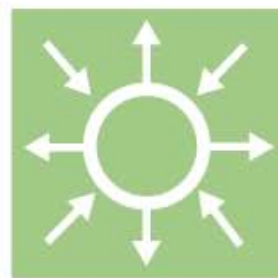
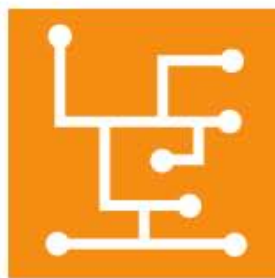


Teknisk utvärdering av Offrot- stödet med fokus på prestanda och driftfrågor

Elforsk rapport 10:28



Mats Andersson / Johan Ärlebäck

Mars 2010

Teknisk utvärdering av Offrot- stödet med fokus på prestanda och driftfrågor

Elforsk rapport 10:28

Förord

Det statliga investeringsstödet Offrot, som infördes i maj 2005, är det första stödet till solceller i Sverige. Under den aktuella stödperioden, som sträckte sig fram till 2008-12-31, har cirka 140 miljoner kronor delats ut till nätanslutna solcellsprojekt. Föreliggande rapport redovisar erfarenheter från stödperioden. Informationen till utvärderingen är hämtad både från Boverkets egen statistik samt från information som samlats in från genomförda projekt, både från leverantörer samt från köpare av solcellssystemen.

Ett nytt stöd introducerades i juli 2009. En viktig del i det här sammanhanget är att erfarenheter och lärdomar tas tillvara från det genomförda stödet.

Detta projekt ingår i det tillämpade solcellsprogrammet SolEl 08-11 etapp III. Programmet finansieras av:

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



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

Sammanfattning

I maj 2005 introducerades ett statligt investeringsstöd för solceller i Sverige, här kallat Offrot. Under perioden maj 2005 till och med december 2008 avsattes 150 miljoner kronor för stöd till installationer av nätanslutna solcellssystem på byggnader med offentlig verksamhet. Stödet uppgick till 70 procent av den totala kostnaden för uppförande av anläggningar inklusive projektering, material och installation. Maximalt 5 miljoner kronor kunde sökas per installation.

Idag när stödperioden är över har 110 nya anläggningar installerats i Sverige med en total toppeffekt på cirka 3 MW. Anläggningarna varierar i storlek från cirka 1 kW upp till 150 kW. De län som varit mest aktiva är Skåne, Stockholm och Västra Götaland som har beviljats drygt hälften av de 138 miljoner som fördelats över landet. I en svensk databas på www.solelprogrammet.se finns huvuddelen av anläggningarna presenterade med teknisk information, bilder och produktionsdata.

De flesta anläggningar som byggts har använt konventionell teknik. Solcellsmodulerna har nästan uteslutande varit baserade på kristallina kiselceller och endast tre anläggningar är byggda med tunnfilmsmoduler; två med flexibla takmattor med integrerade amorfa kiselmoduler och en anläggning med CIGS-moduler.

Växelriktarna har i huvudsak kommit från de två största tillverkarna; SMA i Tyskland och Fronius i Österrike. En trend man kan se är att växelriktarnas effekter har ökat från tidigare 1-3 kW till 6-10 kW per enhet.

Generellt kan man säga att det är mycket få systemdelar som tillverkas i Sverige. Brytare, överspänningsskydd och energimätare har i flera fall levererats från ABB och delar till modulmontagen i form av aluminiumprofiler och diverse fästdetaljer kommer ofta från svenska tillverkare.

Om man utesluter de allra dyraste anläggningarna, som Sege Park med ett mycket komplicerad montage, har totalkostnaden på flera anläggningar legat i intervallet 40-55 000 kr exkl. moms per kW toppeffekt. Leverantörerna av systemen har arbetat med mycket små marginaler och de allra lägsta priserna kan man se i slutet av 2008, då det uppstod ett visst överskott av moduler hos några leverantörer.

Generellt kan man konstatera att kvalitén på installationerna är god. Anläggningarna fungerar som tänkt och produktionen följer i huvudsak det förväntade. Produktionsdata visar att minst ett tiotal anläggningar har en årsproduktion på över 900 kWh per installerad kW toppeffekt.

Ett viktigt resultat av stödet är att många kommuner idag har kunskap om solceller och i flera fall har man gått vidare och sökt ny finansiering ur det nya stödet som introducerades 2009, för att bygga en eller flera ytterligare anläggningar.

Summary

In May 2005, a national investment subsidy for solar panels in Sweden was introduced, here called Offrot. During the period May 2005 to December 2008 150 million SEK was earmarked to support the installation of grid-connected PV systems in buildings with public functions. The subsidy amounted to 70% of the total cost of construction and included design, materials and installation. The maximum amount of subsidy per installation was limited to 5 million SEK.

Today, when the grant period is over, 110 new plants have been installed in Sweden with a total peak power of about 3 MW. The facilities vary in size from about 1 kW to 150 kW. The most active regions have been Skåne, Stockholm and Västra Götaland, which have granted more than half of the 138 million allocated over the country. In a Swedish database on www.solelprogrammet.se the bulk of the plants are presented with technical information, images and production data.

Most plants have been built using conventional technologies. Photovoltaic modules have almost exclusively been based on crystalline silicon cells, and only three plants are built with thin film modules, two with flexible roof laminates with integrated amorphous silicon modules and one installation of CIGS modules.

Inverters that have been installed are in general from the two largest producers, SMA in Germany and Fronius in Austria. One trend that is seen is that the inverter capacity has increased from the previous 1-3 kW to 6-10 kW per unit.

Generally very few of the system components are manufactured in Sweden. Circuit breakers, surge protection and energy meters are in many cases supplied by ABB and parts for mounting structures in the form of aluminum extrusions and miscellaneous fasteners often come from Swedish manufacturers.

If the most expensive facilities are excluded, such as Sege Park with a very complex assembly, the total cost of several plants have been in the range 40-55 000 SEK excl. VAT per kW peak power. Suppliers of systems have worked with very small margins and the lowest prices were at the end of 2008, when there was a surplus of modules with a few suppliers of PV modules.

Generally it is concluded that the quality of the installations are good. Establishments operating as intended and production mainly follows the expected. Production data shows that at least ten plants have an annual production of over 900 kWh per installed kW peak power.

One important result of the subsidy is that many municipalities now have knowledge of the solar cells and in many cases have gone further and applied for financing from the new subsidy that was introduced in 2009, to build one or more additional plants.

Innehåll

1	Beskrivning av anläggningarna	1
1.1	Statistik från Boverket	1
1.2	Driftdatabasen för nätanslutna solcellsanläggningar	1
1.3	Leverantörer	2
1.4	Fastighetstyper	3
1.5	Anläggningstyper	3
1.6	Byggnadsintegrerade anläggningar	4
1.7	Kostnader	6
2	Teknik	7
2.1	Solcellsmoduler	7
2.2	Växelriktare	7
2.3	Montagestativ	8
2.4	Mätinsamling	12
2.5	Displayer	13
3	Drift och underhåll	14
3.1	Energiproduktion	14
3.2	Energileverans till nätet	15
3.3	Driftstörningar	16
3.4	Driftövervakning	17
4	Anläggningsbesök	20
4.1	Solceller på Karolinska Universitetssjukhuset Huddinge	20
4.2	Solceller på Hovet i Stockholm	21
4.3	Solceller på Uddevalla Stadshus	23
4.4	Solceller i solavskärmning på Karlstad Stadshus	25
4.5	Solceller på Bua kyrka	26
4.6	Solceller i på Prästgårdsängens förskola i Fjärås	28
5	Slutsatser	30
5.1	Leverantörer och kvalitet	30
5.2	Mätinsamling	30
5.3	Produktion	30
5.4	Priser	30
5.5	Lokalisering	30
5.6	Lärdomar	31

1 Beskrivning av anläggningarna

1.1 Statistik från Boverket

Utifrån information från Boverkets databas, den 26 oktober 2009, har följande summering av beviljade ansökningar sammanställts. De län som varit mest aktiva är Skåne, Stockholm och Västra Götaland som har beviljats drygt hälften av de 138 miljoner som fördelats över landet.

Fördelat efter anläggningarnas topp effekt så är 41 anläggningar mindre än 10 kW, 19 st mellan 10-20 kW, 33 st mellan 20-50 kW, 14 st mellan 50-100 kW och 3 st mellan 100-156 kW. Anläggningen på Sege Park är i statistiken uppdelad på två projekt, vardera på 83 kW. Om den räknas som en anläggning med topp effekten 166 kW blir antalet system, större än 100 kW, istället 4 st.

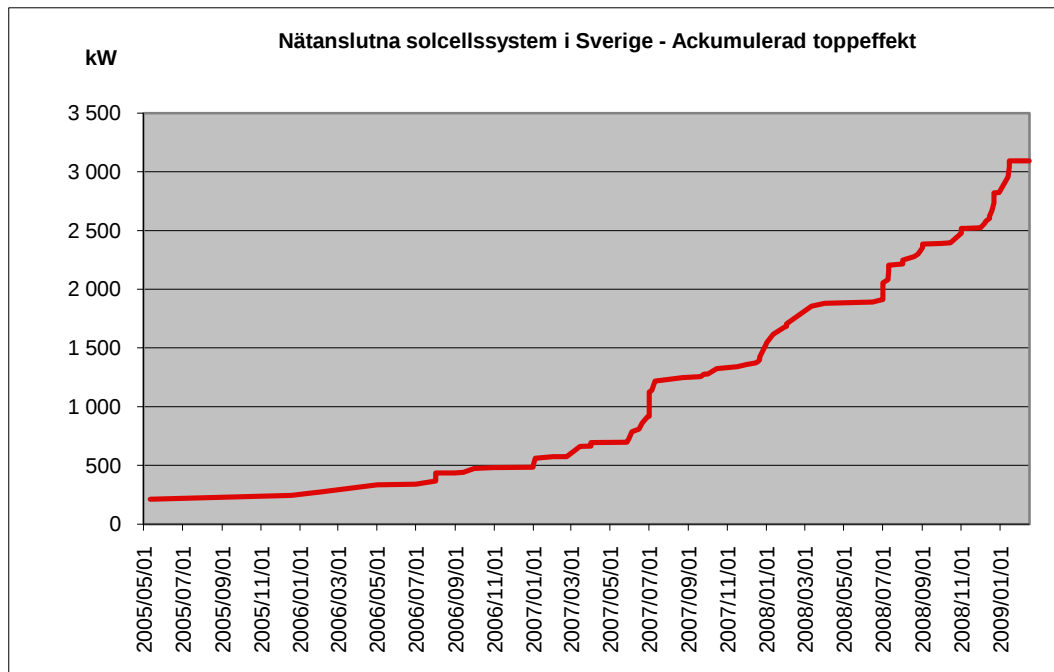
	Antal (st)	Toppeffekt (kW)	Solcellsytta (m²)	Beviljat (miljoner kr)
Landet	110	2 960	24 000	138,0
Skåne	21	711	5 400	42,4
Stockholm	27	506	4 800	19,9
Västra Götaland	13	302	2 500	15,1
Kronoberg	2	221	1 700	7,5
Östergötland	4	212	1 700	7,3
Dalarna	2	150	1 200	5,0
Jönköping	9	145	1 000	6,2
Västmanland	4	145	1 100	5,8
Halland	5	135	1 000	5,3
Örebro	4	94	900	5,2
Värmland	3	81	700	5,2
Gävleborg	3	71	700	3,6

Kommentar: Alla uppgifter är baserade på den statistik som inhämtats från Boverket.

1.2 Driftdatabasen för nätanslutna solcellsanläggningar

Av de totalt 110 anläggningarna har 91 st lagts in i driftdatabasen för nätanslutna solcellsanläggningar i Sverige (www.solelprogrammet.se). I bilaga 1 ingår en lista på dessa anläggningar. De som saknas i databasen är

huvudsakligen mindre anläggningar på några få kW, topp effekt. Figur 1.1 visar en kurva över hur den installerade topp effekten har ökat under stödperioden.

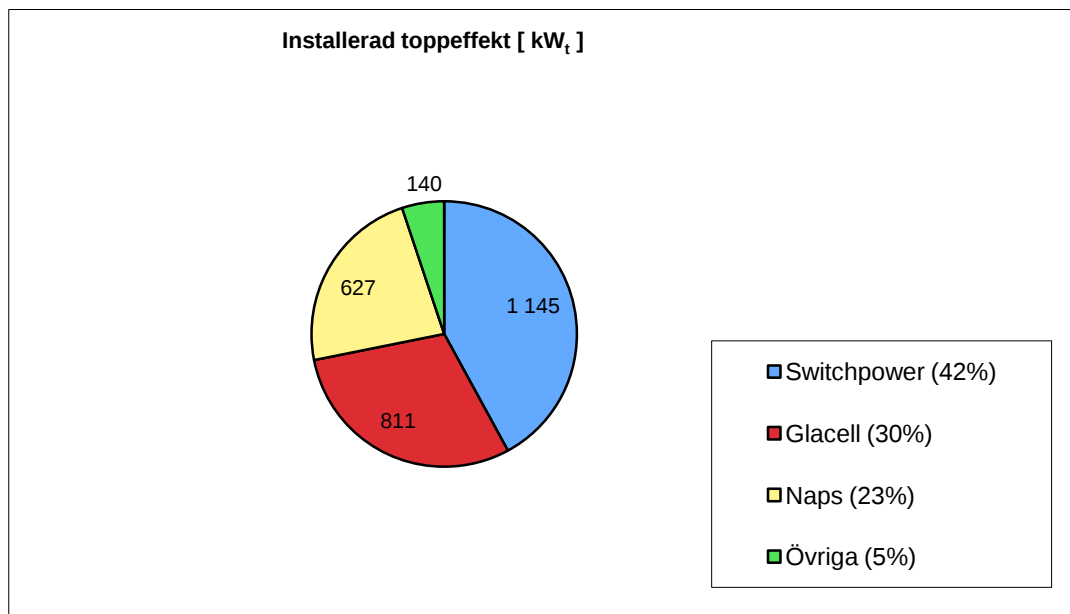


Figur 1.1 Ökningen av installerad topp effekt under stödperioden.

1.3 Leverantörer

Solcellsstödet gav möjligheter för den svenska solcellsindustrin att utvecklas. I och med att det plötsligt fanns en marknad för nätanslutna solcellssystem i Sverige skapades på kort tid en ekonomisk möjlighet för företagen att i vissa fall expandera.

Tre svenska leverantörer svarade för drygt 90 % av de levererade anläggningarna, räknat i installerad effekt; Switchpower, Glacell och Naps Sverige. Övriga aktörer har varit Exoheat (bytt namn i maj 2009 till Exotech), Gridcon, Söderbergs Yttertak och Flex Fasad. Se figur 1.2.



Figur 1.2 Leverantörernas fördelning av installerad topp effekt.

1.4 Fastighetstyper

Solcellsstödet Offrot riktade sig enbart till byggnader med offentlig verksamhet. I tabell 1.1 har de 91 anläggningarna, som ingår i driftuppföljningen, analyserats och listats efter fastighetstyp.

Tabell 1.1: Fastighetstyper för solcellsinstallationer i Offrot.

• Skolor, förskolor	41 st
• Vård	11 st
• Idrottshallar	9 st
• Kultur	8 st
• Förvaltning	8 st
• Kyrkobyggnader	6 st
• Ambassader	3 st
• Brandstationer	2 st
• Övrigt	3 st

1.5 Anläggningstyper

Solcellsmoduler kan installeras på en byggnad på många olika sätt. Lutande tak mot söder erbjuder oftast den bästa lösningen med tanke på energiproduktion. I många fall är det dock viktigare för fastighetsägaren att

solcellerna exponeras för allmänheten på ett bra sätt. Av 100 analyserade installationer har modulerna monterats enligt tabell 1.2.

Tabell 1.2: Anläggningstyper för solcellsinstallationer i Offrot.

• Lutande tak	52 st (varav 4 på lanterniner)
• Platta tak	24 st
• Solavskärmning	11 st
• Fasader	10 st
• Balkonger	1 st
• Övrigt	2 st

1.6 Byggnadsintegrerade anläggningar



Figur 1.3 Mellanhedsskolan i Malmö är ett exempel på solavskärmning.



Figur 1.4 Balkongintegrering på Bjurslätts äldreboende i Göteborg.

BIPV är den engelska förkortningen för "Building Integrated Photovoltaics", det vill säga byggnadsintegrerade solceller. Det finns olika definitioner på vad som menas med BIPV och här syftar det på installationer där solcellsmodulerna ersätter något annat byggnadselement på fastigheten. I figur 1.3-1.7 exemplifieras anläggningar vilka i den här rapporten klassificeras som "BIPV".

Tabell 1.3: Byggnadsintegrerade anläggningar i Offrot.

- Solavskärmning 11 st
- Takintegration 4 st
- Fasadintegration 3 st
- Balkongfronter 1 st



Figur 1.5 Alléskolan fasadintegrering i Hallsberg.



Figur 1.6 Takintegrering med Solrif där solcellerna ersätter de ordinarie takpannorna.



Figur 1.7 Båstad tennisstadion med takintegrering och tårtingsformade "dummies" för att skapa ett enhetligt intryck.

1.7 Kostnader

Det är modulerna som är den största kostnaden för systemet och under Offrot-perioden stod de för 60 procent av totalkostnaden. Växelriktarnas andel låg på cirka 5-10 procent. Idag har modulkostnadernas andel sjunkit till 40-50 procent medan växelriktarnas andel ligger kvar då priserna inte sjunkit i samma utsträckning som för moduler. Då marknaden för moduler är global sätts alla priser för den europeiska marknaden i euro, vilket gör att växelkursen mot den svenska kronan kraftigt påverkar systempriserna då leverantörerna måste ta höjd för valutafluktuationer när de lämnar in sina anbud.

Om man utesluter de allra dyraste anläggningarna, som Sege Park med ett mycket komplicerat montage, har totalkostnaden på flera anläggningar legat i intervallet 40-55 000 kr exkl. moms per kW toppeffekt. Leverantörerna av systemen har arbetat med mycket små marginaler och de allra lägsta priserna kan man se i slutet av 2008, då det uppstod ett visst överskott av moduler hos några leverantörer.

2 Teknik

2.1 Solcellsmoduler

Historiskt har solceller varit liktydigt med kristallina kiselceller. Tills helt nyligen har solcellsmoduler med mono- och polykristallina kiselceller helt dominerat marknaden. Tunnfilmssolceller av amorft kisel har visserligen funnits länge på marknaden men har haft en mycket liten andel av marknaden, särskilt i större nätanslutna anläggningar. De senaste två åren har situationen successivt förändrats och idag utgör tunnfilm cirka 20 procent av marknaden.

I Offrot-programmet har kristallint kisel dominerat. Endast tre, av författaren kända anläggningar, har byggts med tunnfilm; Hovet, Rosenlundsskolan och SLU Ultuna. I anläggningarna på Hovet och Rosenlundsskolan har amorfa kiselceller, integrerade i taktäckningsmattor, använts medan CIGS-solceller, utvecklade av Solibro, har installerats i Ultuna.

De olika solcellsentreprenörerna arbetar huvudsakligen med ett fabrikat var. Switchpower har levererat solcellsmoduler från GPV, Glacell har arbetat huvudsakligen med moduler från Sharp och Naps Sverige har använt sina egna moduler från Artic Solar men även levererat moduler från Kyocera. I övrigt har även ingått moduler från kinesiska Suntech, svenska PV Enterprise samt de tidigare nämnda tunnfilmmodulerna. I takmattorna på Hovet och på Rosenlundsskolan sitter Uni-Solars amorfa solceller och på SLU Ultuna, Q-cells CIGS-moduler utvecklade av Solibro.

De flesta solcellsmoduler som har använts i Offrot har topp effekter i intervallet 170-185 W. Vanligast är polykristallina 6"-celler det vill säga fyrkantiga kiselceller med måtten 156x156 mm. Verkningsgraden på modulerna har legat på 13-14 procent.

2.2 Växelriktare

Under 90-talet lanserade den tyska växelriktartillverkaren SMA sina strängväxelriktare, Sunny Boy. Ungefär i samma tid började tillverkningen av de österrikiska växelriktarna, Fronius. De två tillverkarna har sedan dess dominerat marknaden och i Offrot har de också använts i de allra flesta installationerna. Liksom för solcellsmodulerna, har de svenska leverantörerna valt att arbeta med huvudsakligen en typ av växelriktare. Switchpower använder Fronius men har också installerat några danska växelriktare från Danfoss, tex i projekten på Ullevi och Ekologihuset. Glacell installerar Fronius och Naps Sverige har använt SMA.

Utvecklingen av växelriktare har gått mot högre effekter och för att nå höga verkningsgrader har man i de flesta fall ingen transformator på utgången mot elnätet. I ett antal anläggningar, bland annat Hovet och Kungsmadskolan har man valt golvplacerade centralväxelriktare från Fronius med effekter på 50 kW. En relativt ny produkt från Fronius är den vägghängda IG Plus som kan väljas i olika effektsteg, från 4 kW nominell AC-effekt och upp till 12 kW.

Även SMA har lanserat större växelriktare och tex finns Sunny Mini Central för nominella AC-effekter upp till 11 kW, även den för väggmontage. En märkbar utveckling gäller också verkningsgraden där det maximala värdet idag kan ligga på över 98 procent och den viktade, så kallade Europaverkningsgraden på drygt 97 procent. I figur 2.1 och 2.2 visas exempel på växelriktare som använts i flera av anläggningarna.



Figur 2.1 En växelriktare Fronius IG Plus 150 räcker för 13 kW toppeffekt på Bua kyrka.



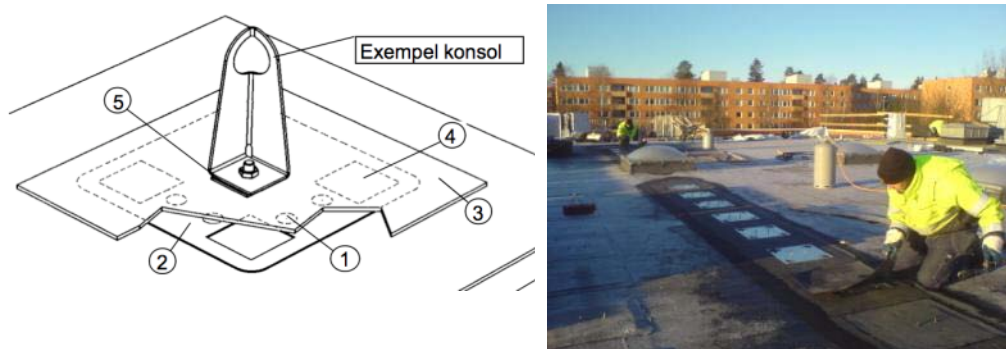
Figur 2.2 I anläggningen på Bjurhovdaskolan i Västerås används bla Sunny Mini Central, SMC 8000TL.

2.3 Montagestativ

En viktig del i ett solcellssystem är montagestativet. En stor del av totalkostnaden kan ligga just i stativet och det kan också kraftigt påverka installationskostnaden genom den tid som åtgår för just montaget av solcellsmodulerna på en byggnad. Liksom för moduler och växelriktare har de svenska leverantörerna även här sina egna val. Switchpower har huvudsakligen använt Intersol, en tysk montagelösning, medan Naps och Glacell har valt att utveckla sina egna lösningar.

Vid montering av montagestativet är det angeläget att hålla det befintliga taksiktet intakt för att inte inverka på det existerande klimatskalet samt för att undvika försäkringsfrågor som kan uppstå i samband med vattenläckage. Det finns mer eller mindre standardlösningar för varje typ av tak. Ett urval av de lösningar som installerades under Offrot presenteras nedan.

För montering på tjärpapptak så har Switchpower och Naps använt sig av CW Lundberg infästningsplattor, se figur 2.3, där man värmer på ett extra lager av asfalt ovanpå plattorna vilket resulterar i att det går att fästa in montagestativet utan att gå igenom det befintliga taket.



Figur 2.3 Detalj ur installationsanvisningar för CW Lundbergplattor samt en bild från installationsarbetet från Andersberg i Gävle.

I de fall där solcellssystem installerats på falsat plåttak så har infästningen gentemot taket skett med falsklämmor. I figur 2.4 visas ett Intersol-system som monterats tillsammans med falsklämmorna.



Figur 2.4 Falsat plåttak med klämmor och Intersol-monteringssystem på Stadsteatern i Stockholm.

För svagt lutande och platta tak använde Switchpower en aluminiumvinkel med L-profil anpassade för svenska förhållanden. Denna lösning gör att vinkeln är ställbar mellan 15-40°. Ett exempel från Kalmar ses figur 2.5.



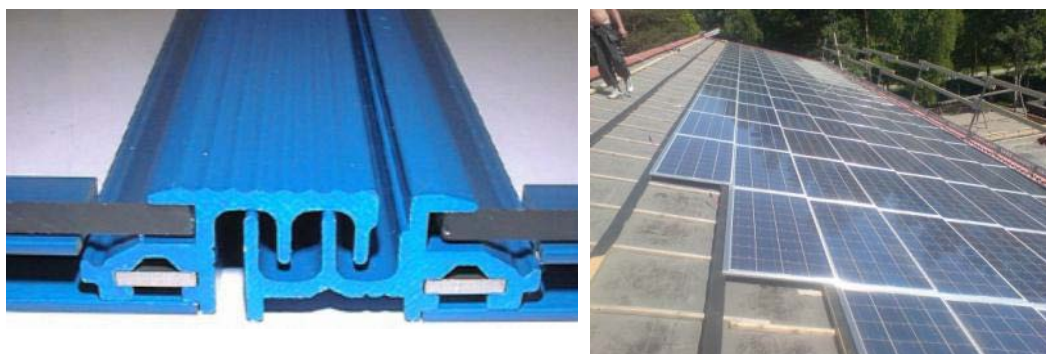
Figur 2.5 Detalj- och översiktsbild på aluminium L-profiler från Kalmar länssjukhus.

Ett system med Alwitrass lösning för amorfa kiselsolceller installerades på Hovet i Stockholm av Söderbergs yttertak, se figur 2.6. Solcellerna är integrerade i en färdig takduk och är lagt ovanpå det befintliga yttertaket. Systemet är utförligt beskrivet under punkt 4.2.



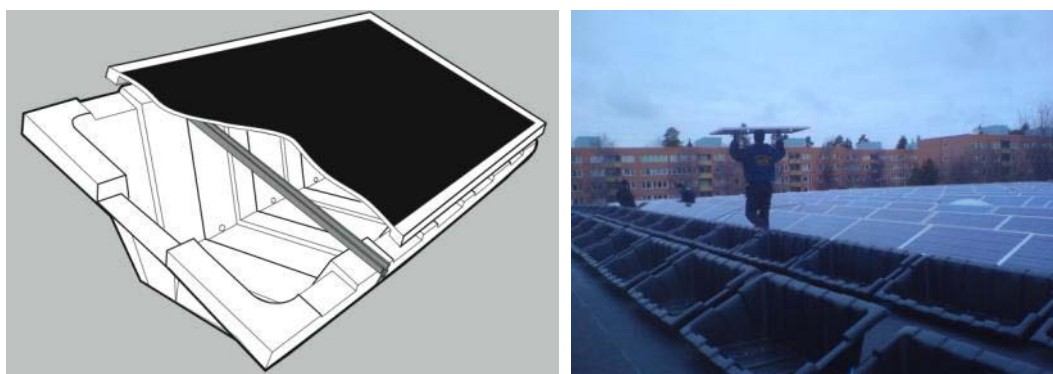
Figur 2.6 Alwitrass lösning för gummidukstak installerad på Hovet i Stockholm.

I Västerås på Bjurhovdaskolan använde Naps det Schweiziska företags Schweizers lösning; Solrif, där modulerna krokas i varandra för att ersätta ett normalt takskikt. I figur 2.7 visas infästningen mellan modulerna i ett tvärsnitt.



Figur 2.7 Detalj från infästningen med Solrif och en bild från installationen på Bjurhovdaskolan.

ConSole är ett system där plastlådor placeras ut fritt på underlaget med ballast i botten. Systemet har använts vid installationen i Karolinska Universitetssjukhuset i Huddinge som beskrivs närmare under punkt 4.1. Lösningen blir ofta väldigt tung för höga tak där vindlasten är hög och kraven på ballast ökar. I Andersberg i Gävle så kombinerades ConSole och CW Lundbergplattor där infästningen ersatte ballasten. På det sättet undveks kravet med ballast och installationsvikten sänktes markant. Bilden till höger i figur 2.8 är från installationsarbetet i Andersberg.



Figur 2.8 En ConSole-låda med exempelmodul till vänster och bild från installationsarbetet i Andersberg till höger.

På Linköpings bibliotek så installerade Switchpower solceller på ett sedumtak där man använde betongblock som ballast och samtidigt med sin platta undersida var skonsamt mot växtligheten, se figur 2.9.



Figur 2.9 Liggande solceller installerade ovanpå sedumtaket på Linköpings bibliotek.

På Båstad tennisstadion byggde Glacell in en servicevagn för att förenkla installation och service.



Figur 2.10 Taket över kongressbyggnaden på Båstad tennisstadion har en inbyggd servicevagn.

En solcellsanläggning är oftast designad för att producera el under minst 25 år vilket resulterar i att det är bra om taket är i nyskick när man installerar anläggningen då takytan under anläggningen blir svåråtkomlig.

2.4 Mätinsamling

De växelriktare som används i anläggningarna har alla en inbyggd lösning för att mäta och lagra olika parametrar. Momentan AC-effekt och ackumulerad AC-energi är två värden som ofta är av intresse för anläggningsägaren. Genom att komplettera systemet med en datalogger, SMA, Fronius och Danfoss har sina egna utrustningar som ofta ingår i systemleveransen, kan effekter och energivärden sparas i loggers interna minne, överföras för utvärdering och presenteras på en display.

Mätinsamlingen från växelriktarna som är några år gamla har visat sig visa mellan 5-10 procent för höga värden utslaget på ett år. Det är speciellt stor deviation mellan uppmätt produktion och uppvisad produktion från växelriktare när instrålningen är låg under vintermånaderna, där avvikelsen kan vara så hög som 18 procent. Denna "glädjemätning" har minskat med modernare växelriktare där missvisningen oftast ligger inom en procent från den verkliga produktionen. För att få en bättre noggrannhet har också konventionella energimätare installerats i de flesta anläggningarna.

2.5 Displayer

I nästan samtliga anläggningar ingår en eller två displayer för visning av momentan effekt och ackumulerad energi. Många anläggningar, som är byggda på platta tak, är av naturliga skäl inte synliga för förbipasserande personer utan att man tar sig upp på taken. Eftersom de aktuella fastigheterna inrymmer offentlig verksamhet finns det goda skäl att informera allmänheten om tillämpningen. Genom att placera en display på en lämplig plats i fastigheten kan man i alla fall visa att det finns en fungerande solcellsanläggning installerad på byggnaden. Figur 2.11 och 2.12 visar två exempel på displayer.



Figur 2.11 Båstad tennisstadion



Figur 2.12 Prästgårdsängens förskola

3 Drift och underhåll

3.1 Energiproduktion

Huvudsyftet med en nätansluten solcellsanläggning bör naturligtvis vara att producera energi. Eftersom Sverige ännu inte har någon generell och bra lösning för att sälja solen till nätet, förbrukas huvuddelen av all solen i de fastigheter de är installerade på. På så sätt fungerar installationen som en energibesparing när man minskar andelen köpt energi från nätet.

I Offrot har alla anläggningar installerats på fastigheter med offentlig verksamhet. Det innebär oftast att det är stora byggnader med hög elförbrukning. Den solen som produceras utgör därmed oftast bara en mycket liten del av totala elbehovet, vilket resulterar i att fastighetsägaren inte lägger så stor vikt på att optimera driften. Det produceras energi men för ägaren är det kanske viktigast att kunna visa på att man har en solcellsinstallation på byggnaden.

Det relativt låga intresset för anläggningarnas energiproduktion har tyvärr resulterat i att det i många fall inte finns tillförlitliga avläsningar av produktionen. Det finns trots det ett antal anläggningar där vi har tillförlitliga data och där vi kan konstatera att energiproduktionen verkligen överensstämmer med de kalkylerade värdena. Under 2008 och 2009 producerade flera anläggningar drygt 900 kWh per installerad kW topp effekt.

I tabell 3.1 redovisas årsproduktionen per installerad topp effekt för några anläggningar som har fungerat bra. Årsproduktion per kW topp effekt kallas på engelska för "yield" och används ofta för att jämföra olika anläggningars prestanda.

Toppeffekten för anläggningarna är den nominella effekten som är angiven av modulproducenten och kan ligga upp till 6 procent under den effekt som uppmättes vid slutkontroll vid produktionstillfället. Detta är ett fenomen som modulproducenterna kallar "Plussortering" och är ett sätt att visa att man levererar hög kvalitet och samtidigt en extra garantering för att klara den effektgaranti på 80 procent av den nominella effekten under 25 år som i regel lämnas från samtliga kiselmodulproducenter.

Tabell 3.1: Årsproduktion i kWh per installerad kW topp effekt för några utvalda anläggningar med bra prestanda.

Anläggning	2007	2008	2009	
Huddinge		959	967	
Teleborg		866	876	
Kungsmadskolan			954	
Stadsteatern		908	914	
Ultuna			938	
Tingvallahallarna			937	
Bua kyrka			994	
Prästgårdsängen			924	(*)
Strandängsskolan		900	900	(**)
Hugrajsvs	974	932	1 013	(***)
Vällingby		980	1 015	(****)

(*) Produktionen för januari är ej inräknad.

(**) Det finns bara värden från 1 januari 2008 tom september 2009 och medelvärde per år blir då 900 kWh per kW topp effekt.

(***) Anläggningen Hugrajsvs ligger på Gotland och byggdes inte inom Offrot. Värdet för 2009 är något för högt då värdet gäller för perioden dec-08 tom dec-09.

(****) Värdena är hämtade från de två fullt fungerande växelriktarna. För tidsperioden för 2009 ingår 16 extra dagar under januari 2010. En elmätare är installerad den 1 februari 2010 för att verifiera de höga produktionsvärdena.

3.2 Energileverans till nätet

Då det i dagsläget både är en komplicerad och dyr process att försöka sälja el till nätet eller att ansöka om elcertifikat så har ytterst få anläggningar ens brytt sig om att ge sig in på dessa områden. Anläggningarna har istället dimensionerats så att de inte levererar ut någon el på nätet. Både försäljning och elcertifikat kräver mycket av den enskilde anläggningsägaren, problematiken har beskrivits i tidigare elforsk-rapporter (se t.ex. Solcellselproduktion inom elcertifikatsystemet - rapport nr: 09:95, Ekonomiska konsekvenser vid nettomätning av elleveranser från mindre solcellsanläggningar – rapport nr: 08:13 eller Villkor för försäljning av el från nätanslutna solcellsanläggningar - nuläge och förbättringsförslag – rapport nr: 06:48).

Trots detta finns ett antal anläggningar som lyckats få till egna avtal. Den första var anläggningen i Fläckebo. Där har samfällighetsföreningen fått till ett avtal med det lokala energibolaget som gör att de i praktiken har nettodebitering. Den el som inte förbrukas utan matas ut på nätet mäts, och

dras sedan från förbrukningen. Samfälligheten kan alltså tillgodogöra sig all producerad solel. Energibolaget ser detta som bra PR och gör det utan kostnad för samfällighetsföreningen.

I Falun finns den största anläggningen som sökt elcertifikat, det är också den enda av de 20 största anläggningarna som gått igenom denna process. Där köper kommunen in tjänsten för handel med certifikat från det lokala elbolaget och mättjänsten från den lokala nätägaren.

Efter Offrot-perioden har det också byggts en relativt stor anläggning (47 kWt), även den i Sala, som ägs av cirka 130 delägare. Sala-Heby Energi har gått in och lovat köpa elen till en pris av 4 sek/kWh i en tioårsperiod. Detta gör att det de som investerar i anläggningen får ekonomi i sin investering över en tioårsperiod. Anläggningen är uppkopplad direkt mot Sala Heby Energis elnät och matar ut el på nätet som om det vore en vanlig produktionsanläggning.

Den 1 oktober 2009 kom en lagrådsremiss med namnet: "Enklare och tydligare regler för förnybar elproduktion, m.m." Denna remiss byggde på en offentlig utredning (SOU 2009:2). Utredning hade flera förenklingsförslag och föreslog bland annat att man på månadsbasis skulle få kvitta sin överskottsproduktion mot det man konsumerar. Så länge man var nettokonsument skulle inga avtal krävas. Tyvärr innehåller lagrådsremissen inte dessa förbättringar men flera kritiska röster har höjts och nu ska frågan utredas av Energimarknadsinspektionen där de kommer med ett utlåtande senast den första december 2010. Propositionen är nu antagen och vissa förändringar träder i kraft from 1 april 2010.

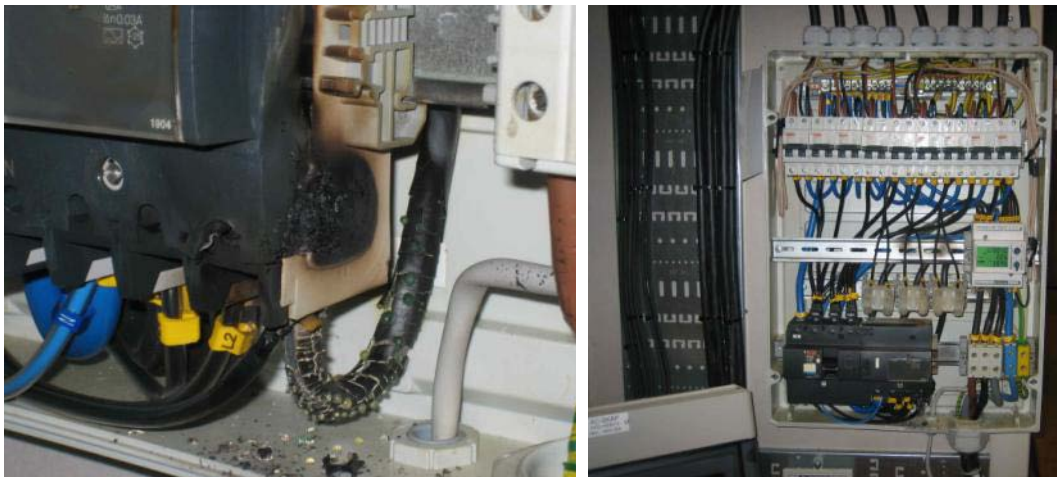
3.3 Driftstörningar

De flesta fall av driftstörningar hör samman med brytare som har slagit ifrån och att växelriktare delvis har fallerat.

I de fall det gäller brytare så har det installerats underdimensionerade dvärgbrytare som löser ut när systemen levererar höga strömmar vid sin toppeffekt. Även överspänningsskydd ger upphov till liknande fel, men med en mer komplex problembild. Där överspänningsskydd har installerats på varje enskild sträng sjunker produktionen för växelriktaren för varje utlöst överspänningsskydd utan att det är problem med växelriktaren eller systemet i övrigt. Detta är väldigt svårt att upptäcka vid en fjärrkontroll av produktionssiffror, men felet blir väldigt tydligt vid en översikt av systemet på plats.

Ett tiotal växelriktare har bytts ut eller reparerats i den mån man upptäckt att de inte fungerar som de ska. De moderna växelriktarna som ser ut att vara en enhet är oftast uppbyggda av flera inre moduler. Det leder till att en växelriktare som under vår och höst ser ut att leverera full effekt kan ha fel på en eller flera moduler som gör att produktion under sommaren blir lägre än vad den annars skulle uppgå till.

I undantagsfall har det även inträffat fel relaterade till den annars mogna elbranschen där likströmskopplingar har underdimensionerats samt att kopplingar i färdigmonterade elskåp inte dragits åt ordentligt, se figur 3.1.



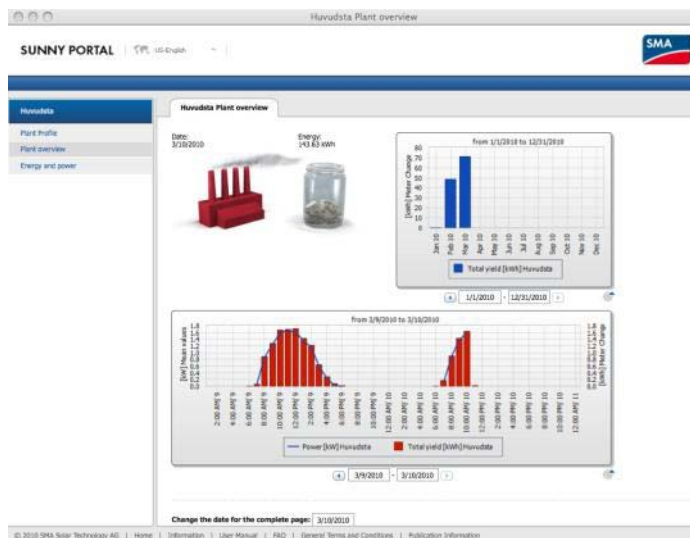
Figur 3.1 Varmgång i AC-skåp på grund av en ej tillräckligt åtdragen anslutning. Det är en standardkoppling för elbranschen där felet har inträffat på AC-sidan och systemet har slagit ifrån.

Generellt upplever anläggningsägare och installatörer att det är få problem med systemen och att underhållet är väldigt begränsat.

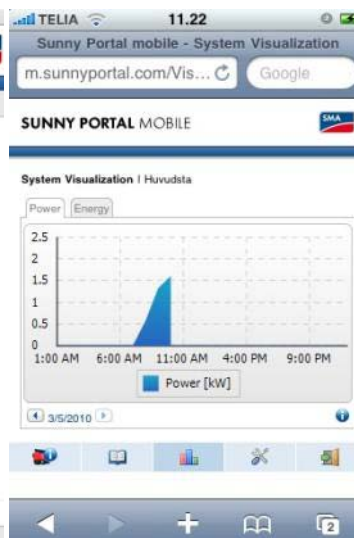
3.4 Driftövervakning

Som det anges i stycket om driftstörningar så är det oftast enklare fel som minskar produktionen. Dessa driftavbrott kan minskas med driftövervakning med automatiserade larmfunktioner. Tyvärr är det ofta så att produktionen från solcellsanläggningen har en låg prioritet hos anläggningsägarna, se avsnitt 3.1.

Växelriktartillverkarna SMA, Fronius och Danfoss har alla egna weblösningar med presentation av produktion och felrapportering som har använts inom Offrot. I dessa lösningar går det att övervaka produktionen direkt via en hemsida, se figur 3.2. I figur 3.3 presenteras även SMA:s lösning för mobiltelefoner som är tillgänglig för alla så kallade smarta telefoner.

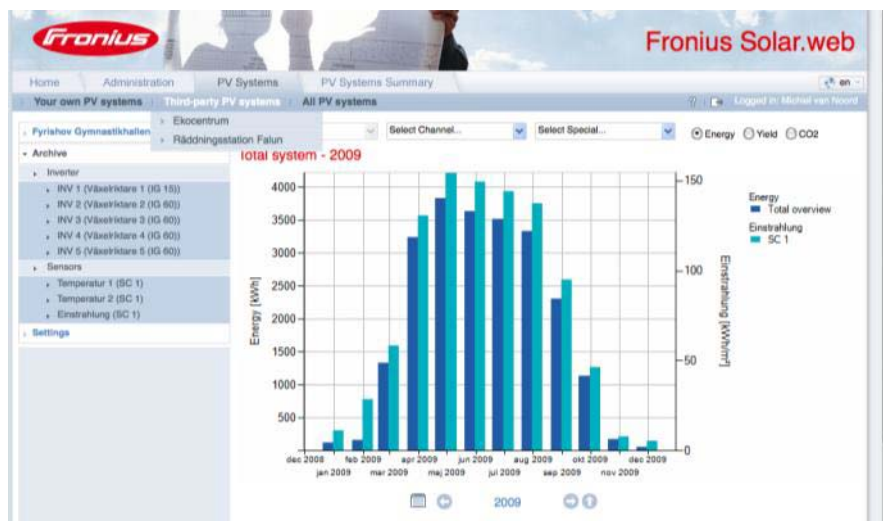


Figur 3.2 SMA:s lösning för driftövervakning.



Figur 3.3 SMA:s lösning för mobiltelefoner.

I figur 3.4 visas Fronius lösning där produktionen kan visas på daglig, månatlig eller årsbasis. Den vanligaste övervakningen är att ägaren av solcellssystemet får en daglig eller månatlig rapport med den valda periodens produktion. Felrapporteringen sker dock i samband med att fel upptäcks.



Figur 3.4 Fronius Solarweb med 2009 års produktionsöverblick med den uppmätta solinstrålningen i den ljusblåa stapeln till höger.

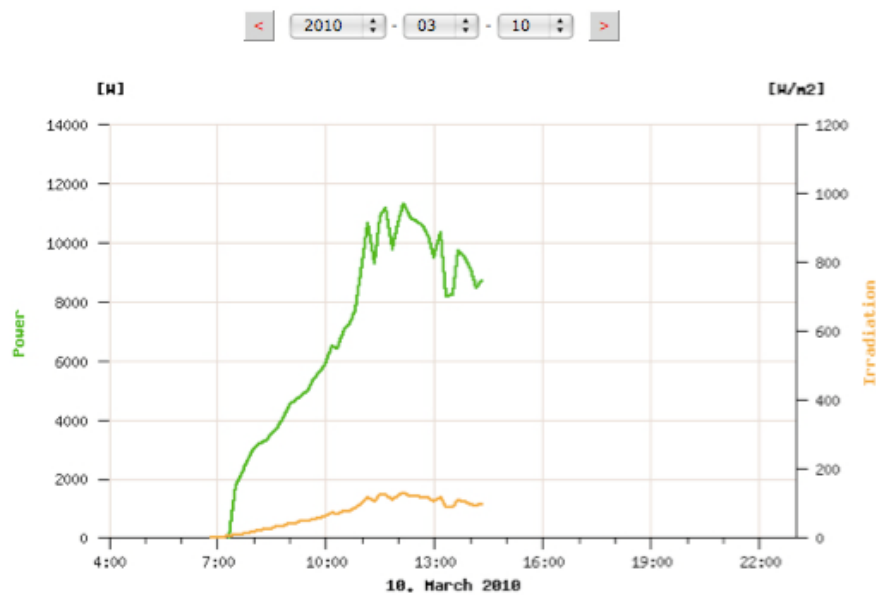
En felindikator som används är att växelriktarnas normerade produktion skiljer sig åt. I de fall där olika delsystem är riktade åt olika vädersträck så uppstår många felaktiga larm då produktionen naturligt skiljer sig sinsemellan delsystemen. För anläggningar där solinstrålningsmätare finns installerad så larmar systemet när den verkliga produktionen är lägre än den förväntade. Driftövervakning för anläggningar med endast en växelriktare kräver alltså

solinstrålningsmätare för driftövervakning medan en anläggning med flera delsystem kan kräva fler än en solinstrålningsmätare för en ökad precision i övervakningen. I figur 3.5 visas Danfoss dagsöversikt där produktionen är den gröna linjen och solinstrålningen är den gula linjen.



Reports - Daily power of entire plant

Daily power of plant



Day yield: 48.79 kWh

Figur 3.5 Danfoss lösning med produktions- och solinstrålningsdata i dygnsvy.

4 Anläggningsbesök

I projektet har ett tiotal anläggningar besökts och dokumenterats med bilder och information om driften.

4.1 Solceller på Karolinska Universitetssjukhuset Huddinge

Locums solcellsprojekt på taket av Karolinska Universitetssjukhuset i Huddinge består av 78 solcellsmoduler på totalt 14 kW. Likströmmen från modulerna omvandlas till växelström av tre växelriktare i ett elrum, lokaliserat rakt under modulerna. Anläggningen togs i drift den 20 december 2007 och har fram till 29 januari 2010, producerat 27 050 kWh.



Figur 4.1 De 78 modulerna, med mono-kristallina kiselceller, är tillverkade av det japanska företaget Sharp. Modulerna är monterade med lutningen 25° mot söder.



Figur 4.2 De tre växelriktarna är tillverkade av SMA och har beteckningen SB4200TL, där TL står för "transformerless" – transformatorlös för en högre verkningsgrad.



Figur 4.3 Modulerna är installerade i ett montagesystem av plast från det holländska företaget Ubbink Solar/Renusol. Systemet, som heter Console, möjliggör ett montage utan ingrepp i takytan.



Figur 4.4 Data från anläggningen lagras i en datalogger, SBC+.



Figur 4.5 Aktuell effekt och ackumulerad energiproduktion visas på en tavla på entréplanet. Tavlan visar även den besparing i form av CO₂, som anläggningen har bidragit till.

Anläggningen driftsattes strax innan jul, 2007. Vid anläggningsbesök den 16 januari 2009 avlästes data, både från en konventionell energimätare, liksom det ackumulerade värdet från datainsamlingssystemet.

Energimätare: 13 671 kWh (en konventionell energimätare brukar antas ge ett korrekt värde!)

Datalogger SBC+: 13 470 kWh

Den aktuella anläggningen har producerat 13 671 kWh under en period som överstiger ett år. Genom att analysera anläggningar, där månadsdata finns sparade, kan det vara rimligt att anta att maximalt 3 % av årsproduktionen från anläggningen kommer under månaderna december och januari. Den aktuella mätperioden är knappt 13 månader och ett antagande att anläggningens produktionssiffra ska reduceras med 2 %, ger årsproduktionen 13 400 kWh.

Vi får då en yield på $13\,400/14,04 = 954$ kWh/kWt.

Värdet är högt men dock realistiskt för ett bra fungerande system. Instrålmässigt var också 2008 ett bra år.

4.2 Solceller på Hovet i Stockholm

En topp effekt på 51,4 kW, fördelade på 132 solcellsmoduler från tyska Alwitra, är installerad på Hovets norra takyta, se figur 4.6. Solcellsmodulerna är av typen EVALON V-Solar med tunnfilmceller av amorft kisel (a-Si) integrerade i ett takmembran av EVA och PVC. Tunnfilmcellerna tillverkas i USA av företaget Uni-Solar. Modulerna är av två olika storlekar;

120 st EVALON V-Solar 408 med topp effekten 408 W och måtten 1,6 x 6,0 m

12 st EVALON V-Solar 204 med topp effekten 204 W och måtten 1,6 x 3,4 m.

Bruttoytan blir då 1180 m² men modulerna installeras med ett överlapp som minskar ytan till cirka 1080 m². Solcellsmodulernas aktiva yta är cirka 820 m². Modulernas vikt är 4,3 kg/m².



Figur 4.6 Vy över hela modulytan.

Modulerna seriekopplas tre och tre vilket ger en öppenspanning på cirka 360 volt. Seriekopplingarna görs i kopplingslådor som är placerade i vita plasthuvor på taket. Från varje modulsträng (tre seriekopplade moduler) går två enkelledare (plus- och minuskabel) ner till växelriktaren inne i Hovet (placerad på insidan av norra väggen). De 42 kabelparen parallellkopplas i två kopplingslådor placerade på väggen intill växelriktaren (string controllers), se figur 4.7 och 4.8.

Växelriktaren har levererats av det österrikiska företaget Fronius. Den har beteckningen IG 500 och är en central växelriktare, det vill säga istället för många små växelriktare med en effekt på cirka 3 kW (enfas) används här endast en enhet med nominell AC-effekt på 40 kW, trefas. Den viktade medelverkningsgraden (European efficiency) anges till 93,5 procent och maximala verkningsgraden är 94,3 procent. Om man öppnar dörren till kabinetten visar det sig att växelriktaren internt är uppbyggd av 15 små växelriktare som enkelt kan lossas och bytas ut vid ett eventuellt fel.



Figur 4.7 Växelriktaren och de två "string controllers".



Figur 4.8 Samtliga modulsträngar parallellkopplas i två "string controllers".

Från växelriktaren går en kraftkabel till en närliggande elcentral på samma plan. Där ansluts kabeln till elnätet via tre 63 A-säkringar. En AC-brytare och en elmätare ingår också, se bilderna i figur 4.9 och 4.10.



Figur 4.9 Anläggning ansluts till elnätet, 3x63 A. Figur 4.10 AC-brytare och elmätare.

4.3 Solceller på Uddevalla Stadshus

I samband med att stadshusets plåtfasad behövdes renoveras kom ett förslag upp om att istället ersätta plåtkassetterna med solcellsmoduler, se figur 4.6.



Figur 4.11 Plåtkassetterna på sydvästfasaden och gavlarna mot sydost var i stort behov av renovering.

Lösningen blev specialmoduler som tillverkades med samma mått som plåtkassetterna och en särskild montagelösning utvecklades. Några kassetter hade avvikande mått och 78 "dummies" producerades för projektet. Verkliga solceller fotograferades och trycktes på en film som limmades på glas. Även på nära håll är det mycket svårt att skilja på de verkliga och de "falska" solcellsmodulerna, se figur 4.12 och 4.13.



Figur 4.12 Sydvästfasaden med solceller. **Figur 4.13** Vilka moduler är "dummies"?

Anläggningens topp effekt är 43 kW och den är ett bra exempel på byggnadsintegrering av solceller – "BIPV". Växlariktarna har levererats av Fronius och utgör en "provkarta" över deras sortiment med den äldsta typen IG, och IG Central samt den senaste typen IG Plus – se figur 4.14. En display sitter i entrén till byggnaden, figur 4.15.



Figur 4.14 En centralväxlariktare och tre mindre modeller av Fronius IG. En "string controller" ingår i systemet.



Figur 4.15 Display

4.4 Solceller i solavskärmning på Karlstad Stadshus



Figur 4.16 41 kW solceller i en solavskärmning på stadshusets sydfasad.

Solavskärmningen är uppbyggd av 282 glas/glas-moduler med monokristallina kiselceller och 145 W toppeffekt per modul. Se figur 4.16 ovan. Den semitransparenta lösningen ger ett skuggmönster inne i byggnaden som kan vara störande. Samtidigt upplevs solavskärmningen som luftigare när fönstren inte är täckta av en helt ogenomskinlig yta. Se figur 4.17.



Figur 4.17 Den semitransparenta glas/glas-modulen ger ett skuggmönster men gör också att man upplever solavskärmningen som "luftigare" än vad en heltäckt modulbaksida skulle göra.

I systemet ingår 9 växelriktare från SMA; SB4200TL och SB5000TL och en display sitter väl synlig för de som passerar på gatan utanför stadshuset. Se figur 4.18 och 4.19.



Figur 4.18 De 9 växelriktarna kommer från SMA, SB4200TL och SB5000TL.



Figur 4.19 En display är placerad bakom glasrutan.

4.5 Solceller på Bua kyrka

Bua kyrka ligger i utkanten av det lilla fiskeläget Bua i Varbergs kommun. Kyrkan byggdes i början av 70-talet och är idag den första kyrkan i Sverige som har solceller installerade på taket.



Figur 4.20 De svarta solcellsmodulerna smälter väl in i kyrktaket.

Solcellsmodulerna, med den totala toppeffekten 13 kW, har monterats på det befintliga papptaket med det tyska montagesystemet Intersol. Om de synliga aluminiumprofilerna hade varit svarteloxerade hade installationen blivit ännu diskretare.



Figur 4.21 Svarta monokristallina kiselceller, svart tedlar på baksidan och svarta aluminiumramar – även montageprofilerna hade kunnat vara svarta!

I anläggningen finns en växelriktare från Fronius, IG Plus 150 och en display. Se figur 4.22 och 4.23.



Figur 4.22 Växelriktare Fronius IG Plus 150.



Figur 4.23 Display från Rico

4.6 Solceller i på Prästgårdsängens förskola i Fjärås

Prästgårdsängens förskola i Fjärås uppmärksammades av SolEl-programmet 2009 då den fick hedersomnämning för det helhetstänk som genomsyrat projektet. Förskolan är byggd som ett passivhus och meningen är att solcellsanläggningen totalt över året ska producera mängden elenergi som skolan gör av med.



Figur 4.24 31kW installerat på Sveriges energieffektivaste förskola.

Anläggningen består av 184 monokristallina 170W solcellsmoduler från GPV där tre femtedelar är riktade mot sydost och resterande del mot sydväst, totalt 31,3kW nominell effekt. I dokumentationen finns det även ett medföljande protokoll på modulernas "plussortering" som visar på att den uppmätta snitteffekten hos modulerna när de var nyproducerade var 176W. Växelriktarna är fem stycken IG60 från Fronius och placerade i teknikrummet mittemellan de två delsystemen, se figur 4.25.



Figur 4.25 De fem växelriktarna konkurrerar med fjärrvärmen i teknikrummet med resultatet att arbetshöjden vid service är något låg.

Systemet driftsattes 26 september 2008 och har fram till den första februari 2010 producerat 31 688 kWh. Under det första året var förbrukningen av el 38 252 kWh där storköket stod för 50 procent av elanvändningen. Den höga förbrukningen i storköket förklaras av att förskolan under året har lagat mat till andra förskolor inom Fjärås kommun.

Anläggningen är som SolEl-programmet skriver i sin motivering, "Ett bra exempel på en vardagsnära solcellsapplikation". Systemet kan vara intressant att följa även i framtiden då produktionen är god och att storleken på "plussorteringen" är känd.

5 Slutsatser

5.1 Leverantörer och kvalitet

Det har endast varit ett fåtal entreprenörer på marknaden med Switchpower, Glacell & Naps som tillsammans installerat 97 procent av den totala effekten under stödperioden. Generellt kan man konstatera att kvalitén på installationerna är god.

5.2 Mätinsamling

De flesta anläggningarna har en kompletterande energimätare till växelriktarnas egen mätning som ska rapporteras in till Boverket varje år. Idag så finns det cirka 30 anläggningar i databasen på solelprogrammet.se som rapporterar in data på månadsvis basis.

Möjlighet har funnits att prova på olika typer av lösningar med automatisk mätinsamling med olika växelriktarillverkare och fristående lösningar som tex Spyce.

5.3 Produktion

Anläggningarna producerar som tänkt och följer i huvudsak den förväntade produktionen. För de anläggningar som är monterade mot söder, utan skuggning och med en lutning på 30-40 grader är en årsproduktion på över 900 kWh per installerad kW topp effekt inte ovanlig. Ett tiotal anläggningar finns med tillförlitlig data som visar detta.

5.4 Priser

Priserna för system gick under offrot-perioden ned. Om man utesluter de allra dyraste anläggningarna, som Sege Park med ett mycket komplicerad montage, har totalkostnaden på flera anläggningar legat i intervallet 40-55 000 kr per kW topp effekt. Leverantörerna av systemen har arbetat med mycket små marginaler och de allra lägsta priserna kan man se i slutet av 2008, då det uppstod ett visst överskott av moduler hos några leverantörer.

5.5 Lokalisering

Huvuddelen av anläggningarna har byggts i södra Sverige med Skåne, Stockholm och Västra Götaland som mest aktiva län. Få anläggningar har byggts norr om Gävle.

5.6 Lärdomar

Ett viktigt resultat av stödet är att många kommuner idag har kunskap om solceller och i flera fall har man gått vidare och sökt ny finansiering ur det nya stödet, för att bygga en eller flera ytterligare anläggningar.

Elnätsbolag har vissa fall samarbetat med anläggningsägare för att få en ökad förståelse hur produktion från solceller samspelar med den normala elproduktionen.

Det finns även en kunskap hos installatörer av olika typer av anläggningsbyggen som ger en god grund för den fortsatta utvecklingen av en svensk solcellsmarknad.