljning av nätanslutna solcellsanläggningar i Sverige</a> (Jonas Hedström)</li> </ul>
v. 49	Komponenter	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solceller: Kapitel 5</li> <li><a href="#">PM om komponenter i solcellsystem</a> (Bengt Perers)</li> <li><a href="#">Elektronikfakta från ELFA</a></li> </ul>
v. 50	Simuleringsmetoder	<ul style="list-style-type: none"> <li><a href="#">PM om simuleringsprogrammet PVSUN</a> (Bengt Perers)</li> <li><a href="#">PVSUN3</a> för nerladdning</li> </ul>

#### **9.7.4 Resultat**

Under första kursperioden november-december 2004 genomförde ett 15 tal kursdeltagare kursen. Sedan dess har ytterligare deltagare tillkommit, eftersom det fanns önskemål att kunna starta vid ett valfritt tillfälle. Det har även funnits möjlighet att delta i kursen under hela 2005 tack vare att kursen är Internetbaserad. De som fullföljt kursen med godkända inlämningsuppgifter får ett kursintyg med betyg "godkänt". Övriga får också ett kursintyg men med beteckningen "deltagit".

Markandsföringen av kursen har inte varit så enkel i dagens informationsflod. De flesta av deltagarna har anmält sig efter personliga kontakter i samband med andra tillfällen till möten. LTH har dock försökt sprida information om kursen mera aktivt via hemsidor. En bidragande orsak att nå ut kan också vara att de exakta formerna för ROT-bidraget inte har varit lades fast förrän under 2005. Den förenklade informella kursutvärdering som begärdes in från deltagarna gav väldigt positiv respons.

## 10 Måluppfyllelse och fortsatt arbete

Programmets målsättning är av övergripande karaktär, och därmed inte så lätt att ”pricka av”. Den verksamhet som bedrivits under denna etapp har dock bidragit till att den svenska utvecklingen på solcellsområdet har drivits framåt. Ett viktigt resultat av det övergripande programarbetet är också den funktion som samordnande nav och mötesplats för olika solcellsaktörer som programmet utgör.

### 10.1 Måluppfyllelse

#### 10.1.1 *Ökad kompetens och informationsspridning*

En allmän kompetenshöjning inom målgruppen har åstadkommit genom programmets rapporter, hemsida, nyhetsbrev och seminarier. Den årliga rapportering av state of the art vad gäller teknik och marknadsläge för solceller i Sverige samt internationellt utgör också ett viktigt resultat som bidrar till att förstärka kunskapen om solceller i Sverige.

Det systemorienterade projektet ”Att befrämja solcellstekniken i Sverige: Varför, hur och hur mycket?” har bidragit till en ökad kunskap om investeringsstöd på solcellsområdet på Chalmers Tekniska Högskola. Utöver detta projekt har man också initierat andra forskningsprojekt och examensarbeten inom solcellsområdet där kunskapen från projektet har kommit till nytta.

Lunds Tekniska Högskola har drivit projekten ”Industriell utveckling av hybridabsorbator vid Texus och GPV” och ”Anpassning av Internetbaserad solelkurs för att utveckla ROT-programmet”. Högskolan har också deltagit som utförare i projektet ”Solceller i Malmö stad- förstudie”. Detta arbete har bidragit till att öka forskarnas kunskap om hybridabsorbatorer och skapat goda kontakter med de industriella parter som deltagit i projektet. Omarbetningen av den tidigare högskolekursen om solcellsteknik till en konsultutbildning har breddat högskolans kunskaper om solcellstekniken och skapat en insikt om näringslivets problemställningar vad gäller solcellsteknik. Arbetet med förstudien av möjligheter till solcellsinstallationer på Malmös offentliga byggnader har givit en god kontakt med Malmö Stad och en förbättrad insikt i arkitektoniska, ekonomiska och byggtekniska perspektiv vad gäller solceller.

De två examensarbeten som genomförts vid Högskolan Dalarna har möjliggjort för högskolan att bibehålla och utveckla sin kompetens inom solelområdet.

Under denna etapp har arkitekt-, bygg- och fastighetssektorn varit en viktig målgrupp. Denna har bearbetats genom seminarier och framtagandet av skriften ”Aktiv solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter”. Projekteringsverktyget Solcell.nu som vidarebearbetats i denna etapp utgör också ett viktigt redskap för denna målgrupp. De utförare som kommit från arkitekt-, bygg och fastighetssektorn har fått en möjlighet att vidareutbilda sig inom solcellsområdet och utgör också nyckelkompetenser som flitigt anlitas för att föreläsa inom området.

Konsultsektorns kompetens har ökat genom den solcellsutbildning som utvecklats vid LTH samt den teknik- och konferensbevakning som genomförts. De representanter från tillverkande industri som har deltagit som utförare har dels fått ökad kunskap för egen del och dels ökat företagets kompetens på solcellsområdet.

### **10.1.2 Tester, utveckling och demonstration**

Verksamheten i denna etapp har bidragit till en bättre kunskap vad gäller nätanslutningsfrågan och vilka hinder och möjligheter som finns för solelförsäljning till elnätet och möjligheter till standardisering av småskaliga nätanslutningar. Detta arbete följs upp i ett nytt projekt i SolEl 03-07:s andra etapp.

De två förstudier av solcellsinstallationer på offentliga byggnader som genomförts, och dessa kan till stor del generaliseras och ge information och inspiration inför installationer i andra regioner. Dessa utgör viktiga resultat för de aktörer som överväger att uppföra solcellsinstallationer inom ramen för investeringsbidraget för offentliga byggnader.

Det koncept för koncentrerande hybridmoduler med samtidig produktion av el och värme som tidigare utvecklats inom programmet har under denna period tagits från testfas till demonstrationsfas i och med installationen av 30m<sup>2</sup> moduler i Hammarby Sjöstad i Stockholm. Demonstrationen visade på vikten av en robust absorbator, något som utvecklats inom ramen för ett annat projekt i programmet. Denna absorbator kommer i programmets andra etapp att monteras in i demonstrationsanläggningen för att utvärderas fältmässigt. I arbetet med att utveckla absorbatoren har man också identifierat en helt ny systemtillämpning där solceller skulle kunna kopplas ihop med en värmepump.

En utvärdering har gjorts av en ny konstruktion med överkantsreflektor för att öka solcellsutbytet vintertid för små fristående system. Den applikation som utvärderats är laddning av batterier för att försörja en frångiljarstation i elnätet. Fälttestet visade på svårigheter att upprätthålla batterispänningen, men den pilotinstallation som gjorts i laboratoriemiljö indikerade att konstruktionen fungerade som planerat. Solceller skulle kunna användas i högre grad i elnätet, något som kommer att studeras vidare i den nya etappen.

Sedan ett flertal år tillbaka följs produktionen i svenska nätanslutna solcellsanläggningar och redovisas månadsvis i en databas på [www.elforsk.se/solenergi](http://www.elforsk.se/solenergi). Detta utgör dels en sammanställning över hur mycket el som produceras från nätanslutna anläggningar och dels en möjlighet till att identifiera problem i anläggningarna.

## **10.2 Fortsatt verksamhet**

En ny etapp av programmet har startat, och en utlysning för att identifiera nya projekt hölls under hösten 2005. Verksamheten ligger inom samma område som den föregående etappen. Finansieringen av den nya etappen är också likartad med ca 50% från Energimyndigheten, 25% från energisektorn och 25% från bygg/fastighetssektorn samt tillver-

kande industri. Under verksamhetsåret 2005-2006 drivs följande projekt (ytterligare projekt kan tillkomma):

<b>NÄTANSLUTNINGSFÅRÅGOR OCH STANDARDISERING</b>
Rutiner för försäljning av el från nätanslutna solcellsanläggningar, Switchpower Lars Hedström
<b>SYSTEMFRÅGOR</b>
Studie av samordningsvinster vid soleaförsörjning i fristående mindre nät med samverkan mellan fastigheter, ÅF Lars-Åke Cronholm
Solceller som resurs i krisberedskapsarbetet inom telekom, ÅF Carina Martinsson
<b>TEKNIK- OCH KONFERENSBEVAKNING</b>
Rapportering från konferensen "European PV Solar Energy Conference", Dresden, Tyskland, 4-8 september 2006, CarlBro Bengt Ridell
<b>INFORMATIONSSPRIDNING OCH UTBILDNING</b>
SolEI Roadshow Malmö, Energikontoret Skåne Per Qvistbäck
SolEI Roadshow Härnösand, Priono Joakim Byström
Interaktiv vandringsutställning om solelektricitet (IVUSE), Högskolan Dalarna Lars Broman
Genomförandet av examensarbeten (magisteruppsatser) inom solel-området under 2006, Högskolan Dalarna Mats Rönnelid
Medel för att ta in solcells föreläsare i undervisning på högskolenivå
Förstudie inför studieresa solcellsarkitektur i Europa, Marja Lundgren, White Arkitekter
Utställning Utopier och verklighet (reservation)
Exjobbss stipendier
Doktorandstipendium för att presentera forskningsresultat på PVSEC
<b>UTVÄRDERING OCH DRIFTUPPFÖLJNING</b>
Utvärdering av hybridfönster, Malmö Stad Martin Nilsson
Driftuppföljning av svenska nätanslutna solcellsanläggningar, Energibanken Jonas Hedström
<b>DEMONSTRATION AV INTRESSANTA TILLÄMPNINGAR</b>
Byte av hybridabsorbator i Hammarby Sjöstad, LTH Björn Karlsson
Förstudie för svensk massproduktion av koncentrerande solföljande system, Priono Joakim Byström
<b>ÖVRIGT</b>
Utredning av konkurrenskraften hos el från nätanslutna solcellsmoduler i Sverige, Lunds universitet Lena Neij

## 11 Referenser

### Publikationer med anknäytning till Solel 03-07, verksamhetsår 2003-2005

1. Hedström J., (2004) ”Driftuppföljning av Svenska Nätanslutna solcellanläggningar status juni 2004”, nedladdningsbar från [www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel), Energibanken i Jättendal AB
2. Helgesson A. & Krohn P., (2005) ”Utvärdering av MaReCo-hybrid i Hammarby Sjöstad”, Elforsk rapport 05:36, Vattenfall Utveckling AB, [anna.helgesson@vattenfall.com](mailto:anna.helgesson@vattenfall.com)
3. Hosini F. & Krohn P., (2004), ”Standardisering av kostnadseffektiva nätanslutna solcellsystem” Elforsk rapport 04:08, ABB Corporate Research, [falah.hosini@se.abb.com](mailto:falah.hosini@se.abb.com)
4. IEA PVPS Task 1, (2003) “Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2002”, IEA-PVPS, Report T1-12:2003, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
5. IEA PVPS Task 1, (2004) “Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2003”, IEA-PVPS, Report T1-13:2004, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
6. IEA PVPS Task 3, (2003) “Demand side management for Stand-Alone Photovoltaic systems”, IEA-PVPS T3-16:2003, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
7. IEA PVPS Task 3, (2003) “Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic systems - Recommended practices”, IEA-PVPS T3-15:2003, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
8. IEA PVPS Task 3, (2003) “Monitoring Stand-Alone Photovoltaic systems: methodology and equipment – Recommended practices”, IEA-PVPS T3-13:2003, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
9. IEA PVPS Task 3, (2003) “Protection against the effects of lightning on Stand-Alone Photovoltaic systems - Common practices”, IEA-PVPS T3-14:2003, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
10. IEA PVPS Task 3, (2004) “Alternative to lead-acid batteries in Stand-Alone Photovoltaic systems”, IEA-PVPS T3-18:2004, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
11. IEA PVPS Task 3, (2004) “Selecting lead-acid batteries used in Stand-Alone Photovoltaic power systems – Guidelines”, IEA-PVPS T3-17:2004, [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)
12. Jacobsson S. & Sandén B., (2005) ”Att befrämja solcellstekniken i Sverige: Varför, hur och hur mycket?”, Miljösystemanalys rapportserie ESA-rapport 2005:2 (nedladdningsbar från [www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel)), Chalmers Tekniska Högskola, [stajac@mot.chalmers.se](mailto:stajac@mot.chalmers.se)
13. Karlsson B., (2005) ”Industriell utveckling av hybridabsorbator vid Texsun och GPV”, Elforsk rapport 05:41, Energi och ByggnadsDesign LTH, [bjorn.karlsson@ebd.lth.se](mailto:bjorn.karlsson@ebd.lth.se)
14. Koepsel S., (2005) “Grid-connected photovoltaics in Sweden – Investigation of the current status and a case study”, Högskolan Dalarna
15. Krohn P., (2004) ”Avslutsrapport för IEA PVPS Task 3, perioden 1999-2004”, Vattenfall Utveckling AB PM nr US 04-40, Vattenfall Utveckling AB, [peter.krohn@vattenfall.com](mailto:peter.krohn@vattenfall.com)
16. Krohn P., (2004) ”Vidareutveckling av överliggande reflektorer för fristående solcellsystem för årstidsutjämnning, Vattenfall Utveckling AB:s rapportserie nr U04:138 (nedladdningsbar från [www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel)), Vattenfall Utveckling AB, [peter.krohn@vattenfall.com](mailto:peter.krohn@vattenfall.com)
17. Lundgren M. & Wallin F., (2003) ”Aktiv solenergi i hus och stadsbyggnad – samtida perspektiv och framtida möjligheter”, Arkus förlag 2003 ISSN 0284-7809 Skrift nr 44 (boken kan beställas från Byggförlaget [info@byggforlaget.se](mailto:info@byggforlaget.se)), White Arkitekter. [marja.lundgren@white.se](mailto:marja.lundgren@white.se)
18. Malm U. & Stolt L., (2004) “National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2003”, IEA PVPS task 1, Uppsala universitet, [ulf.malm@angstrom.uu.se](mailto:ulf.malm@angstrom.uu.se)
19. Malm U. & Stolt L., (2005) “National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2004”, IEA PVPS task 1, Uppsala universitet, [ulf.malm@angstrom.uu.se](mailto:ulf.malm@angstrom.uu.se)

20. Malm U., Lundberg O. & Stolt L., (2003) "National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2002", IEA PVPS task 1, Uppsala universitet, ulf.malm@angstrom.uu.se
21. Nilsson M. och Fieber A., (2005) "Solceller i Malmö Stad- Förstudie", Elforsk rapport 05:21, Malmö Stad Stadsfastigheter, martin.c.nilsson@malmo.se
22. Ridell B., (2004) "Konferensbevakning 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, juni 2004, Paris, Frankrike" Elforsk rapport 04:29 Carl Bro Energikonsult AB, bengt.ridell@carlbro.se
23. Rönnelid M., "Genomförandet av en serie examensarbeten (magisteruppsatser) inom solemrådet under 2005", Elforsk rapport 05:28 Högskolan Dalarna, mrd@du.se
24. Shamsujjoha M., (2005) "Performance of MPP charge controllers for stand alone systems", Högskolan Dalarna
25. Sjöström P., (2005) "Solen skiner alltid på Ullevi- Förutsättningar för en storskalig nätansluten solcellsanläggning på Ullevi tak", Elforsk rapport 05:20, SOLENKO/Switchpower, peter@switchpower.se
26. Stolt L., (2005) "Statusrapport 2005 om teknik- och marknadsutvecklingen på solcellsområdet", Elforsk rapport 05:29, Solibro AB, lars.stolt@angstrom.uu.se
27. Stridh B., (2005) "Nätanslutning av småskaliga solcellssystem för elförsäljning - En demonstrationsanläggning", Elforsk rapport 05:30, ABB Corporate Research, bengt.stridh@se.abb.com

### **Seminarier**

28. Solceller- från komponent till byggnadselement, seminarium Ingenjörshuset Stockholm 040512, dokumentation finns att ladda ned från [http://www.elforsk.se/nyhet/seminarie/sem\\_old.html](http://www.elforsk.se/nyhet/seminarie/sem_old.html)
29. SolEI-seminarium, seminarium Ångströmlaboratoriet Uppsala 050526, dokumentation finns att ladda ned från [http://www.elforsk.se/nyhet/seminarie/sem\\_old.html](http://www.elforsk.se/nyhet/seminarie/sem_old.html)

### **Hemsidor**

[www.elforsk.se/solel](http://www.elforsk.se/solel) - Elforsks hemsida med information om SolEI 03-07

[www.solcell.nu](http://www.solcell.nu) – Projekteringsverktyg för byggnadsintegrerade solceller. Sidan innehåller också fler solcellsrelaterade länkar

[www.elforsk.se/solenergi](http://www.elforsk.se/solenergi) - Driftuppföljning av nätanslutna svensk solcellsanläggningar.

[www.stem.se](http://www.stem.se) – Energimyndighetens hemsida med information, om solceller

[www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org) - IEA "Photovoltaic Power Systems Programme" (PVPS)



**ELFORSK**



**Energimyndigheten, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond  
via NCC, Vattenfall, E.ON, ABB Corporate Research, Skellefteå  
Kraft, Göteborg Energi, Brostaden, Fastighetskontoret i Västerås,  
Gällivare Photovoltaic, Mälarenergi, Jämtkraft, Sollentuna Energi  
och Falkenberg Energi  
finansierar SolEl 03-07 etapp I.**

**ELFORSK**

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB  
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31  
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535  
[www.elforsk.se](http://www.elforsk.se)