

Nätanslutning av småskaliga solcellssystem för elförsäljning

En demonstrationsanläggning

Elforsk rapport 05:30

Nätanslutning av småskaliga solcellssystem för elförsäljning

En demonstrationsanläggning

Elforsk rapport 05:30

Nätanslutning av småskaliga solcellssystem för elförsäljning

En demonstrationsanläggning

Elforsk rapport 05:30

Bengt Stridh



Förord

Detta projekt ingår i det tillämpade solcellsprogrammet SolEl 03-07 etapp I. Programmet finansieras av:

- Energimyndigheten
- Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC
- Vattenfall AB
- Sydkraft AB
- Skellefteå Kraft AB
- Göteborg Energi AB
- Mälarenergi
- Statens Fastighetsverk
- Gällivare PhotoVoltaic
- Brostaden
- Fastighetskontoret Västerås Stad
- Sollentuna Energi
- Falkenberg Energi

Rapporten finns fritt nedladdningsbar från www.elforsk.se/solel.

Sammanfattning

Dagens svenska solcellsanläggningar är endera fristående eller inkopplade på elnätet i en byggnad för försörjning av delar av byggnadens elbehov, men det har inte funnits några anläggningar som har sålt all el till en elhandlare. Detta projekts syfte har varit att samla och dokumentera erfarenheter kring projektering, installation och inkoppling av en mindre solcellsanläggning för försäljning av all producerad el. Det övergripande målet har varit kompetensuppbyggnad för aktörer involverade i installation och nätanslutning av solcellsanläggningar för att underlätta vid uppförande och nyttjande av sådana anläggningar i Sverige i framtiden. Erfarenheter från installationen är värdefull som referens för liknande installationer finansierade av det nya ROT-bidraget under 2005-2007 för installation av solcellsanläggningar på offentliga byggnader.

I uppförandet av demonstrationsanläggningen har ingått design av anläggningen, upphandling av tjänster, installation och nätanslutning av en $3 \text{ kW}_{\text{topp}}$ solcellsanläggning samt försäljning av all solel till en elhandlare. Produktionen beräknas bli ca $2,5 \text{ MWh}_{\text{AC}}/\text{år}$. Anläggningen har uppförts på parkeringen på ABB AB, Corporate Research, vid E18:an i Västerås för att vara lättillgänglig för studiebesök.

Projektet har visat att det inte finns några tekniska hinder att bygga solcellsanläggningar som levererar all producerad el direkt ut till nätägaren. Ekonomi för investering, intäkter och drift redovisas i rapporten. Den höga kostnaden för inmatningsabonnemanget ($3513 \text{ kr}/\text{år}$) i förhållande till intäkterna (51 öre/kWh) gör att små installationer där man levererar all producerad solel till en nätägare idag skulle gå med förlust, oavsett vilken kostnaden är för uppförandet av solcellsanläggningen.

Rapporten avslutas med några uppslag till fortsatta projekt utgående från den solcellsanläggning som har uppförts i detta projekt. Det berör uppföljning, optimering av layout, krav på slutbesiktning, översyn av anslutningsavgifter och energiersättning.

Deltagare i projektet har varit ABB AB, Corporate Research (projektledare), ABB Automation Technologies AB, Cewe-Control (komponentleverantör), Mälarenergi AB (elhandel), Mälarenergi Elnät AB (nätägare och installatör), NAPS Sweden AB (leverantör av solcellsanläggningar), YIT Sweden AB (installatör) och Vattenfall Utveckling AB (referensgrupp).

Summary

Today the Swedish photovoltaic (PV) systems are off-grid or connected to a grid in house to cover part of the electricity demand in the house, but no systems have been delivering all the produced electricity directly to the electricity market. The purpose of this project has been to gain and document experiences around planning, installation and grid connection of a small scale PV system for delivering all of the produced electricity to the grid. The overall goal has been to build up knowledge for actors involved in installation and grid connection of PV systems, to facilitate building and use of such systems in Sweden in the future. Experience from this installation is valuable as reference for similar installations financed by the new ROT subsidy during 2005-2007 for PV systems on public buildings in Sweden.

Included in the construction of this demonstration system was system design, purchase of services, installation and grid connection of a 3 kW_{peak} PV system and selling of all produced electricity to an electricity trader. The production is estimated to approximately 2.5 MWh_{AC}/year. The PV system has been built at the parking lot of ABB AB, Corporate Research, close to E18 in Västerås to be easy accessible for study tours.

The project has showed that no technical obstacles exist in building PV systems that deliver all electricity directly to a grid owner. The economy for investment, income and operation is described in the report. With the high subscription rate for grid connection (3513 kr/year) compared to the income (0.51 kr/kWh) small PV systems that deliver all produced electricity directly to a grid owner will run with a net loss today, independent of the investment cost to build the PV system.

The report is concluded with some suggestions to continued projects outgoing from the PV system that has been built in this project. These suggestions are about following-up, optimization of system design, demands on final inspection, overview of subscription rate for grid connection and energy compensation.

Participants in project has been ABB AB, Corporate Research (project leader), ABB Automation Technologies AB, Cewe-Control (supplier of components), Mälarenergi AB (trading of electricity), Mälarenergi Elnät AB (grid owner and installation), NAPS Sweden AB (supplier of PV systems), YIT Sweden AB (installation) and Vattenfall Utveckling AB (reference group).

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	MÅL.....	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR	2
2	PROJEKTBESKRIVNING	3
2.1	DELTAGARE I PROJEKTET.....	3
3	KOMPONENTER I ANLÄGGNINGEN	4
3.1	SOLCELLSMODULER.....	4
3.2	PROFILER OCH STÅLFUNDAMENT FÖR MONTERING AV MODULERNA	5
3.3	KOPPLINGSLÅDA FÖR SOLCELLSMODULER	6
3.4	LASTBRYTARE FÖR LIKSTRÖM	6
3.5	VÄXELRIKTARE	7
3.6	LASTBRYTARE FÖR VÄXELSTRÖM	9
3.7	CONTROLLER OCH DATALOGGER	9
3.8	UTOMHUSSKÅP.....	10
3.9	KABELMÄTARSKÅP	11
3.10	ÖVRIGT	12
4	VILLKOR FÖR ANSLUTNING	13
4.1	BYGGLOV	13
4.2	FÖRANMÄLAN.....	13
4.3	GRÄVARBETEN	13
4.4	FÄRDIGANMÄLAN	13
4.5	KABELMÄTARSKÅP	13
4.6	STANDARDER OCH ANVISNINGAR.....	14
4.7	AVTAL MED NÄTAGARE OCH ELHANDELSFÖRETAG	14
4.8	ELCERTIFIKAT.....	15
5	EKONOMI.....	16
5.1	INVESTERINGSKOSTNAD	16
5.2	INTÄKTER	17
5.3	DRIFTSKOSTNAD	17
6	ERFARENHETER.....	19
6.1	PROJEKTDELTAGARNAS ERFARENHETER	19
6.2	PRESENTATIONER OCH BESÖK	20
7	SLUTSATSER.....	21
7.1	TEKNIK	21
7.2	EKONOMI.....	21
7.3	UPPSLAG TILL FORTSATT ARBETE	21
8	REFERENSER	23

1 Inledning

Dagens svenska solcellsanläggningar är endera fristående eller inkopplade på elnätet i en byggnad för försörjning av delar av byggnadens elbehov, men det har inte funnits några anläggningar som har sålt all el till en elhandlare. Detta projekts syften har varit att samla och dokumentera erfarenheter kring projektering, installation och inkoppling av en mindre solcellsanläggning för försäljning av all producerad el. Trots ett flertal solelsinstallationer i Sverige har vi mycket begränsad erfarenhet av direkt inkoppling hos en nätägare, eftersom installationernas elproduktion generellt understiger konsumtionen och att man därmed använder den producerade elen i de hus där installationerna är gjorda. Inom projektet har en solcellsanläggning installerats på ABB Corporate Research parkering intill E18:an i Västerås för att vara lättillgängligt för studiebesök. Anläggningens storlek och design efterliknar en anläggning som skulle kunna sitta på ett svenskt hustak direkt inkopplat på elnätet.

En referens- och projektgrupp av intressenter inom solel såsom installatörer, leverantörer och nätägare har skapats. Denna grupp har genomfört projektet från ax till limpa för att i framtiden kunna ta fram ett effektivt tillvägagångssätt för installation av en anläggning väl anpassad till svenska förhållanden och normer. Erfarenheter från installationen är värdefull som referens för liknande installationer finansierade av det nya ROT-bidraget för installation av solcellsanläggningar på offentliga byggnader.

1.1 Bakgrund

Det behövs fler demonstrationsanläggningar som ett led i skapandet av en inhemsk kompetensbas inom solcellsområdet som kan nyttjas för en vidare spridning av solceller i det svenska energisystemet och till en framtida exportprodukt.

Denna demonstrationsanläggning är fokuserad på nätanslutning med försäljning av solel från en småskalig solcellsanläggning. En fördel med en nätansluten solcellsanläggning är att det inte behövs några batterier för energilagring. Det ger en billigare investering, billigare drift och mindre energiförluster för anläggningen. Det ger också möjlighet att bättre balansera produktion och användning om man har en solcellsanläggning som vissa tider producerar mera energi än vad producenten själv förbrukar.

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. Även om nisch tillämpningar och större produktionsanläggningar kan vara av stor betydelse för framväxten av en marknad, bedöms de vara små i jämförelse med potentialen i ett scenario där många fastighetsägare börjar installera solceller. I Sverige finns endast begränsade erfarenheter från direkt nätanslutning av småskaliga solcellsanläggningar.

1.2 Mål

Det övergripande målet har varit kompetensuppbyggnad för aktörer involverade i installation och nätanslutning av solcellsanläggningar för att underlätta vid uppförande och nyttjande av sådana anläggningar i Sverige i framtiden.

1.3 Avgränsningar

I detta projekt har ingen utvärdering av driften av demonstrationsanläggningen gjorts.

Det har inte funnits något syfte att anläggningen ska gå med vinst. Anläggningen har byggts utgående från dagens förutsättningar för att den ska kunna ligga till grund för förslag till förbättringar såväl ur teknisk som ur ekonomisk synvinkel vid uppförande av liknande anläggningar i framtiden.

2 Projektbeskrivning

I uppförandet av demonstrationsanläggningen har ingått design av anläggningen, upphandling av tjänster, installation och nätanslutning av en 3 kW_{topp} solcellsanläggning samt försäljning av all solel till en elhandlare. Anläggningen har uppförts på parkeringen på ABB AB, Corporate Research, vid E18:an i Västerås för att vara lättillgänglig för studiebesök.

Detta projekt kan ses som en fortsättning av projektet ”Standardisering av kostnads-effektiva nätanslutna solcellssystem” [1] eftersom rekommendationer om standardisering kommer att appliceras i demonstrationsanläggningen.

Följande fyra delaktiviteter har ingått i projektet:

0. Avtal inom projektgrupp angående naturinsatser och roller.
1. Design av anläggningen, ansökan om byggnadslov och upphandling av tjänster från komponentleverantörer och installatörer.
2. Installation, nätanslutning, försäljning av solel och visning av färdig anläggning för referensgrupp.
3. Summering av erfarenheter från kontakter mellan olika aktörer under delaktiviteterna 1 och 2.

2.1 Deltagare i projektet

Deltagare i projektet har varit:

ABB AB, Corporate Research (projektledare)
ABB Automation Technologies AB, Cewe-Control (komponentleverantör)
Mälarenergi AB (elhandel)
Mälarenergi Elnät AB (nätägare och installatör)
NAPS Sweden AB (leverantör av solcellsanläggningar)
YIT Sweden AB (installatör)
Vattenfall Utveckling AB (referensgrupp)

Projektet har finansierats från det tillämpade solcellsprogrammet SolEl 03-07 (400 kSEK) och med deltagarnas naturinsatser i form av mantid och hårdvara.

3 Komponenter i anläggningen

3.1 Solcellsmoduler

Solcellsmodulerna har en yta på 25m^2 . Solcellsmodulerna är av modell NR100G24 från NAPS. Modulerna är tillverkade hos Arctic Solar i Gällivare. Orienteringen är rakt sydlig och lutningen mot horisontalplanet är 40° , för att få optimalt energiutbyte. Med en nominell maximal likströmseffekt på 120 W/m^2 blir anläggningens maximala likströmseffekt 3,0 kW. Solcellsanläggningen står vid basen av en ca 35 m hög skyltmast ca 25 m norr om E18 i Västerås vid parkeringen hos ABB AB, Corporate Research, se Figur 3.1. Solcellsanläggningen får därmed en mycket god exponering för resande på E18:an och den är lätt tillgänglig för studiebesök. Dessutom kunde det gjutna betongfundamentet för masten även utnyttjas för stålfundamentet som krävdes för solcellsanläggningen.



Figur 3.1 Solcellsanläggningen.

Kablarna som används för ihopkoppling av solcellsmodulerna är dubbelisolerade. Kablage och de speciella snabbkontakt don som användes vid monteringen levererades av NAPS.

Data för solcellsmodulerna framgår av Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Data för solcellsmodulerna enligt leverantören NAPS.

Modell	NR100G24
Storlek	Längd x bredd: 1293 mm x 650 mm = 0,84 m ² Tjocklek vid ytterkant: 34 mm
Vikt	9,1 kg
Antal solceller	72, polykristallina
Storlek solceller	100 mm x 100 mm
Maximal effekt	100 W ($\pm 5\%$)
Typisk I_{mp} (vid max effekt)	3,0 A
Typisk U_{mp} (vid max effekt)	33,3 V
Typisk I_{sc} (vid kortslutning)	3,2 A
Typisk V_{oc} (vid öppen krets)	42,2 V
Modulverkningsgrad (%)	11,9
Normal solcellstemperatur	44°C. Vid solinstrålning 800 W/m ² , omgivningstemperatur 20°C, vindhastighet 1 m/s och fri luftkylning på undersidan.
Övrigt	Maximum öppen kretsspänning i systemet 1000 V DC. Specifikationer är baserade på en solinstrålning på 1 kW/m ² , celltemperatur 25°C och "air mass" 1,5.

Med ökad solcellstemperatur sjunker cellspänningen och därmed effekten från solcellsmodulerna. Cellspänningen sjunker med 0,08 V per grad över 25°C vilket kan leda till en effekt som är 5-12% lägre än den nominella [2]. I ordlistan på hemsidan www.solcell.nu anges för byggnadsintegrerade solceller förluster på 5-8% för förhöjd celltemperatur och låg verkningsgrad vid låga effektnivåer [3].

3.2 Profiler och stålfundament för montering av modulerna

För att göra det enkelt att visa solcellsanläggningen placerades den fristående istället för på ett hustak, som är en mera normal installation. Stålfundamentet är baserat på stål-balkar med måtten 90 x 90 x 3 mm. På alla sidor har ett ståltrådsnät monterats för att undvika obehörigt intrång, se Figur 3.1. Stålfundamentet är så högt att solcellsmodulernas nedre kant ska vara utom räckhåll för personer som vistas i närheten, med ett avstånd på minst 2,5 m från marknivå eller betongfundamentet. Ingången sker genom en låst nätdörr. Stålfundamentet och ståltrådsnätet är galvaniserat för att undvika korrosion. Ritningen av stålfundamentet gjordes av Contec Byggprojektering AB. Tillverkning och montering av stålfundamentet utfördes av Finess Service AB.

På stålfundamentets ovansida monterades aluminiumprofiler, levererade av NAPS. För att kunna montera profilerna på stålfundamentet lät NAPS tillverka fästvinklar i aluminium som fixerades i stålfundamentet med vagnsbultar. Vid monteringen av profilerna visade det sig dock att vagnsbultarna inte passade och installatörerna fick då till-

verka distansplattor för att få rätt passning, vilket sinkade installationsarbetet. Solcellsmodulerna monterades genom att skjuta in modulerna i profilerna och som ändstopp användes bultar i ändarna av aluminiumprofilerna. På grund av höjden fick en skylift användas vid monteringen.

Varje aluminiumprofil är jordad till samma jordpunkt som nätägarens elnät.

3.3 Kopplingslåda för solcellsmoduler



Figur 3.2 Kopplingslåda för solcellsmoduler. En kopplingslåda används per fas. Säkringshållarna ses till vänster (två av tre möjliga används i denna anläggning) och överspänningsskydd till höger.

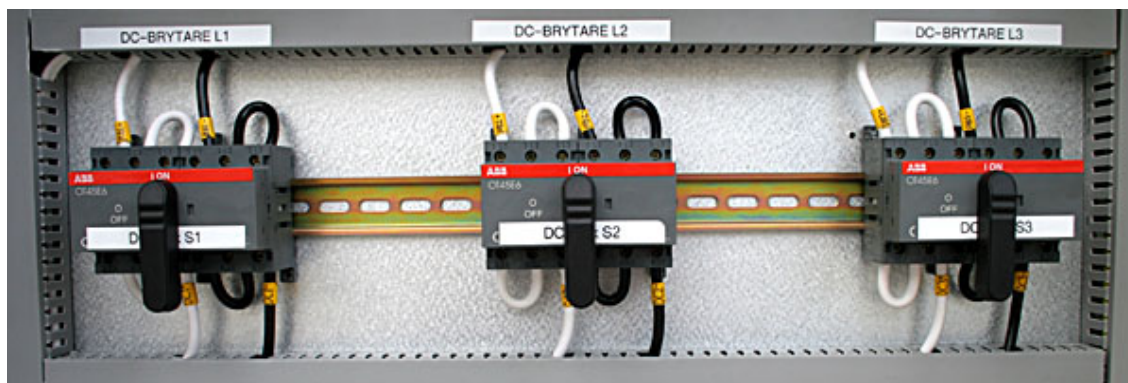
Från solcellsmodulerna leds kablarna in i en kopplingslåda per fas, se Figur 3.2. Lådan innehåller en säkring (10 A) per sträng av solcellsmoduler (två strängar per fas i denna anläggning), diod: 3-fas likriktare och överspänningsskydd. En likriktare används för att undvika problem vid partiell skuggning av solcellsmodulerna. Kopplingslådorna levererades av NAPS, som anlitar Rejlers i Finland för CAD och Micro Mounting för montering av lådorna. Kopplingslådorna kan ha ingående kablar från flera serier av moduler men det är bara en utgående kabel för plus och minus. Kopplingslådorna bör därför sitta så nära solcellsmodulerna som möjligt för att minska kabeldragningen.

3.4 Lastbrytare för likström

Efter kopplingslådan för solcellsmodulerna sitter lastbrytarna för likström, en per fas, se Figur 3.3. Brytarna är även godkända som frånskiljare, vilket krävs för att man ska få utföra elarbeten i anläggningen. Brytarna bör sitta nära växelriktarna så att det blir enkelt att bryta strömmen vid arbete med anläggningen. Brytarna levererades av ABB.

I denna anläggning är brytarna monterade på en DIN-skena. Normalt levererar NAPS brytarna monterade i en plastlåda. Detta var inte nödvändigt i denna anläggning eftersom brytarna sitter i ett utomhusskåp med kapsling IP66.

NAPS brukar använda tre brytare för att kunna bryta strömmen för varje fas om man behöver göra arbeten med bara en av växelriktarna. Därmed slipper man stoppa produktionen till de två övriga faserna.



Figur 3.3 Lastbrytare för likström. En per fas.

3.5 Växelriktare



Figur 3.4 Växelriktare. En per fas.

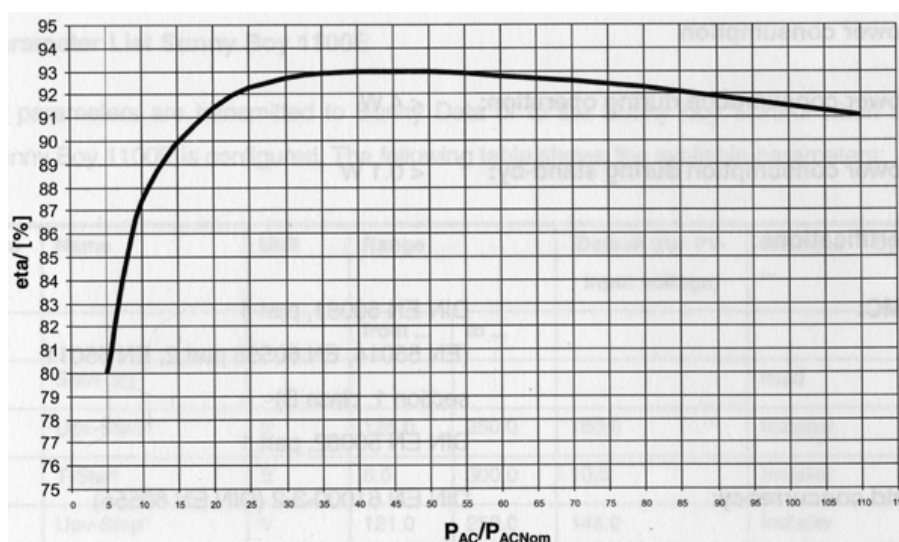
Solcellerna producerar likström. För att kunna mata ut strömmen på elnätet måste den göras om till växelström. Det görs med en växelriktare. I denna anläggning med trefasinmatning blir det tre växelriktare eftersom det krävs en växelriktare per fas, se Figur 3.4. Vanligen görs en trefasanslutning men för små anläggningar är det en fördel om man kan göra en anslutning till en eller två faser eftersom man kan minska kostnaderna för växelriktare, som är en relativt stor andel av anläggningens kostnad.

Växelriktarna är från SMA, Tyskland. Modellen är Sunny Boy 1100E. Enligt NAPS krävs en solinstrålning på ca 25 W/m^2 för att växelriktarna ska starta. Data för växelriktarna framgår av Tabell 3.2 och Figur 3.5.

Tio solcellsmoduler är kopplade till varje växelriktare. Solcellsmodulerna är kopplade så att två parallella strängar med fem solcellsmoduler i serie per sträng går till varje växelriktare, för att få lämplig inspanning till växelriktarna.

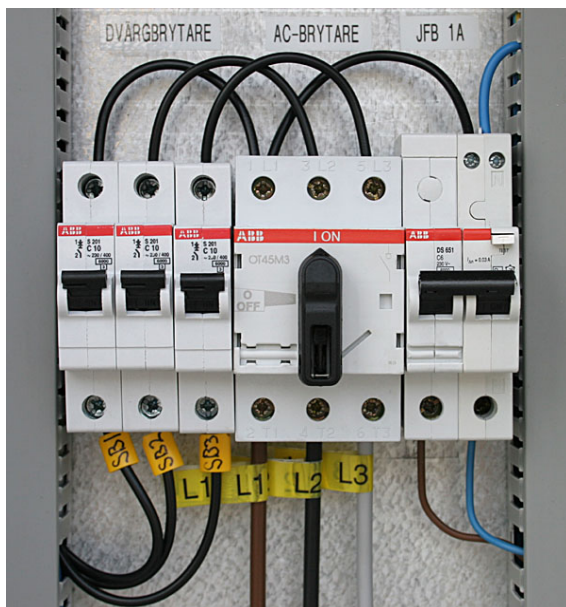
Tabell 3.2 Data för växelriktare Sunny Boy 1100E från SMA.

Nominell effekt P_{ACnom}	1000 W
Max effekt P_{ACmax}	1100 W
Inspänning U_{PV}	150-400 V DC
Utspanning U_{AC}	198-260 V AC
Max ingående ström I_{PVmax}	8,5 A
Max verkningsgrad η_{max}	$\geq 93\%$, se Figur 3.5
"Euro" verkningsgrad η_{euro}	$\geq 91,3\%$
Övrigt	"Maximum Power Point" mode används för att få ut maximal energi.

Figur 3.5 Verkningsgrad för växelriktare Sunny Boy 1100E. P_{ACNom} är 1000 W.

Solcellsmodulernas nominella verkningsgrad är 11,9%. Om man antar en årlig solinstrålning på 1000 kWh/m² i Västerås skulle det ge en årlig nominell likströmsproduktion på 119 kWh/m², vilket för denna anläggning skulle ge en total nominell likströmsproduktion på 3,0 MWh_{DC}/år. Energiförluster i växelriktare, kablage och orsakade av smuts, beskuggning, snö och att solcellerna har en högre temperatur än den nominella gör att den *förväntade* leveransen till elnätet är ca 2,5 MWh_{AC}/år. Anläggningen togs i drift vid lunchtid den 11 maj 2005 och hade till kl. 15.30 den 13 september producerat 1397 kWh_{AC}.

3.6 Lastbrytare för växelström



Figur 3.6 Tre dvärgbrytare, en lastbrytare för växelström (mitten) och en jordfelsbrytare (längst till höger).

Efter växelriktarna sitter en lastbrytare för växelström och en dvärgbrytare per fas, se Figur 3.6. Alla brytarna är godkända som fränskiljare om man använder låsdon på brytarna. Det skulle därför egentligen räcka med den ena typen av brytare.

Brytarna bör sitta nära växelriktarna så att det blir enkelt att bryta strömmen vid arbete med anläggningen. NAPS brukar använda tre dvärgbrytare för att kunna bryta strömmen för varje fas om man behöver göra arbeten med bara en av växelriktarna. Därmed slipper man stoppa produktionen till de två övriga faserna.

I denna anläggning används även en jordfelsbrytare som är kopplad till ett uttag för 230 V AC. I en normal installation ingår inte denna jordfelsbrytare.

3.7 Controller och datalogger



Figur 3.7 Controller och datalogger Sunny Boy Control Plus.

En controller och datalogger av modell Sunny Boy Control Plus (SBC+) från SMA, levererad av NAPS, används för att visa vissa driftvärden och för att logga driftvärden från växelriktarna, se Figur 3.7. Displayen visar växelriktarnas driftstatus, den aktuella effekten i kW, den totala energiproduktionen sedan start i kWh och dagens energiproduktion i kWh. Man kan även ändra vissa driftsparametrar för växelriktarna och kontrollern med hjälp av SBC+.

SBC+ kräver kontinuerlig anslutning till 110 V eller 230 V AC, de kan alltså inte försörjas med enbart solceller utan det behövs en nätanslutning. Enligt NAPS används den på de flesta nätanslutna installationerna. På mindre anläggningar kan man välja att istället sätta en display direkt på växelriktarna för att få en billigare lösning.

Om man ansluter dataloggern till en dator via en COM-port kan man med programmet Sunny Data Control, som laddas ner gratis från SMA:s hemsida [4], se driftvärden för varje växelriktare och man kan även ladda ner driftvärdena till en fil, som kan öppnas

med MS Excel. Exempel på driftvärden förutom de redan nämnda är timmar i drift och eventuell felstatus. Om man har en referenssolcell och temperaturgivare installerade kan man även se solinstrålning och temperatur på undersidan av solcellsmodulerna samt temperatur utomhus. Med hjälp av de värden som sparas i en fil kan man till exempel rita upp diagram över energiproduktionen som funktion av tiden. Om man sparar värden var 15:e minut kan man lagra ett års data i loggern.

För närvarande måste värden från loggern laddas ner på plats vid anläggningen. Tanken är att senare under året dra in kommunikation till datornätverket på ABB, Corporate Research, för att kunna visa driftvärden på en display vid receptionen och för att kunna ladda ner driftvärden till en operatörsdator som är ansluten till nätverket. För att kunna göra en enklare anslutning till ABB:s nätverk kommer SMA att modifiera en SBC+ med en ”net piggy back” för att få TCP/IP-funktion.

3.8 Utomhusskåp



Figur 3.8 Utomhusskåp.

Kopplingslådorna, brytare och växelriktare sitter monterade i två utomhusskåp, se Figur 3.8. Skåpen har kapslingsklass IP66, som innebär att de klarar överspölning med vatten och att de är dammtäta. I detta fall får skåpen dessutom ett regnskydd av solcellsmodulerna som sitter som ett tak ovanför skåpen. Eftersom växelriktarna genererar en del värme har detta skåp ventiler så att man ska få ett självdrag genom skåpet.

Vanligen görs installationerna inomhus och då behövs inte lika täta kapslingar.

3.9 Kabelmätarskåp



Kabelmätarskåpet som står i omedelbar anslutning till solcellsanläggningen är gränssnittet till nätägaren Mälarenergi Elnät AB, som gör alla installationer i skåpet. I skåpet finns två elmätare från ABB, se Figur 3.9 - Figur 3.10. Den ena mäter solcellsanläggningens elproduktion och den andra mäter solcellsanläggningens elförbrukning. Via en timmätare från Senea och radiolänk läser Mälarenergi av timvärden en gång per dygn. Skåpet innehåller dessutom en huvudbrytare från ABB och en traditionell porslinsbrytare per fas.

Kabelmätarskåpet är ett utomhusskåp i galvaniserad plåt för placering utomhus. Skåpet är levererat av ABB.

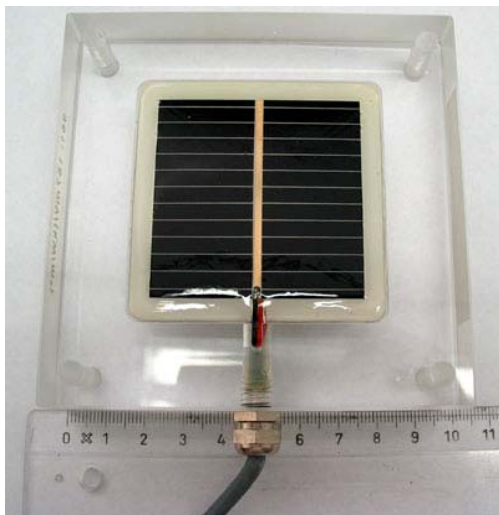
Figur 3.9 Kabelmätarskåp.



Figur 3.10 Detalj av kabelmätarskåp. Överst till vänster timavläsare. Nedanför den lastbrytare och porslinsbrytare. Till höger elmätare för förbrukning och produktion.

3.10 Övrigt

I denna anläggning finns en referenssolcell och två temperaturgivare monterade. Dessa ingår vanligen inte i en solcellsanläggning.



Figur 3.11 Referenssolcell.

En temperaturgivare sitter på undersidan av en solcellsmodul, se Figur 3.12, och en temperaturgivare sitter på utsidan av ett av utomhusskåpen, se Figur 3.13. Genom att följa temperaturen kan man se solcellernas verkningsgrad vid olika drifttemperaturer. Verkningsgraden sjunker med ökande solcellstemperatur.



Figur 3.12 Temperaturgivare på undersidan av en solcellsmodul (under den grå tejp).



Figur 3.13 Temperaturgivare på utsidan av ett av utomhusskåpen.

4 Villkor för anslutning

4.1 Bygglov

Behovet av bygglov diskuterades med två olika handläggare hos Västerås stad. En första bedömning var att en bygglovsansökan var nödvändig men vid förnyad kontakt ansåg man att det inte behövdes någon bygglovsansökan, med tanke på att det är en relativt liten installation.

4.2 Föranmälan

En föranmälan från en behörig installatör ska göras till nätägaren Mälarenergi Elnät AB, enligt deras blankett. En underskrift på föranmälan behövs även av kunden och fastighetsägaren, som är olika företag i detta fall. För denna anläggning gjordes föranmälan av YIT.

4.3 Grävarbeten

För denna anläggning krävdes nedläggning av en ny kabel till Mälarenergis nät på en sträcka av 240 m mellan ABB:s parkering och Ringvallen. Detta gjorde att nätägaren fick skicka en remiss angående kabelns placering till länsstyrelsen i Västmanland, Teknik & Idrott i Västerås stad och Fastighetskontoret i Västerås stad. Det tog cirka två månader att få svar på remissen eftersom tiden sammanföll med jul och nyår. Dessutom behövdes ett godkännande av husförvaltaren (YIT).

Kabeln skulle enligt nätägarens instruktioner förläggas på 45 cm djup med erforderlig skyddsfyllning enligt Elbyggnadsrationaliseringens standard.

Vid en normal installation behövs inga grävarbeten om det redan finns en lämplig punkt för nätanslutning. Man kan därför säga att denna installation blev extra omständlig.

4.4 Färdiganmälan

När monteringen av solcellsanläggningen och grävarbetena var klara gjordes en färdiganmälan av YIT till nätägaren.

4.5 Kabelmätarskåp

Gränssnittet till nätägaren är kabelmätarskåpet, som står i omedelbar anslutning till anläggningen. Uppförandet av kabelmätarskåpet gjordes i samband med grävarbetena för den nya kabeln. Uppsättning av elmätare görs efter det att nätägaren fått en färdiganmälan. Alla anslutningar i skåpet och montering av elmätarna gjordes av nätägaren.

4.6 Standarder och anvisningar

Enligt nätägaren ska följande standarder och anvisningar vara uppfyllda

- Starkströmsföreskrifterna ELSÄK-FS 2004:1. Elsäkerhetsverket.
- Svensk standard SS 436 40 00 Elinstallationsreglerna
- Tillämpliga delar i Svenska Elverksföreningens Tekniska anvisningar för anslutning av mindre produktionsanläggningar till distributionsnät (TAMP)
- Svensk standard SS 437 01 40 Anslutning av lågspänningsinstallationer till elnätet

SS 436 40 00 innehåller bland annat kapitlet ”712 Kraftförsörjningssystem med fotoelektriska solceller”, där installationer av solcellsanläggningar behandlas.

Ett viktigt krav är att ödrift inte får uppstå, med tanke på personsäkerheten för de som arbetar med elnätet. Om elnätet bortfaller måste solcellsanläggningens leverans ut till elnätet stoppas. Detta sköts med automatik av växelriktarna i denna anläggning. Växelriktarna mäter kontinuerligt spänning, frekvens och impedans på elnätet. Om dessa värden faller utanför sina gränsvärden stoppar växelriktarna leveransen ut till elnätet. Så länge det finns solljus fortsätter solcellsmodulerna att ge en spänning men det kommer inte att gå någon ström från solcellsanläggningen när växelriktarna har stoppat. Växelriktarna återuppkopplas automatiskt till elnätet när det är i drift igen.

4.7 Avtal med nätägare och elhandelsföretag

För att kunna mata in solelen på ett nät krävdes följande abonnemang och avtal:

- Inmatningsabonnemang hos Mälarenergi Elnät AB.
- Uttagsabonnemang hos Mälarenergi AB.
- Balansansvarsavtal med Mälarenergi AB.

I inmatningsabonnemanget regleras att en innehavare av produktionsanläggning enligt ellagen har rätt till ersättning motsvarande värdet av minskning av energiförluster i nätägarens nät och minskning av avgifter till överliggande nät. En innehavare av en produktionsanläggning som kan leverera en effekt om högst 1500 kW skall för överföring av el betala endast den del av avgiften som motsvarar den årliga kostnaden för mätning, beräkning och rapportering på nätkoncessionsinnehavarens nät. Innehavaren skall dessutom betala en engångsavgift för anslutning. Preliminär rapportering av timserier till balansansvariga och Svenska Kraftnät sker varje dygn, senast kl 10:00. Slutlig rapportering till Svenska Kraftnät, balansansvarig och elleverantör sker inom fem vardagar. Rapportering till produktionsinnehavare sker inom fem vardagar efter månadsslut. Överenskommelse om längre rapporteringsintervall kan göras. Rapportering av produktion från elcertifikatberättigad produktion sker separat till Svenska Kraftnät.

Ett uttagsabonnemang krävs om man förbrukar el, exempelvis för controller och datalogger. Normalt finns redan ett sådant abonnemang men i detta fall tillkom detta abonnemang eftersom det var en ny anslutning. I denna anläggning antyder en månads energiförbrukning att växelriktare, controller och datalogger drar knappt 3 W i medel.

I balansansvarsavtalet regleras den ersättning som innehavaren av en produktionsanläggning får för den producerade energin. Enligt villkoren i detta avtal krävs timavräkning. Mälarenergi AB åtar sig enligt avtalet att

- till Svenska Kraftnät dagligen elektroniskt lämna produktionsplaner för anläggningen.
- att gentemot Svenska Kraftnät vara ekonomiskt ansvariga för den obalans som kan uppstå mellan produktionsplaner och utfall för producentens produktion.
- att sälja den av producenten producerade energin på elspotmarknaden hos Nord Pool. Producenten ersätts enligt Nord Pools gällande månadsmedelpris, områdespris för Sverige i SEK/MWh, för den verkliga produktionen enligt inrapporterade mätvärden till balansavräkningen.

För producenten gäller att:

- producenten skall meddela Mälarenergi AB om produktionskapaciteten ändras.
- producenten ersätter Mälarenergi AB för obalanskostnad, administration och systemkostnader med 1 kr/MWh på den producerade energin.

Det har varit en tidsödande process att få avtalen fastställda. Det första utkastet till balansansvarsavtal erhöles från Mälarenergi AB den 12 april. Detta avtal hänvisade till ett avtal (inmatningsabonnemanget) med nätägaren Mälarenergi Elnät AB som ABB:s jurist ville se innan ABB kunde skriva under balansansvarsavtalet. Avtalet med nätägaren kom den 22 juni och synpunkter från ABB skickades på de båda avtalen den 1 juli, men de ansvariga på Mälarenergi hade då semester. Balansansvarsavtalet blev klart i augusti medan inmatningsavtalet i skrivande stund inte är påskrivet av båda parter.

4.8 Elcertifikat

Ansökan om godkännande av anläggningen för elcertifikat ska skickas till Energimyndigheten. Detta kommer att göras under hösten.

5 Ekonomi

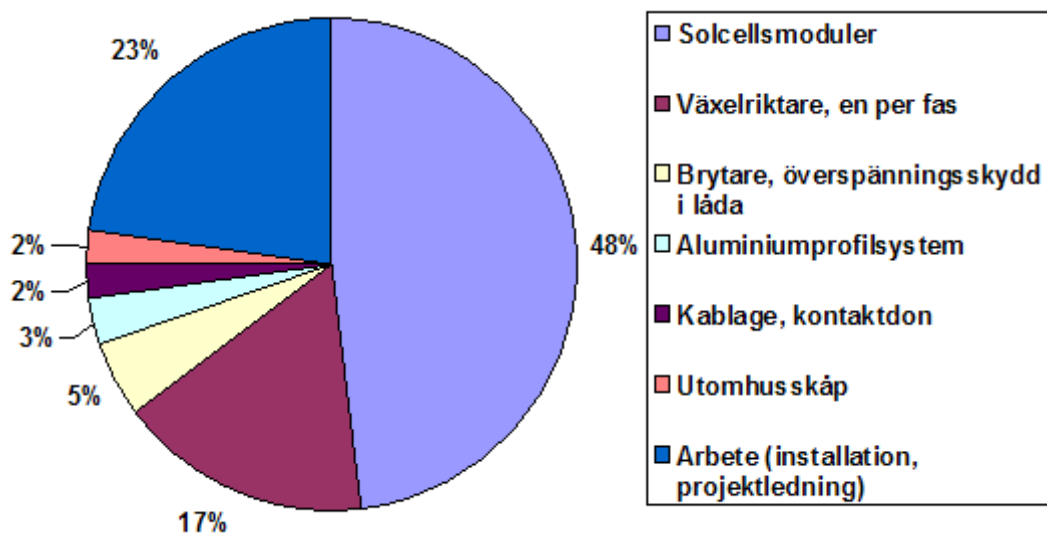
5.1 Investeringskostnad

Investeringskostnaden för solcellsanläggningen var 222 kSEK, exklusive moms. I denna kostnad ingår solcellsmoduler, växelriktare, kablar, kontaktdon, lastbrytare för likström och växelström, dvärgbrytare, överspänningsskydd, apparatlådor, aluminiumprofil-system för montering av modulerna, utomhusskåp och arbete.

I arbetskostnaden ingår installation och projektledning. Installationsarbetet tog 80 timmar fördelat på två personer, men det kunde ha varit 60 timmar om inga problem uppstått enligt installatörerna. I projektledningen ingår arbete för bygglovsansökan, för- och färdigamälan, inköp, avtal med Mälarenergi och sammanhållande projektledning. För projektledning har 24 timmar räknats, vilket är lågt räknat för denna anläggning.

Referenssolcell, temperaturgivare, interfacekort för PC, Sunny Boy Control Plus med kablar och kontaktdon, stålfundament (ritning och uppförande), kabelmätarskåp och grävarbeten för anslutningskabel är **inte** medräknade i kostnaderna. Dessa övriga kostnader har hittills uppgått till 232 kSEK. Återstående arbeten är att ordna uppkoppling av Sunny Boy Control Plus till ABB:s datornätverk och att ordna en display vid ABB:s entré som kommer att visa produktionsdata för solcellsanläggningen.

En fördelning av kostnaderna visas i Figur 5.1. Solcellsmodulerna svarade för 48% av anläggningens totala kostnad, följt av 23% i arbetskostnader och 17% i kostnader för växelriktarna.



Figur 5.1 Fördelning av kostnader för solcellsanläggningen.

5.2 Intäkter

Intäkterna fördelar sig på följande poster

- Energiersättning
- Nätkreditering
- Elcertifikat

Spotpriset för energiersättning enligt månadsmedelpris var 25,6 öre/kWh i medel under 2004 enligt statistik från Nord Pool [5]. Nätkreditering från Mälarenergi Elnät AB ger 7,2 öre/kWh vinterdagtid måndag-fredag 06-22 svensk normaltid under november-mars och 1,7 öre/kWh under övrig tid. Energiersättning från elcertifikat, med ett certifikat per MWh, var 23,1 öre/kWh under 2004 enligt statistik från Energimyndigheten [6]. Den totala intäkten skulle därmed bli 51 öre/kWh, exklusive moms, under antagande att 10% av produktionen sker under vinterdagtid.

Ett ytterligare värde finns för Mälarenergi, som sedan flera år haft en licens för Bra Miljöval-el, för att kunna erbjuda det till intresserade kunder. Grunden för licensen är Mälarenergis vattenkraft men för att kunna räkna den som Bra Miljöval måste Mälarenergi komplettera med ytterligare minst 5 % av någonting mer som klarar Naturskyddsföreningens krav. Tidigare har detta utgjorts av Ena Krafts biobränsleproducerade el. Sedan ett år tillbaka har Mälarenergi sålt av Ena Kraft och kan därför inte tillgodoräkna sig den produktionen. Mälarenergis egen biobränslebaserade el kan inte räknas eftersom askan inte återförs till skogen alternativt jordbruksmark (vilket Ena Kraft gör). De 5 % kommer härfter att utgöras av vindkraft. Men eftersom detta kan slå mellan åren beroende på hur mycket det blåser och hur mycket vatten det finns i vatten dragen balanserar Mälarenergi ibland precis på gränsen eller strax under. I överenskommen med Naturskyddsföreningen har Mälarenergi då lyft detta projekt som man ställer sig positiv till och med det som ytterligare bidrag, även om det är mycket lite el det rör sig om, så accepterar man denna mix som grund för Mälarenergis licens för Bra Miljöval-el. En restproduktplan med ingående material och deras vikt har skickats till Mälarenergi.

5.3 Driftskostnad

För inmatningsabonnemanget betalas en fast avgift på 3513 kr per år = 1,41 kr/kWh, om produktionen blir 2500 kWh_{AC}/år, till Mälarenergi Elnät AB för mätning, beräkning, rapportering. Enligt Mälarenergi förväntas denna avgift sjunka i framtiden. Enligt avtalet om balansansvar ska 1 kr/MWh = ca 2,5 kr/år betalas till Mälarenergi AB.

Övriga driftskostnader har satts till 0 kr/kWh. NAPS lämnar 25 års garanti på solcellsmodulerna, vilket innebär att man efter 25 år garanterar minst 80% av den nominella effekten. Ett frågetecken är om rengöring av solcellsmodulerna kommer att behövas på grund av närheten till E18. Kostnaden för uttagsabonnemanget har inte räknats med eftersom man normalt redan har ett sådant abonnemang och att en solcellsinstallation därmed inte medför någon merkostnad.

Med dessa antaganden kommer driftskostnaden att bli 1,41 kr/kWh, exklusive moms, om produktionen blir 2500 kWh/år. Nettokostnaden blir därmed $1,41 - 0,51 = 0,90$

kr/kWh, exklusive moms. Detta betyder att anläggningen skulle göra en förlust, oavsett vilken investeringskostnad man antar för anläggningen.

6 Erfarenheter

6.1 Projektdeltagarnas erfarenheter

Eftersom detta är den första solcellsanläggningen i Sverige som levererar all producerad el direkt ut till elnätet har många nyttiga erfarenheter gjorts såväl tekniskt som ekonomiskt. Genom projektet har erfarenheter från kontakter mellan olika aktörer såsom komponentleverantörer, installatörer, myndigheter, nätägare, elhandlare och konsumenter erhållits. Erfarenheterna från detta demonstrationsprojekt skulle kunna vara underlag vid utarbetandet av en framtida aktörsguide.

Det första projektmötet hölls den 29 september 2004. Anläggningen togs i drift den 11 maj 2005. Installationen av elmätarna slutfördes den 15 juni. Det tog alltså 7,5 månader att få anläggningen i drift och ytterligare en månad att få till stånd en korrekt elmätning i kabelmätarskåpet. Det fanns flera anledningar till att projektet tog relativt lång tid. Ett problem var att hitta en lämplig anslutningspunkt till Mälarenergi och få finansieringen för detta säkrad. Det tog cirka två månader att få svar på remissen för grävarbetena. Grävarbetena för den nya kabeln kunde starta först efter vintern, för att slippa gräva med tjäle i marken. Det var många olika personer inblandade i projektet, vilket medförde att mindre misstag gjordes och att processen blev onödigt utdragen. Sammanlagt har ett 40-tal personer från 14 företag eller myndigheter varit involverade i projektet i mer eller mindre hög grad.

Även 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. Det finns därför anledning att utgående från detta projekt göra en genomgång vad som skulle kunna vinnas genom en standardisering och genom att utarbeta en checklista för liknande projekt.

Den 14 juni besökte Kenneth Gustafsson, YIT, anläggningen för att göra en besiktning enligt tillämpliga standarder. I Kenneths protokoll fanns kontrollpunkterna spänningsnivå likströmsdelen, systemjordning, isolationsnivå, skydd mot överlast på likströms-sidan, skydd mot kortslutning, fränskiljning och brytning. NAPS har väckt frågan vilka parametrar som det är viktigt att titta på vid en slutbesiktning av en nyinstallerad anläggning. Detta är ett intressant uppslag till en kommande studie. Med tanke på att staten under 2005-2007 satsar 100 miljoner i ROT-bidrag för projektering och installation av solcellsanläggningar på offentliga byggnader bör det också finnas någorlunda enhetlig kvalitetsgranskning av de installerade anläggningarna, för att säkerställa att staten får mesta möjliga nytta för de investerade pengarna.

ABB Automation Technologies, Cewe-Control. Leif Lundberg skriver att ”från vår sida har det varit spännande att vara med inom ett nytt kundsegment, solel. Vi levererar normalt lågspänningsapparater till maskinbyggare, elfördelningar och så vidare där vi väl känner till de applikationer och krav som ställs på våra apparater. I det här projektet så har vi lärt oss att våra lågspänningsapparater väl passar in för en solelapplikation. Kraven vi har ställts inför i det här projektet skiljer sig inte mot de vi normalt jobbar

emot. Vi har i detta projekt levererat kabelmätarskåp inklusive elmätare, utomhuskapslingar med dvärgbrytare och lastbrytare för strömriktarna i solpanelen. Från ABB Automation Technologies, Cewe-Control ser vi positivt på möjligheterna att aktivt deltaga i framtiden inom solelsegmentet med vårt kunnande inom lågspänningsområdet.”

Mälarenergi Elnät AB. Åsa Sallhag skriver ”kommentarer och erfarenheter under de olika projektfaserna.

- Kallelse till möten, möten och protokoll har fungerat bra.
- Färdigamälan hade varit önskvärt att fått snabbare för att kunna reda ut eventuella missförstånd och oklarheter.
- Enligt vad jag hört från Bengt Elfvendahl så fanns det gott om utrymme i apparatskåpet, mätaren hade alltså fått plats i det skåpet (under förutsättning att Mälarenergi Elnät skulle fått tillgång till skåpet via nyckel).
- Att skriva de olika avtalen har tagit längre tid än jag trodde.

Förbättringar inom Mälarenergi (inom Elnät Teknik):

För ett snabbare handhavande av avtalen inom Mälarenergi skulle det förenkla med en instruktion vilka avtal som krävs samt vem och vilken avdelning som handhar detta för att kunden tidigt ska "slussas" till rätt person.”

NAPS Sweden AB. Leif Selhagen säger att det varit positivt med nya aktörer. Det har gett ny kompetens och nya infallsvinklar, som gett värdefulla diskussioner.

6.2 Presentationer och besök

Projektet har presenterats vid Sveriges Energiting den 9 mars 2005 i Eskilstuna [7] och vid Elforsk solelseminarium den 26 maj 2005 i Uppsala [8]. Presentationerna har gett god uppmärksamhet och ett flertal personer har därefter varit i kontakt med ABB för att fråga om olika saker eller titta på anläggningen.

Solcellsanläggning har visats för flera besöksgrupper, som Elforsk SolEl 03-07 programstyrelse, ABB Cewe-Control (Nyköping och Västerås), Ekosol (Strängnäs) och Bravida (Eskilstuna).

Solcellsanläggningen har presenterats i SolEl 03-07 nyhetsbrev #1/2005 [9] och resumé nummer 9-2004 (en intern publikation för ABB, Corporate Research).

7 Slutsatser

7.1 Teknik

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

7.2 Ekonomi

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 solcell till en nätägare går med förlust, oavsett investeringskostnad för uppförandet av solcellsanläggningen.

När det gäller layout och vilka komponenter som ska ingå i en solcellsanläggning finns möjligheter att göra anläggningen billigare. Vad som behövs är en optimering av nuvarande layout, som delvis baseras på installationer gjorda hos IKEA i Älmhult 1997. Genom en optimering och förmontering i fabrik av brytare, överspänningsskydd etc i ett standardiserat skåp borde det gå att få ned kostnaden för både hårdvara och installationsarbetet.

7.3 Uppslag till fortsatt arbete

Följande är några uppslag till fortsatta projekt utgående från den solcellsanläggning som har uppförts i detta projekt.

Uppföljning. I en uppföljning skulle följande punkter kunna ingå

- fortsatt drift av den uppförda solcellsanläggningen med ABB som ägare av anläggningen. En liten kostnad om det inte uppstår några fel och om det inte blir alltför stor nedsmutsning på grund av närheten till E18.
- uppföljning av driftstatistik.
- fortsatta visningar och föredrag. Intresset är stort för solceller men kunskapen om och erfarenheter av solceller hos de som frågar är ofta låg, vilket märks på de frågor som kommit i samband med eller efter presentationer. Informationsbehovet är därför stort för denna form av förnyelsebar energi och det är därför viktigt att utnyttja gjorda installationer för att sprida kunskap hos beslutsfattare, företag och allmänhet.
- ta fram informationsfolder. Kommentarer som ovan.

Optimering av layout. För att få ned kostnad för hårdvara och installationsarbete borde en optimering göras av anläggningens layout. Vi har byggt vår anläggning som man normalt gör idag. Det är delvis baserat på hur man gjorde på IKEA i Älmhult 1997 och det verkar inte vara helt optimalt med tanke på antal brytare, kapslingar och volym för anläggningen, vilket påverkar anläggningens kostnad. Det verkar också vara att gå över ån efter vatten att låta importera en del av konstruktionsarbetet och komponenterna när det finns svenska företag som kan tillhandahålla samma tjänster.

Det vore även värdefullt med en genomgång och redovisning av olika typer av montagesystem för solcellsmoduler. Med enkla montagesystem finns tid och därmed pengar att vinna.

Slutbesiktning. Vilka parametrar är det viktigt att titta på vid en slutbesiktning av en nyinstallerad anläggning? Med tanke på att staten under 2005-2007 satsar 100 miljoner i ROT-bidrag för projektering och installation av solcellsanläggningar på offentliga byggnader bör det också finnas någorlunda enhetlig kvalitetsgranskning av de installerade anläggningarna, för att säkerställa att staten får mesta möjliga nytta för de investerade pengarna.

Anslutningsavgifter. Dagens höga nätanslutningsavgifter i förhållande till intäkterna gör det omöjligt att få någon ekonomi i en liten solcellsanläggning. Här behövs en översyn av situationen både från statens och från energibolagens sida. Det vore intressant att göra en enkät bland Sveriges nätägare och se hur mycket det skiljer i abonnemangsavgift för inmatning av el från små producenter. Utgående från nätägaren med lägst årsavgift skulle de övriga kunna lära vad som kan göras för att sänka årsavgifterna.

En tänkbar kortsiktig lösning är ett statligt stöd för små producenter, där stödet består i att abonnemangsavgiften täcks till 100%. Med tanke på att antalet anläggningar till en början skulle vara litet skulle stödet inte behöva vara så stort i absoluta tal. Under tiden skulle man hinna se över regelverket och alternativa lösningar, som till exempel elmätare med automatisk rapporteringsfunktion.

Energiersättning. En solelbörs enligt vad som finns i till exempel Zürich (Solarstrom Stock Exchange) skulle vara ett sätt att väsentligt bättra på ekonomin för små solcellsanläggningar och därmed få fart på solelmarknaden. I Zürich får producenten en ersättning på 5 kr/kWh.

8 Referenser

- [1] Hosini F, Krohn P; ”Standardisering av kostnadseffektiva nätanslutna solcell-system”, Elforsk rapport 04:08, Stockholm, Augusti 2004.
- [2] Orner F, Davidson J; ”SOLutions in Solar Electricity - About us & Frequently Asked Questions”, <http://www.solarsolar.com/solarfaq.html>.
- [3] Elforsk, ”Byggnadsintegrerade solceller – ordlista”,
<http://www.solcell.nu/ordlista/>
- [4] SMA; ”Willkommen bei SMA”, <http://www.sma.de/>
- [5] Nord Pool; ”Elspot monthly prices”,
<http://www.nordpool.com/nordpool/spot/index.html>
- [6] Energimyndigheten; ”Här presenteras statistik från elcertifikatsystemet” ,
http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=6D72E39FED3206E8C1256E66004C0EC9&WT=Energimarknader.El.Elcertifikat.Marknadsstatistik
- [7] Energimyndigheten, ”Sveriges Energiting 2005, referat”,
<http://www.sverigesenergiting.se/Referat%202005web.pdf>
- [8] Elforsk; ”Solel 03-07 Solelseminarium”,
http://www.elforsk.se/solel/underlag/dok_solsem_050526.pdf
- [9] Elforsk; ”Solel 03-07 nyhetsbrev #1/2005”,
http://www.elforsk.se/solel/underlag/nyhetsbrev1_2005.pdf

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31

Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35

www.elforsk.se