

# Uppföljning och analys av Stockholms stads solcellsanläggningar

---

Johan Ärlebäck





UPPSALA  
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten

Besöksadress:  
Ångströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

Uppföljning och analys av Stockholms stads solcellsanläggningar

### **Monitoring and analysis of the City of Stockholm's photovoltaic installations**

---

*Johan Ärlebäck*

During 2007 the City of Stockholm installed five grid connected photovoltaic systems. The aim of this master thesis is to quantify the amount of produced energy and recommend routines to collect and analyse production data, to make production data accessible by the public and to gain experience for future installations.

The total amount of produced energy until March 2009 is 227 000 kWh, with an annual rate of 150 000 kWh. The expected annual rate was 148 000 kWh.

All system owners are positive about their plants and see economical benefits in scaling up such systems.

The installations need very little attendance and maintenance, however it is recommended that an alarm function is installed for automatic feedback in case of a system failure. All future systems should be inspected during full operation to determine if the actual capacity is matching the installed capacity.

Handledare: Carina Martinsson, ÅF; Mats Andersson, Energibanken; Anders Lindén, ÅF  
Ämnesgranskare: Arne Roos, Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala universitet  
Examinator: Ulla Tengblad, Institutionen för strålningsvetenskap, Uppsala universitet  
ISSN: 1650-8300, UPTec ES09 021  
Sponsor: Nicolas Heyum, Stockholms stad, Energicentrum

# Sammanfattning

---

Stockholms stad har installerat solcellsanläggningar på Vällingby brandstation, Åkeshovshallen, flera skolor i Älvsjö, Stadsteatern samt Hovet vid Globen. I och med att anläggningarna har delfinansierats med det statliga stödet om 70 procent av investeringskostnaden har staden förbundit sig att rapportera anläggningarnas årliga elproduktion till Boverket under 5 år. Ingen förvaltning har ännu genomfört någon uppföljning av prestandan hos sina respektive installationer och därför vet man inte hur det verkliga utbytet står sig i förhållande till det projekterade. Syftet med detta examensarbete har varit att kvantifiera hur mycket el som har producerats från de aktuella solelssystemen samt att peka på erfarenheter för att underlätta för staden vid upphandling av nya system, den senare delen med fokus på uppföljning av produktion och prestanda.

För att göra solcellsanläggningar jämförbara anger man den installerade toppeffekten,  $W_t$ , i stället för en area i kvadratmeter. Toppeffekten uppmäts under standardiserade villkor där instrålning, celltemperatur och solinstrålningens spektrum är bestämt. Dessa betingelser uppnås sällan samtidigt i verkligheten med resultatet att den reella effekten sällan uppgår till den installerade toppeffekten. Genom att besiktiga sin anläggning med avseende på  $W_t$  kan anläggningsägaren kontrollera hur den uppgivna installerade effekten stämmer överens med den verkligt installerade effekten. Solcellsmoduler på en  $\text{kW}_t$  för kristallint kisel har storleken 8-10  $\text{m}^2$ . I internationell litteratur är beteckningen för toppeffekt  $W_p$  eller  $W_{\text{peak}}$  efter engelskans peakpower.

För att jämföra produktionen hos liknande anläggningar i samma geografiska område använder man måttet Final Yield,  $Y_f$  som anges i  $\text{kWh}/\text{kW}_t$ . Kristallina solceller levererar 800-900  $\text{kWh}$  per installerad  $\text{kW}_t$  i Stockholmsområdet per normalår vid optimal lutning och orientering.

Totalt har de aktuella anläggningarna producerat 227 000  $\text{kWh}$  från installation fram till månads-skiftet februari-mars 2009. Anläggningarna har en sammanlagd produktionstakt på cirka 150 000  $\text{kWh}$  per år vilket är något över den samlade förväntade produktionen per år som var projekterad till 148 000  $\text{kWh}$ .

Vällingby brandstation producerade 12 150  $\text{kWh}$  mellan december 2007 och januari 2009. Den förväntade produktionen är 10 900  $\text{kWh}$  per år. Under en 12-månadersperiod producerade anläggningen 11 900  $\text{kWh}$ , vilket är 9 procent över det förväntade värdet. Data är inhämtade via växelriktarsystemet som erfarenhetsvis kan visa upp till 10 procent för höga produktionsvärden. En sektion av solcellerna i systemet var defekt från den 11 mars 2008 och bortfallet beräknas till cirka 1 900  $\text{kWh}$  fram till årsskiftet.

Åkeshovshallen producerade 71 600  $\text{kWh}$  mellan juni 2007 och februari 2009. En uppskattad produktion av 48 350  $\text{kWh}$  under det första året ger ett  $Y_f$ -värde på 920  $\text{kWh}/\text{kW}_t$  vilket är 31 procent över den förväntade produktionen. Det är dock troligt att växelriktarna visar för höga produktionsvärden.

I de tio förskolorna och skolorna i Älvsjö har fram till februari 2009 totalt producerats 50 050 kWh sedan starten i mars 2007. Förväntad produktion för två år är 50 000 kWh, vilket överensstämmer väl med produktionen. Nio av anläggningarna har ett  $Y_f$ -värde på 714-784 kWh/kW<sub>t</sub>.

Stadsteaterns anläggning har sedan start producerat 36 700 kWh, med ett  $Y_f$ -värde under 2008 på 908 kWh/kW<sub>t</sub>. Den förväntade produktionen från anläggningen är 27 600 kWh per år. Under 2008 producerade den 29 200 kWh, vilket är cirka 6 procent över riktvärdet. Ett skäl till att den producerade energin överstiger den förväntade kan vara att modulerna levererar högre  $W_t$  än vad de är normerade till.

Den takintegrerade solcellsanläggningen av amorftkisel på Hovet har hittills producerat 57 100 kWh. Under 2008 var den sammanlagda produktionen 37 400 kWh vilket var 10 200 kWh mindre än den förväntade produktionen. Den förväntade produktionen är dock för högt räknad med ett  $Y_f$ -värde för Hovet på 926 kWh/kW<sub>t</sub>. Det är högre än Stadsteatern som har en fördelaktigare lutning, är mindre störd av omliggande skuggor och använder sig av beprövade monokristallina moduler.

Att installera kristallina standardmoduler med en systemstorlek över 100 kW<sub>t</sub> kostar cirka 45 kSEK/kW<sub>t</sub>. Av den totala kostnaden ligger 2/3 på solcellsmodulerna och den resterande 1/3 på växelriktare, kablage, elinstallation, stativ och montage av moduler. Under 2009 beräknas det införas ett nytt stödsystem för solel i Sverige på 60 procent av totala installationskostnaden.

Alla stadens anläggningsägare är positiva till framtida solcellsinstallationer, men ser hinder i de stora kostnader som en installation utgör. Samtliga anläggningsägare uppger att de gärna ser installation av så stora anläggningar som möjligt för att få ned engångskostnaderna vid installation och maximera elproduktionen.

Solcellsanläggningar kräver väldigt lite underhåll. Därför bör anläggningarna utrustas så att man får ett larm vid bristfällig funktion. Det är viktigt att varje år kontrollera att anläggningen är i full drift innan produktionssäsongen träder i kraft.

Stockholms stad bör centralt hjälpa till kunskapsmässigt vid upphandling av system för att på ett enklare sätt än idag få en publik återkoppling. Genom att skapa en mer direkt återkoppling av elproduktionen visar man på att miljövänlig energiteknik fungerar idag och tydliggör sin roll som en föregångare i samhället.



# Förord

---

Detta examensarbete har genomförts inom civilingenjörprogrammet i energisystem som ges vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Studien har utförts som ett samarbete mellan Energicentrum Stockholms Stad, ÅF-Infrastruktur samt Energibanken.Handledare för arbetet har varit Carina Martinsson och Anders Lindén från ÅF samt Mats Andersson från Energibanken.

Rapporten riktar sig till alla som är intresserade av nätanslutna solelsystem. Min förhoppning är att arbetet ska bidra med information och idéer om den potential och de hinder som berör etablering av solcellsanläggningar. Studien och dess resultat hoppas jag skall väcka intresse och förståelse för möjligheterna för solel som ett reellt bidrag till arbetet med att minska behovet av köpt el, samtidigt som man bidrar till utvecklingen av miljövänlig energiteknik.

Stockholm den 2 april 2009

Johan Ärlebäck

# Innehållsförteckning

---

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund	1
1.2	Problembeskrivning	1
1.3	Syfte	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Metod	2
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>5</b>
2.1	Begreppsförklaring	5
2.2	Nätanslutna solcellsanläggningar	6
2.3	Typer av solceller	8
2.4	Elproduktion	10
2.5	Systembegränsningar	11
2.6	Mätning av toppeffekt	13
2.7	Kostnader	14
<b>3</b>	<b>Stödsystem och marknadsöversikt</b>	<b>15</b>
3.1	Statligt stödsystem	15
3.2	Inmatningstariff	15
3.3	Marknadsöversikt	15
3.4	Systemövervakning	17
<b>4</b>	<b>Initiativ</b>	<b>19</b>
4.1	Initiativ och förstudie	19
<b>5</b>	<b>Studerade anläggningar</b>	<b>19</b>
5.1	Vällingby brandstation	19
5.2	Åkeshovshallen	21
5.3	Skolor i Älvsjö	22
5.4	Stadsteatern	23
5.5	Hovet	25
<b>6</b>	<b>Resultat och analys</b>	<b>27</b>
6.1	Elproduktion	27
6.2	Motiv för uppförandet av anläggningarna	32



6.3	Fortsatt satsning	32
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>35</b>
7.1	Ekonomi	35
7.2	Subventioner	35
7.3	Dimensionering och produktionsöverskott	35
7.4	Mätavgifter och produktionsöverskott	36
7.5	Specifika problem och lösningar	36
7.6	Långsiktigt tänkande	37
<b>8</b>	<b>Rekommendationer och slutsatser</b>	<b>39</b>
8.1	Rekommendationer för framtida projekt	39
8.2	Slutsatser	40
<b>9</b>	<b>Referenser</b>	<b>41</b>



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

I Sverige har man sedan slutet av 70-talet använt sig av solceller för att driva fyrar, nödtelefoner och länkstationer i fjällvärlden där det har varit dyrt att koppla in sig till det fasta elnätet. Dessa så kallade standalone-system spred sig vidare till fritidsbåtar, husvagnar och avlägsna sommarstugor i samband med att kostnaderna för systemen gick ner i pris. Idag är installation av nätanslutna system vanligare. I ett nätanslutet system så matas den producerade elen in på det allmänna elnätet via fastigheten som på det sättet minskar sitt behov av köpt energi.

I Sverige idag finns totalt sju megawatt installerad effekt solceller, och av dessa är knappt tre megawatt anslutet till elnätet. Större delen av den installerade effekten som är kopplad till nätet har tillkommit sedan maj 2005 då "Stödet till energieffektivisering och konvertering i lokaler för offentlig verksamhet" -OFFROT erbjöd 70 procent motfinansiering när man installerade nätanslutna solceller på offentliga byggnader. Stödet gällde fram till utgången av 2008.

En viktig drivkraft för solcellsutvecklingen i Sverige har varit SolEI-programmet som startade år 1995. SolEI-programmet driver frågor om kunskapsutveckling för hur solelsystem fungerar under svenska förhållanden och effekter av integrering av solceller i elnätet. Programmet verkar även för att bygga upp en inhemsk marknad och stödjer kommersialiseringen av svensk forskning. Programmet finansieras till 40 procent av Energimyndigheten och till 60 procent av näringslivet.

Forskningen om solceller i Sverige är aktiv både vad gäller grundforskning på universitet och kommersiell forskning. Produktion av solceller sker dock endast i en liten skala, avsedd för produktionsoptimering för fabriker i Tyskland. Däremot är produktion av solcellsmoduler en industri med en produktionskapacitet på 110 MW per år (2007). Företagen har historiskt sett fått avsättning för sin produktion i Tyskland där man genom ett långsiktigt statligt stöd byggt upp en marknad för nätanslutna system som är ca 2500 gånger större än den svenska. Detta trots att man i Tyskland inte har bättre nivåer på solinstrålningen än i till exempel Mälardalenregionen.

I dagarna har Näringsdepartementet presenterat en fortsättning på OFFROT. Ett stöd på 60 procent av investeringskostnaden kommer att gälla även för privatpersoner under perioden 2009 till 2011 med ett tak på 50 miljoner för år 2009. Detta får förmodligen till följd att intresset från allmänheten att installera nätanslutna solelsystem kommer att öka kraftigt.

## 1.2 Problembeskrivning

Stockholms stad har idag installerat solcellsanläggningar på Vällingby brandstation, Åkeshovshallen, flera skolor i Älvsjö, Stadsteatern samt Hovet vid Globen. Anläggningarna har upphandlats av olika förvaltningar inom staden. I och med att anläggningarna har delfinansierats med det statliga stödet om 70 procent av investeringskostnaden har staden förbundit sig att rapportera anläggningarnas årliga elproduktion till Boverket under 5 år. Anläggningarna är utrustade med olika system för mätning och övervakning och varje förvaltning bestämmer sitt eget sätt att övervaka och rapportera. Ingen förvaltning har ännu

genomfört någon uppföljning av prestandan hos sina respektive installationer och därför vet man inte hur det verkliga utbytet står sig i förhållande till det projekterade. Stockholms Stad är intresserad av en standardiserad metod för inrapportering av mätdata som man kan använda sig av vid eventuella framtida nyinvesteringar i solel. Staden vill också gärna ha svar på frågan om solcellerna kräver service. Även frågor om hur installationerna uppfattas av användaren av lokalen där solanläggningen är installerad är intressanta. Andra intressanta frågor är till exempel hur respektive anläggningsägare avser utvärdera sina anläggningar, om man har något program för detta, om och hur anläggningarna marknadsförs. Tar man till exempel emot besökare eller initiativ till studiebesök, samt om gemene man kan följa elproduktionen, antingen via informationsskylt på plats eller via internet.

### 1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att kvantifiera elproduktionen från de aktuella solelssystemen samt att dra lärdomar för att underlätta upphandling och uppföljning av produktion och prestanda vid framtida installationer. De upphandlingar som utfördes för de aktuella anläggningarna kommer även att studeras med avseende på motiv och erfarenheter genom intervjuer och tillgänglig dokumentation.

### 1.4 Avgränsningar

Endast ovan nämnda anläggningar ingår i studien.

Halvledartekniken för solceller beskrivs inte närmare i denna rapport, då fokus ligger på systemens funktion.

Endast icke-koncentrerande solceller har tagits upp i teoridelen eftersom de undersökta anläggningarna är av denna typ.

De ekonomiska aspekterna av de installerade systemen har inte utvärderats.

### 1.5 Metod

Examensarbetet avser en utvärdering av produktionsanläggningar och började med att säkerställa att det fanns produktionsdata tillgängliga. Detta gjordes genom att sätta sig in i Driftdatabasen (SoIEI 2009) och via kontakter med anläggningsägarna. De anläggningar som inte hade var upptagna i driftdatabasen besöktes för att avgöra i vilken mån data fanns tillgänglig. Proceduren redovisas utförligt i kapitel 5.1.2 Möjlighet till datainsamling.

Samtliga anläggningar besöktes för att få en tydligare överblick och för hur rutiner för uppföljning kunde utvecklas för att passa de specifika anläggningarna. Instruktioner utverkades även för personal vid anläggningarna för att förenkla manuell datainsamling via Driftdatabasen. Detta för att kontinuerligt få in data, både till examensarbetet och för framtida kontroller och utvärderingar.

Teori har inhämtats genom litteraturstudier, studiebesök på anläggningar i Hammarby Sjöstad och i Malmö, solel-sessionen på Energitinget (Energitinget 2009), samt muntligt genom svensk expertis på solelområdet. De aktuella personerna är namngivna under kapitlet Muntliga referenser.

Samtliga anläggningsägare har kontaktats för att samla in förstudier och material angående drift och uppföljning. Även intervjuer angående bakgrund och motiv för anläggningens uppförande har utförts.

Samtliga beräkningar har utförts med kunskap inhämtad genom litteraturstudier och med hjälp av programmet PVSYST. PVSYST används bland annat för att korrigerar solinstrålningen i horisontalplan till anläggningens modulplan.

Soldata har inhämtats kostnadsfritt via Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska instituts (SMHI) tjänst STRÅNG som utvecklats tillsammans med Strålsäkerhetsmyndigheten och Naturvårdsverket. STRÅNG är en modell för solinstrålning över Sverige som bygger på data från 12 av SMHI:s väderstationer och interpolering av grunddata för punkter däremellan. Modellen är tillgänglig via internet och uppdateras varje timme och har lika stor upplösning.

Boverket har kontaktats och varit behjälplig med anläggningarnas kostnad och förväntad elproduktion.



## 2 Teori

### 2.1 Begreppsförklaring

#### 2.1.1 *Installerad toppeffekt*

För att jämföra storlekar solcellsinstallationer använder man sig av ett effektmått,  $W_{\text{topp}}$  eller  $W_t$ .

En solcellsmoduls effekt mäts vid standardiserade villkor, Standard Test Conditions (STC) för att göra olika typer av solceller jämförbara. Vid STC ska solinstrålningen vara  $1000 \text{ W/m}^2$  med vinkelrätt infall samt ha ett solspektrum som motsvarar att det har gått igenom atmosfären 1,5 gånger (AM1,5) vilket är liktydigt att solhöjden är  $41,8^\circ$  över horisonten. Även celltemperaturen hos modulen är reglerad då det har inverkan på elproduktionen. Temperaturen är satt till  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  för att förenkla testproceduren. Det värde på  $W_t$  som man får vid utprovning av modulen är för DC-effekt.

I internationell litteratur är beteckningen  $W_p$  eller  $W_{\text{peak}}$  efter engelskans peakpower.

När man multiplicerar antalet moduler med modulens normerade effekt får man anläggningens installerade toppeffekt. Det är det enklaste sättet att jämföra olika anläggningars storlek då effektiviteten hos olika typer av solceller varierar och en jämförelse med storlek i kvadratmeter inte blir rättvis.  $1 \text{ kW}_t$  för kristallint kisel har storleken  $8\text{-}10 \text{ m}^2$ .

Det är sällan ovan beskrivna förutsättningar uppstår i verkligheten. När solinstrålningen är  $1000 \text{ W/m}^2$  så ligger oftast celltemperaturen långt över  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Med resultatet att den reella effekt som omvandlas till AC-effekt sällan uppgår den till den installerade toppeffekten.

#### 2.1.2 *Final yield*

Final yield ( $Y_f$ ) är ett mått på anläggningens produktion och har enheten  $\text{kWh/kW}_t$ .  $Y_f$  gör liknande anläggningar i samma geografiska område jämförbara. Den mäts oftast på årsbasis med värden på  $700\text{-}900 \text{ kWh/kW}_t$  per år för svenska förhållanden, där de lägre värdena fås för fasadinstallationer.

Enheter kan förkortas till timmar (h) och som vid annan kraftproduktion erhålles en årlig nyttjandegrad när man delar med årets antal timmar. Denna jämförelse blir dock haltande eftersom den installerade toppeffekten för systemet sällan nås (se punkt 2.1.1).

#### 2.1.3 *Performance Ratio*

Uttrycket Performance Ratio (PR) används för att uppskatta hela systemets verkningsgrad när man har tillgång till en instrålningsmätare. Värdet på PR är ett kvalitetsmått på anläggningars systeminstallation oavsett lokalisering eller typ av installation.

PR defineras som kvoten mellan den producerade energin (kWh) och den installerade effekten (kW<sub>t</sub>) delat med solinstrålningen (kWh/m<sup>2</sup>) i planet normerad enligt STC (1000W/m<sup>2</sup>) vilket åskådliggörs enligt

$$PR = \frac{kWh}{kW_t} / \left( \text{global\_solinstrålning}[kWh/m^2] / 1000W/m^2 \right) \quad (1)$$

PR är en dimensionslös kvot mellan 0-1 där normala värden är 0,75-0,85.

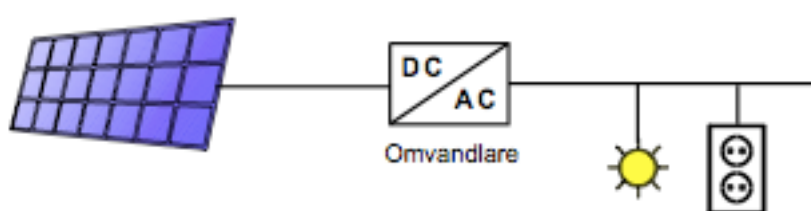
Genom att identifiera den första kvoten till Y<sub>f</sub> (se ovan), ange värdet av den globala solinstrålningen i MWh för samma period och stryka alla enheter i svaret erhåller man det enklare uttrycket

$$PR = Y_f / (\text{global\_solinstrålning}) \quad (2)$$

Om man har tillgång till mätvärden för global solinstrålning i det horisontella planet i systemets punkt kan programmet PVSYST användas för att korrigera solinstrålningen i horisontalplan till anläggningens modulplan.

## 2.2 Nätanslutna solcellsanläggningar

En nätansluten solcellsanläggning består av tre delar; solcellsmodulerna som fångar upp solinstrålningen och omvandlar den till likström, en växelriktare/omvandlare DC/AC som transformerar likströmmen till växelström och en koppling till det interna elnätet som driver interna ellaster såsom till exempel lampor. Interna elnätet är i sin tur är kopplad till det externa elnätet som symboliseras av strecket längst till höger i figur 1.



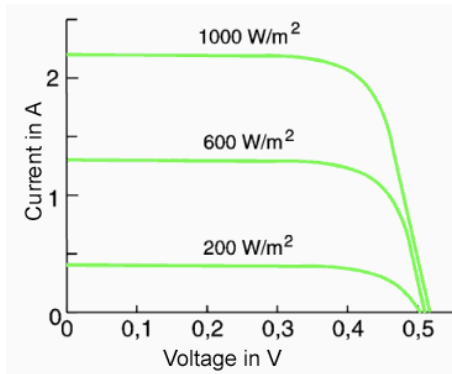
Figur 1: Enkel skiss för ett nätanslutet solesystem.



Figur 2: Monokristallin solcellsmodul bestående av 36 solceller.

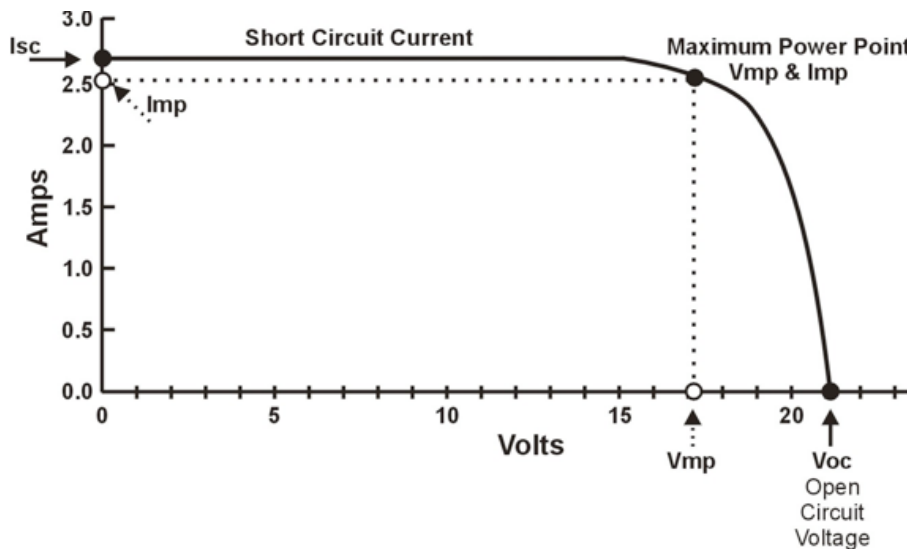


Figur 2 visar en solcellsmodul som består av sammankopplade solceller som är inkaplade i en ram med ett transparent skikt på den aktiva sidan. Den har en bestämd utspänning som beror på hur många celler som är sammankopplade. Solcellsmoduler levererar likström där strömmen är proportionell mot solinstrålningen som visas i Figur 3 där solinstrålningen varierar mellan 200 till 1000 W/m<sup>2</sup>.



**Figur 3: Ström-spännings kurva för enskild kiselcell. Källa: [www.solarserver.de](http://www.solarserver.de)**

Figur 4 visar hur växelriktaren automatiskt söker den punkt på kurvan där värdet av spänningen ( $V_{mp}$ ) gånger strömmen ( $I_{mp}$ ) blir störst (Maximum power point, Mpp). Det är när solcellsmodulen arbetar vid det värdet som modulen får ut maximal effekt. Normala värden för uteffekten för moduler ligger mellan 100 och 200W.



**Figur 4: Ström-spänningskurva för solcellsmodul. Källa: EMSD – Technology Outline**

Solcellsmodulerna seriekopplas för att nå en högre spänning då det blir effektivare att transformera den till växelspanning. De moduler som är sammankopplade kallas en sträng. Arbetsspänningen för en växelriktare är beroende på fabrikat men ligger i storleken 75 - 600 volt, vilket resulterar i att en sträng har en ungefärlig storlek av 10- 20 moduler. En växelriktare kan omvandla likström från fler än en sträng. För anläggningar som har en installerad effekt som är större än 3-10 kW<sub>t</sub> installeras fler växelriktare. I Figur 5 syns ett exempel där fem växelriktare har installerats vid Frescati. Moderna växelriktare har inbyggda frånskiljare som av säkerhetsskäl slår ifrån produktionen om det blir strömavbrott på nätet.



**Figur 5: Växelriktare av märket SMA. Källa: NAPS**

Växelriktarna har ofta en inbyggd loggfunktion som samlar information om energiproduktionen. För att samla informationen från flera växelriktare brukar även en logger vara inkopplad med specifik uppgift att samla in och förmedla mätvärden. Växelriktarnas förmåga att mäta noggrant sjunker ju längre från optimum den arbetar. Denna mätosäkerhet kan man kompensera genom att installera en traditionell elmätare innan systemet kopplas in på fastighetsnätet. Detta är generellt standard för system över 10 kW<sub>t</sub>.

Är anläggningen utrustad med en solinstrålningsmätare kan även den kopplas in till loggern för att på så sätt jämföra instrålningen med energiproduktionen.

## 2.3 Typer av solceller

### 2.3.1 Kristallint kisel

Det vanligaste sättet att producera solceller är via kisel och värdekedjan för kisel överblickas i Figur 6. Solcellerna består av skivor (wafers) av rent kisel som är 0,1-0,3 mm tjocka som sågats ur en kiselgöt. Historiskt sett har cellerna varit storleksmässigt 10 \* 10 cm och sammanfogade i moduler för att öka utspänningen och få en enklare hanterbar storlek. Idag är det vanligare med cellstorlek på 15 \* 15 cm.



**Figur 6: Värdekedja för kisel-solceller. Källa: PV Enterprise**

Monokristallint kisel är den typ av solcell som har högst modulverkningsgrad av de ickekoncentrerande solcellerna med 13-15 procent verkningsgrad. Världsrekordet för en enskild cell ligger på 24,7 procent. Monokristallint kisel stod för 42,2 procent av världsmarknaden år 2007 (Solar Generation V 2008).

Polykristallina solceller produceras från kiselblock och har ett oregelbundet mönster som uppkommer av att flera små kiselkristaller växer bredvid varandra. Polykristallina kiselceller stod för 45,2 procent av världsmarknaden år 2007 och var därmed det största segmentet. Vanligtvis ligger modulverkningsgraden mellan 12 och 14 procent.

### 2.3.2 Tunnsfilm

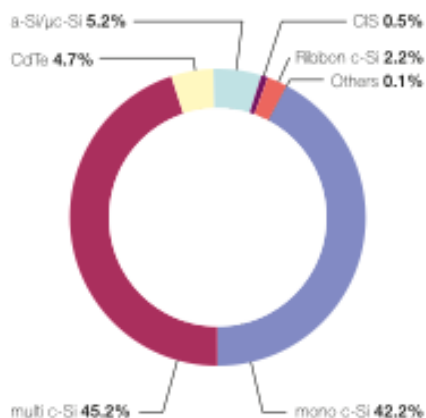
Tunnsfilmssolceller beläggs på ett substrat och det aktiva materialet är endast 0,002-0,003 mm tjockt.

Amorftkisel,  $\alpha$ -Si, och mikrokristallintkisel,  $\mu$ c-Si, är enklare och snabbare att producera än kristallint kisel. De har dock en lägre verkningsgrad med 5-8 procent som normala värden på modulverkningsgraden. Verkningsgraden sjunker även med tiden då  $\alpha$ -kisel inte är lika stabilt som kristallint kisel. Amorftkisel tillsammans med mikrokristallintkisel hade 5,2 procent av marknaden år 2007.

CdTe, kadmiumtellurid, hade 4,7 procent av marknaden men kommer troligen bli den dominerande tunnfilmstekniken och med en verkningsgrad på 5-7 procent är den billigaste tekniken att framställa solceller idag.

CIGS (koppars, indium, gallium och diselenid) och CIS stod endast för 0,5 procent av världsmarknaden men har en hög verkningsgrad på 7-11 procent vilket gör att tekniken verkar lovande.

Alla marknadsandelar är överskådligt utritade i Figur 7.



**Figur 7: Del av världsmarknaden (2007) Källa: Solar Generation V**

### 2.3.3 Semitransparanta solceller

Transparanta solceller kan vara av både kristallin och tunnfilms typ. Genom att placera de kristallina cellerna i ett glas med större mellanrum mellan cellerna får man effekten att solen skiner igenom i mellanrummen vilket kan beskådas i Figur 8.

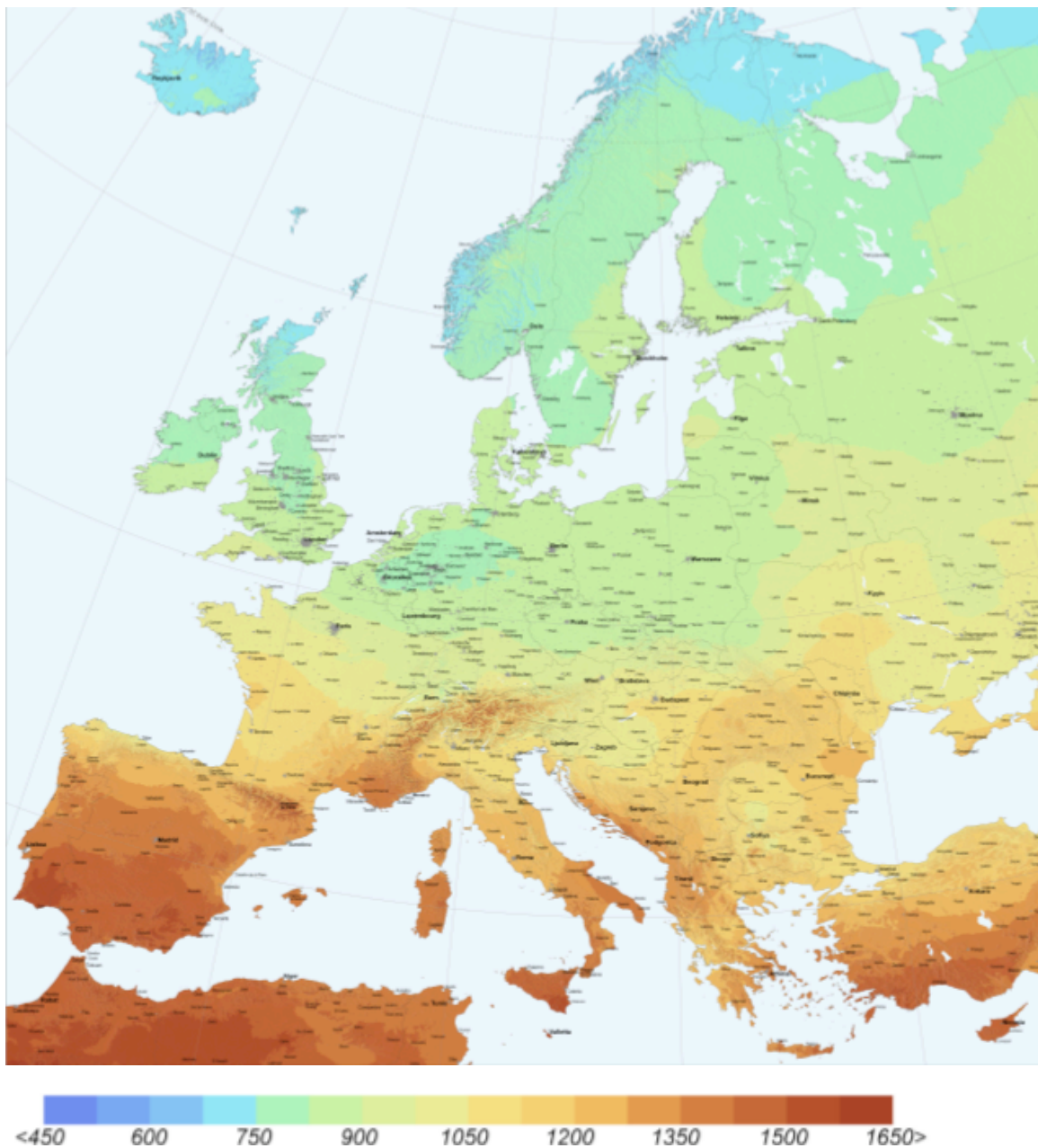


**Figur 8: Kiselceller monterade i glas ger ett semitransparent intryck.**

Tunnfilm går att etsa så att man får mönster, där verkningsgraden är proportionell mot den verksamma arean.

## 2.4 Elproduktion

Kristallina solceller levererar 800-900 kWh per installerad kW<sub>t</sub> i Stockholmsområdet per normalår vid optimal lutning och orientering. I Figur 9 ser man att dessa förutsättningar är fullt jämförbara med centrala Tyskland. De lägre instrålningsnivåerna kompenseras av att omgivningstemperaturen är lägre och på så sätt ökar produktionen (se nedan). Under svenska förhållanden tar det knappt 3 år att få tillbaka den energi som används vid produktion och kommande återvinning av solcellsmodulen (PVPS 2006).

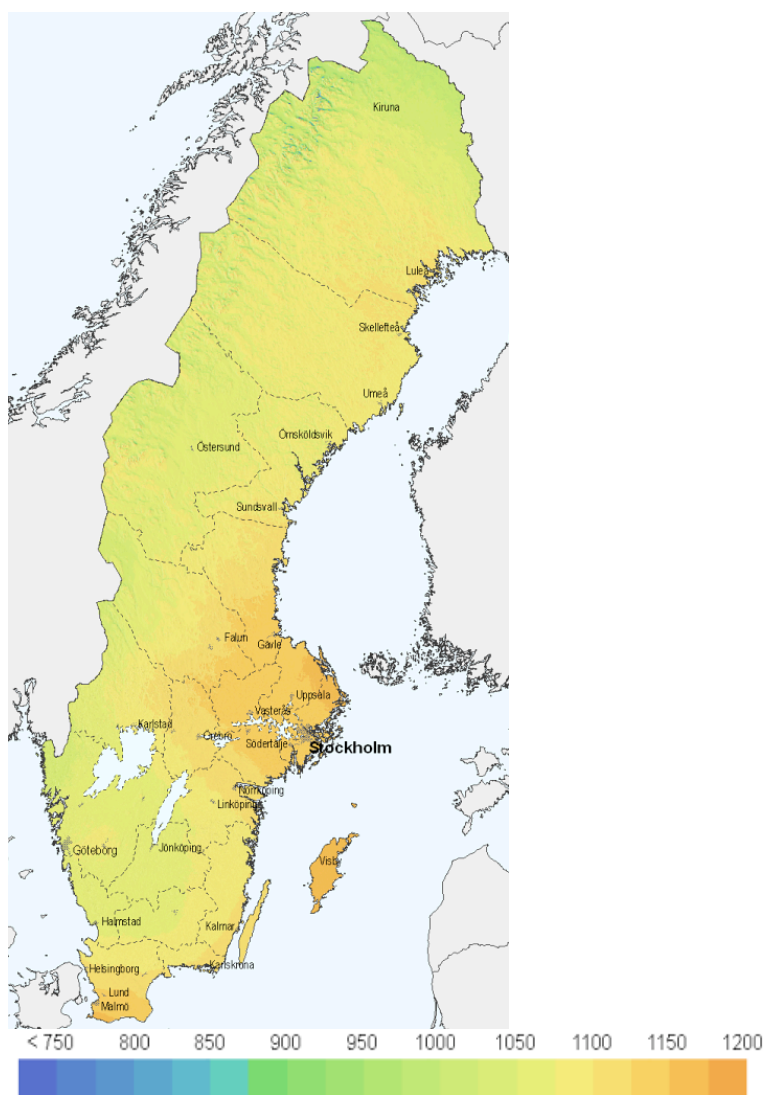


Figur 9: Elproduktion för en optimalt orienterad solesystem, kWh/kW<sub>t</sub>. Källa: PVGIS

## 2.5 Systembegränsningar

### 2.5.1 Instrålning

Under ett normalår i Sverige varierar solinstrålningen från 880 kWh/m<sup>2</sup> i norr till 1200 kWh/m<sup>2</sup> i Roslagen, Gotland och södra Sverige vid optimal lutning av planet. Under 2008 var den globala solinstrålningen i Bromma 1007 kWh/m<sup>2</sup>, vilket är i paritet med de 10 senaste årens snitt på 1011 kWh/m<sup>2</sup> (SMHI, STRÅNG u.d.). STRÅNG baserar sig på SMHI:s tolv mätstationer utspridda över Sverige.



**Figur 10: Årlig global instrålning [kWh/m<sup>2</sup>] vid optimal lutning. Källa: PVGIS**

Genom att kombinera solinstrålningsdata från SMHI:s datamodell STRÅNG och programmet PVSYSY får man fram en grov uppskattning av den infallande globala solinstrålningen. Liknande uppskattning går att få från PVGIS, men ingångsdata blir då ett medel av senaste årens instrålning och inte specifik för en månad eller ett år som går att ta fram via STRÅNG.

### 2.5.2 Lutning

För att optimera produktionen vinklar man modulerna både vertikalt och horisontellt. Det är sällan den optimala vinkeln i horisontell riktning skiljer sig mer än några grader från rakt

söderut. I vertikal riktning varierar den optimala lutningen från 37 grader i södra Sverige till 48 i norr. Lutningen mäts ifrån det horisontella planet och den optimala lutningen för en solcellsanläggning i Stockholmsområdet är 40 grader. Det finns även konstruktioner för mindre solföljande system. Solarit AB tillverkar sin produkt i Sverige och ökar enligt återförsäljaren utbytet med 20-100 procent. På årsbasis blir det maximalt 40 procents ökning.



**Figur 11: Solföljande system från Solarit AB. Källa: Solarit**

### **2.5.3 Temperatur**

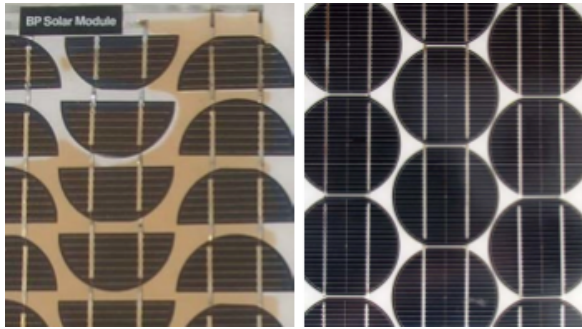
När temperaturen ökar så ökar även resistansen för elektronerna i solcellerna och effektiviteten sjunker. Uteffekten sjunker med 0,4 procent per celsiusgrad över STC-temperatur hos modulen. Förlusterna för amorfa kiselceller blir lägre då de är mindre temperaturberoende (Temperaturberoende u.d.).

### **2.5.4 Skuggning**

När man skuggar en cell sjunker spänningen i den cellen vilket leder till att spänningen i hela modulen sänks. Det motverkar man genom att installera by-pass-dioder i modulerna som kopplar förbi det område av solcellsmodulen som är skuggad. Det resulterar i att strömmen i modulen behålls men att spänningsbidraget från de celler som är skuggade förloras.

### **2.5.5 Ålder**

Många kristallina solcellsmoduler säljs med en garantitid på 25 år. För att kontrollera vilken inverkan åldern har på prestandan för gamla moduler gjordes mätningar i samband med nedmontering av ett system på Bullerö i Stockholms skärgård. Modulerna hade varit i drift i 25 år under hårda väderbetingelser och visade att försämringen av prestandan var mindre än 2,0 procent för 19 av 20 moduler, vilket var mindre än mätfelmarginalen. Få av modulerna påvisade någon gulning av inkapslingsglaset som förekommer i system som varit i drift i områden med starkare solinstrålning. (Hedström och Palmblad 2006)



**Figur 12: Till vänster: BP-moduler som har varit i drift i över 15 år i Italien. Till höger: moduler som har varit i drift under svenska förhållanden i 25 år. Källa: Elforsk 06:71**

Det är svårt att veta hur länge modulerna håller i kontinuerlig svensk drift då Bullerömodulerna är nedmonterade och ej längre används. Det äldsta systemet i Sverige som fortfarande är i drift är ett 2,1 kW<sub>t</sub> i Huvudsta, Stockholm som driftsattes 1:a oktober 1984.

### 2.5.6 Växelriktare

Moderna växelriktare har en verkningsgrad på 93-98 procent när de arbetar vid sin optimala belastning. För att öka belastningen finns det idag nya växelriktare som arbetar efter master/slave-principen där växelriktarna kopplas in en efter en vartefter effekten ökas. På det sättet arbetar de växelriktarna som används längre tid vid sitt optimum och de växelriktare som det inte finns behov för minskas slitaget.

De problem som uppstått med solcellsanläggningar har historiskt sett varit kopplat till defekta växelriktare. Moderna växelriktare har en förväntad livslängd på 15 år.

## 2.6 Mätning av topp effekt

Genom att besiktiga sin anläggning med avseende på W<sub>t</sub> kan anläggningsägaren kontrollera att den uppgivna installerade effekten stämmer överens med den verkligt installerade effekten. För att besiktiga en anläggning behöver man veta solinstrålningen, vilken AC-effekt som produceras momentant, celltemperaturen hos modulerna och växelriktarens verkningsgrad.

Solinstrålningen fås från en solinstrålningsmätare placerad i samma plan som anläggningen, antingen om det finns en fast mätare i systemet eller om besiktningspersonen medför en mobil mätare. AC-effekten avläses från växelriktarna och celltemperaturen kan avläsas i loggern där sådan utrustning är installerad, annars mäts den på baksidan av en modul. I de fall kompenserar man för den något lägre temperaturen på baksidan jämfört med celltemperaturen (~5 °C). Växelriktarens verkningsgrad fås ur dess datablad.

Mätningarna ska helst göras när solinstrålningen är nära 1000W/m<sup>2</sup> för mäta så nära STC som möjligt och minska felkällorna. Även växelriktaren kommer då att arbeta närmare sitt optimum, vilket minskar även den felkällan.

Praktiskt normeras den avlästa AC-effekten med solinstrålningen samt korrigerar för förhöjd celltemperatur med 0,4 procent per °C över 25 °C och dividerar den normerade AC-effekten med växelriktarens verkningsgrad för att få fram DC-effekten. Resultatet på den uppmätta effekten bör ligga inom 10 procent från den installerade effekten.

## 2.7 Kostnader

### 2.7.1 Installation

Då marknaden är global för solceller så sätts priserna i euro och dollar. Att installera kristallina standardmoduler med en systemstorlek över 10 kW<sub>t</sub> kostade före finanskrisen och kronans turbulens gentemot euron cirka 45 kSEK/kW<sub>t</sub>. Av den totala kostnaden ligger 2/3 på solcellsmodulerna och den resterande 1/3 på växelriktare, kablage, elinstallation, stativ och montage av moduler.

### 2.7.2 Underhåll

Ett solcellssystem kräver väldigt lite skötsel och som regel regnar smutsen bort. I de fall där modulerna skyddas varandra från regn så rekommenderas tvättning en gång per år.

För anläggningar med liten vertikal lutning kan snö som täcker anläggningen ge ett minskat utbyte. Snörika år har produktionen minskat med 3-4 procent i Stockholmsregionen (Skötsel u.d.). Det är viktigt att tänka på att när solen bryter igenom snön blir modulerna varmare än omgivningen (Martinsson och Lindén 2005) och snön smälter snabbt, vilket kan medföra att det finns behov för utökat is- och snöskydd för de delar av taket som är utrustat med solceller (Martinsson och Lindén 2005).

Växelriktarna bör funktionskontrolleras med jämna intervall för att förhindra bortfall av produktion. Moderna växelriktare håller cirka 15 år och man brukar räkna med ett växelriktarbyte under anläggnings livstid.

Om man inte har ett automatiskt övervakningsprogram för sin anläggning bör energiproduktionen från det senaste året kontrolleras varje vår innan nästa säsong sätter igång. Då kan man enkelt upptäcka fallerade växelriktare, defekta strängar eller moduler och skadegörelse.



## 3 Stödsystem och marknadsöversikt

### 3.1 Statligt stödsystem

Energienheten på Näringsdepartementet har aviserat att det under våren troligtvis kommer ett nytt statligt stöd för nätanslutna soleininstallationer. Stödet kommer att vara på 60 procent av totala kostnaden och kommer att gälla fram till och med år 2011. I den totala kostnaden ingår projektering, material och arbete. Första året är det anslaget 50 miljoner där högsta belopp som betalas ut för en anläggning är 2 miljoner, vilket motsvarar storleksmässigt en installation på cirka 110 kW<sub>t</sub> med maximalt utnyttjande av bidraget. Stödet gäller för alla typer av ägare; privatpersoner, företag och offentliga organisationer och ansökan görs till länsstyrelsen som fattar preliminärt och slutgiltigt beslut.

Det slutgiltiga beskedet om stödet beräknas komma någon gång under april- maj 2009. Energimyndigheten kommer att följa upp och utvärdera stödet.

### 3.2 Inmatningstariff

I system med feed-in tariffer förbinder sig staten att köpa den producerade elen till ett fast pris som ligger över det normala elpriset. I Tyskland sträcker sig stödet 20 år framåt i tiden där man är garanterad en ersättning på 32-41 eurocent per producerad kWh beroende på hur solcellerna är installerade. För nyinstallationer sänks ersättningsnivåerna med 5 procent för varje år. Innan man började sänka ersättningarna år 2004 var ersättningsnivåerna 46-57 eurocent (Bundesministerium für Umwelt u.d.).

Feed-in tariffen har gjort solesystem populära i Tyskland. I följande länder finns nu liknande system: Frankrike, Italien, Nederländerna, Portugal, Schweiz, Spanien, Österrike samt några stater i USA.

### 3.3 Marknadsöversikt

#### 3.3.1 Marknadens storlek

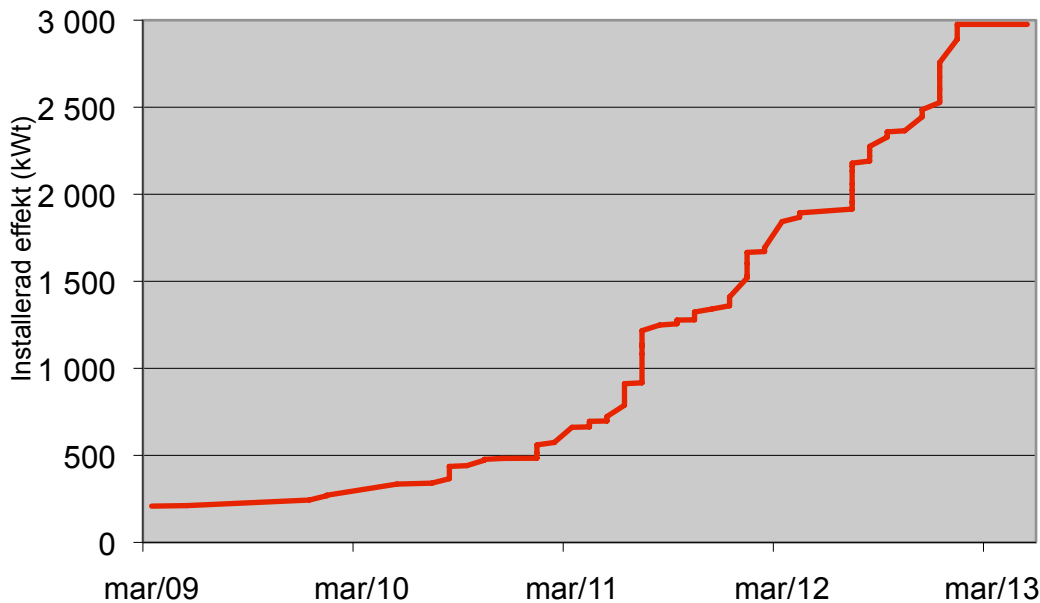
Under 2008 installerades det i världen 5 950 MW<sub>t</sub> solceller<sup>1</sup> och den totala ackumulerade effekten är 14 000 MW<sub>t</sub>. Tyskland är störst i världen med cirka 5 000 MW<sub>t</sub> installerad effekt. Spanien kommer på en andra plats, till stor del som en följd av det stödprogram som fanns i Spanien fram till den sista oktober 2008. Av de i Spanien totalt installerade 3100 MW<sub>t</sub> så byggdes knappt 4/5 under 2008. Möjligheten att bygga större anläggningar utnyttjades även i detta stödprogram vilket lett till att 83 av de hundra största anläggningarna i världen nu står att finna i Spanien.<sup>2</sup>

I Sverige finns det idag 2,8 MW<sub>t</sub> nätanslutna solesystem. Även här har större delen tillkommit under stödsystemet som löpte fram till december 2008 vilket visas tydligt i Figur 13. Totalt finns det 106 nätanslutna system i mars 2009.

---

<sup>1</sup> [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com)

<sup>2</sup> [www.pvresources.com](http://www.pvresources.com)



**Figur 13: Nätansluten ackumulerad installerad effekt i Sverige. Källa: Driftdatabasen, SolEI.**

### 3.3.2 Solcellstillverkare

Världsproduktionen av solceller är koncentrerad till Tyskland, Japan, Kina och USA. Av världsproduktionen år 2007 är de fem största; Q-cells (Tyskland) 9 procent, Sharp (Japan) 8 procent, Suntech Power (Kina) 8 procent, Kyocera (Japan) 5 procent, First Solar (USA) 5 procent.

I Sverige idag så är det endast Solibro som har visat upp produktion av solceller från sin produktionslina utanför Uppsala. Tillverkningen är inriktad på för att forska fram billigare sätt att producera CIGS-moduler.

Midsummer i Järfälla ska enligt egen uppgift framställa solceller på samma sätt som hårddiskar produceras, genom att under vakuum sprutta på de aktiva lagren. Företaget hade ingen omsättning under 2008 och har inte visat upp någon produkt till allmän beskådan.

### 3.3.3 Modultillverkare

Genom att importera solceller och montera dem i moduler så står Sverige för 2 procent av produktionen på världsmarknaden. REC Scanmodule har norska ägare men är Sveriges största producent av solcellsmoduler och har som mål att producera 150 MW<sub>t</sub> under 2009. Under år 2008 producerade de 80 MW<sub>t</sub> varav det mesta av produktionen gick på export till Spanien, Tyskland eller USA. PV Enterprise och Gällivare Photovoltaics (GPV) är två jämnstora företag. GPV producerade nästan 20MW<sub>t</sub> under år 2007. Arctic Solar har tyska ägare. N67 har danska ägare och ligger i Porjus, de är den tillverkare som har minst produktion. De svenska producenterna omsätter ungefär 2 miljarder kronor tillsammans. (Holmkvist och Bengtsson 2009)

### 3.3.4 Systeminstallatörer

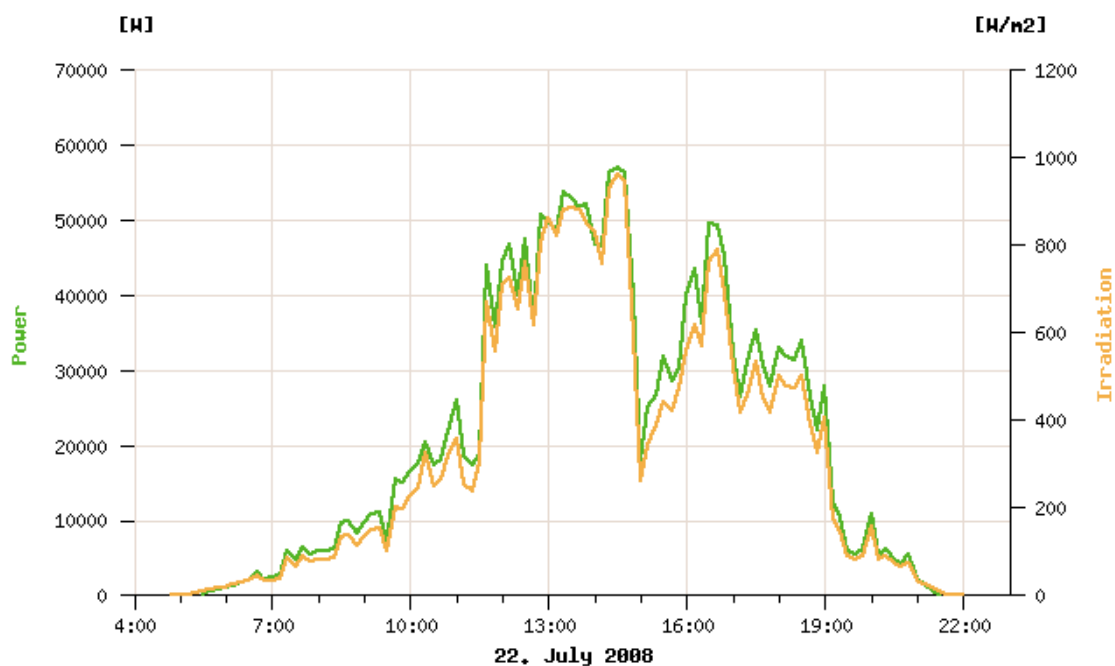
I Sverige finns tre företag som har specialiserat sig på att projektera och bygga nyckelfärdiga solesystem. Glacell (före detta Exoheat) NAPS och Switchpower. Gaia Solar är dansk men har byggt anläggningar i Sverige. Utöver dessa finns det ett antal mindre aktörer som försöker slå sig in på marknaden och har utfört någon eller några installationer.

## 3.4 Systemövervakning

För att få tillförlitliga värden till övervakning och uppföljning vill man mäta solinstrålning i modulplanet, AC-produktion, celltemperatur och utomhustemperatur. Noggrannheten blir beroende av förmågan att mäta dessa punkter.

### 3.4.1 Växelriktare

Vid nyinstallation idag är det vanligast att man väljer ett system som är kopplat till den växelriktare man väljer. DLS Web logger, SMA, Fronius SolarWeb är alla liknande lösningar från växelriktarfabrikanter som gör det möjligt att integrera solinstrålningsmätare i ett system som möjliggör fjärrövervakning via internet som exemplet Ullevi i figur 14. Systemen kräver installation av solinstrålningsmätare och uppkoppling till internet. Sådana system har hög noggrannhet på grund av att man mäter solinstrålningen i samma punkt och plan som modulerna är installerade i.



Figur 14: DLS Web logger visar Ullevis produktion (power) och solinstrålning (irradiation)

### 3.4.2 Spyce

Ett system där man använder satellitdata istället för solinstrålningsmätare som referens är Spyce. Systemet har en låg uppstartskostnad och en årlig abonnemangskostnad och passar därför för små system som inte vill kosta på sig en solinstrålningsmätare. I abonnemanget ingår automatisk fjärrutvärdering där anläggningsägaren kan se om produktionen ligger inom det förväntade området.

Vid de tre anläggningar i Sverige där systemet har installerats för över ett år sedan fungerar det emellertid fortfarande inte tillfredställande beroende på problem med överföring av mätdata.

### ***3.4.3 Elproduktionsmätning via mobilnätet***

Att mäta elproduktionen via en undercentral och sända data via GPRS är ett enkelt sätt att koppla upp anläggningar som tidigare har varit helt utan uppföljning. Detaljerad information från växelriktarna går förlorad då man endast mäter den producerade effekten men denna lösning bör berättiga till intäkter i form av elcertifikat.

### ***3.4.4 Manuell uppföljning***

Det absolut vanligaste sättet att följa upp en anläggning idag är att årligen manuellt avläsa elmätaren. Det ger en grov uppskattning om anläggningen fortfarande är i drift och vad den ger. I de fall man läser av anläggningen månadsvis och hämtar in solinstrålningsdata från en närliggande väderstation kan man snabbare upptäcka brister i produktionen som kan bero på problem med växelriktare eller defekta moduler.

## 4 Initiativ

### 4.1 Initiativ och förstudie

De fem anläggningarna installerades efter maj 2005 då det infördes ett statligt stöd för solcellsanläggningar på offentliga byggnader. Stödet var på 70 procent och Stockholms stad avsatte 50 miljoner kronor för att finansiera de återstående 30 procent av kostnaderna vilket ledde till att det de projekt som blev beviljade skulle få 100 procent finansiering. Konsultfirman Energibanken fick i uppdrag av Stadsledningskontoret att utreda förutsättningarna till publika installationer i Stockholm och nio förvaltningar och bolag inom Stockholms stad kontaktades. I februari 2006 presenteras *"Solceller på offentliga lokaler i Stockholm stad"* där intressanta projekt på totalt 320 kW<sub>t</sub> pekades ut. I de projekten ingick Stadsteatern, Åkeshovshallen och skolbyggnader i Älvsjö som redan var under planering.

Brandförsvaret gick vidare med projektet och en förstudie för Vällingby brandstation gjordes av Energibanken i juni 2006. Energibanken gjorde även förstudien till Stadsteatern, Älvsjöskolorna (november 2005) och Hovet. Åkeshovshallens förstudie gjordes av Switchpower i oktober 2005.

## 5 Studerade anläggningar

### 5.1 Vällingby brandstation

#### 5.1.1 Presentation

På Vällingby brandstation är en 14 kW<sub>t</sub> stor solcellsanläggning placerad på vagnhallen i anslutning till brandstationen. För att inte modulerna ska skugga varandra är de monterade på ett stålstativ som man ser i Figur 15. De 78 modulerna är av polykristallin typ där varje modul har en topp effekt på 160 W<sub>t</sub>. Hela systemet är orienterat mot sydsydväst.



Figur 15: Solceller på Vällingby brandstation.

Stativet gör att anläggningen är väl synlig från Bergslagsvägen. Det finns även en informationstavla som sitter på brandstationens yttervägg som visar hur mycket el som produceras för tillfället, den ackumulerade produktionen sedan start samt utomhustemperaturen.

De tre växelriktarna av tillverkaren SMA sitter på väggen i garaget i direktanknytning till anläggningen och är kopplade till en logger från samma tillverkare som sänder signalen till utomhustavlan.

**Tabell 1: Sammanställning av data för Vällingby brandstations soleanläggning**

Driftstart	19:e december 2007
Installerad topp effekt	14,04 kW <sub>t</sub>
Area	110 m <sup>2</sup>
Förväntad årsproduktion	10,9 MWh
Systemkostnad / kW <sub>t</sub>	109 kSEK
Systemkostnad, totalt	1,5 MSEK
Systemleverantör	NAPS Sweden AB
Position	N59°22' E17°51'
Modullutning	42°
Anläggningsägare	Brandförsvaret före 1 jan 2009, Fastighetskontoret från och med 1 jan 2009

### 5.1.2 Datainsamling

På Vällingby brandstation har installerats en mätlogger av typen SBC+ från SMA Solar Technology. När man med hjälp av en dator med SMA:s installerade programvara via en usb-kabel kopplar upp sig mot loggern måste man kunna konvertera signalen från RS232 till RS485 för att få kontakt. När man väl har fått kontakt kan man via programmet enkelt ladda hem information med dygnsvis upplösning för var och en av de tre växelriktarna för noggrannare analys. Data sparas i loggern för 370 dagar tillbaka i tiden innan minnet blir fullt och den skriver över de första värdena. Detaljerad information om produktionen finns från den 19 januari 2008. Drifttagningsdatum var den 19 december 2007.

Växelriktare har sämre noggrannhet för mätning av produktionen vid låga effektnivåer, vilket gör att de kan visa upp till 10 procent för mycket. En konventionell elmätare saknas på Vällingby brandstation trots att den ingick i upphandlingen, vilket gör att det är svårt att verifiera de mätvärden som växelriktarna ger.

### 5.1.3 Intern utvärdering av drift

För Vällingby brandstation är det ingen som samlar in data från produktionen. Anläggningen antas rulla och gå som den är tänkt att göra. Då det inte är några rörliga delar i anläggningen är det inte någon som har fått ansvaret för kontrollera funktionaliteten. Efter den första januari 2009 äger inte längre Brandförsvaret sina byggnader utan ansvaret för stationen och soleanläggningen har övergått till Fastighetskontoret.

### 5.1.4 Informationsspridning

Utomhustavlan på Vällingby brandstation fungerar utmärkt. Dock har inte några studiebesök anordnats.

## 5.2 Åkeshovshallen

### 5.2.1 Presentation

Solelsystemet på Åkeshovshallen är uppdelat på två anläggningar. Den större anläggningen visas i Figur 16 och är monterad i 45 graders lutning och orienterad mot sydsydväst på idrottshallens tak. Den består utav 240 stycken monokristallina moduler på vardera 170 W<sub>t</sub>, totalt 41 kW<sub>t</sub>. Den är väl synlig från tunnelbanans gröna linje strax efter att man har lämnat Åkeshovs tunnelbanestation på väg österut.



**Figur 16: Solceller på Åkeshovs idrottshall**

På simhallen i ostsydost är 84 stycken polykristallina moduler monterade direkt på taket med en lutning på 15 grader. Anläggningen är även försedd med en instrålningsmätare. För båda anläggningarna tillsammans blir den totala effekten 53 kW<sub>t</sub>.

De tio växelriktarna är kopplade till en logger av märket Powerlynx som gör det möjligt att kontinuerligt visa upp produktions- och solinstrålningsvärden från anläggningen om loggern kopplas upp mot internet.

**Tabell 2: Sammanställning av data för Åkeshov solelanläggning**

Driftstart	28:e juni 2007
Installerad topp effekt	53,0 kW <sub>t</sub>
Area	400 m <sup>2</sup>
Förväntad årsproduktion	37 MWh
Systemkostnad / kW <sub>t</sub>	54 kSEK
Systemkostnad, totalt	2,8 MSEK
Systemleverantör	Switchpower
Position	N59°21' E17°56'
Modullutning	45° samt 15°
Anläggningsägare	Idrottsförvaltningen

### 5.2.2 Datainsamling

Till Åkeshovshallen är en DLS Web logger installerad men denna är inte inkopplad till det interna nätverket. Med en fungerande Web logger kan man följa anläggningens produktion och solinstrålningen över internet. Det går även att programmera den så att felmeddelanden skickas via mail när anläggningen inte producerar i fas med solinstrålningen.

Energiproduktionen går att avläsas direkt från växelriktarna och detta görs en gång i månaden av personal från Dalkia fastighets-skötsel sedan juni 2008. Månadsvärdena är något varierande i kvalitet då de avlästes i mitten av månaden med några dagars avvikelse. Från och med mars 2009 avläses mätvärdena i början av månaden.

Det finns en konventionell elmätare som felprogrammerades när den installerades så dessa mätvärden stämmer tyvärr inte. Anläggningen togs i bruk 28:e juni 2007.

### **5.2.3 Intern utvärdering av drift**

På Åkeshovshallen är det Dalkia fastighets-skötsel som samlar in data om produktionen och rapporterar till Birgitta Andersson. Systemet har få rörliga delar och det har varit mycket mindre komplicerat med underhåll än vad man förväntade. Anders Pettersson svarar att "Är det några problem (med driften) så brukar man få höra dem". De har inte haft några driftstörningar, men påpekar att anläggningen än är så länge är relativt ny. Man vill gärna se att mätvärdena samlades in automatiskt och kommer in i deras övervakningssystem TREND. Det är även svårt att veta när anläggningen ger maximal produktion.

### **5.2.4 Informationsspridning**

Åkeshovshallen har stött på intresse internt inom Idrottsförvaltningen och förvaltare från andra bolag.

## **5.3 Skolor i Älvsjö**

### **5.3.1 Presentation**

Solelinstallationen i Älvsjö är uppdelad på åtta stycken mindre anläggningar som är placerade på förskolor respektive två stycken större anläggningar placerade på mellanstadieskolor.



**Figur 17: Solceller på förskolan Vindleken**

Storleksexempel på den mindre anläggningen syns i Figur 17 och den större i Figur 18. Alla system är monterade på taket till skolorna med en lutning på 15-40 grader. De mindre anläggningarna är på 2,45 kW<sub>t</sub> och de större är tre gånger så stora på 7,35 kW<sub>t</sub>, totalt 34,3 kW<sub>t</sub>.





**Figur 18: Snötäckta solceller på Centralskolan Al-huda**

Växelriktarna är från tillverkaren Fronius med en inbyggd loggerfunktion och systemen har levererats med mobil display som visar momentan och ackumulerad elproduktion.

**Tabell 3: Sammanställning av data för Älvsjös soleanläggningar**

Driftstart	mars 2007
Antal anläggningar	10 st
Installerad topp effekt	34,3 kW <sub>t</sub>
Area	234 m <sup>2</sup>
Förväntad årsproduktion	25,0 MWh
Systemkostnad / kW <sub>t</sub>	77 kSEK
Systemkostnad, totalt	2,6 MSEK
Systemleverantör	Switchpower
Position	N59°16-17' E17°58'- 18°02'
Modullutning	16° till 40°
Anläggningsägare	SISAB, Skolfastigheter i Stockholm AB

### 5.3.2 *Datainsamling*

Varje skola är försedd med en konventionell elmätare som gör att man enkelt kan avläsa hur mycket el som har producerats.

### 5.3.3 *Intern utvärdering av drift*

För de tio förskolor och skolor i Älvsjö finns det inga rutiner insamling av produktionsdata eller utvärdering av drift, varför någon sådan heller inte skett.

### 5.3.4 *Informationsspridning*

Solcellsanläggningarna i Älvsjö har visats upp vid åtskilliga tillfällen.

## 5.4 *Stadsteatern*

### 5.4.1 *Presentation*

Anläggningen består av 184 stycken monokristallina moduler och är installerad enligt figur 19 på lanterninerna på Stadsteaterns tak. Det har nära en optimal vinkel där de är monterade 45 graders lutning och med en orientering i sydsydost.



**Figur 19: Solceller monterade på lanterniner på Stadsteaterns tak**



**Figur 20: Fronius växelriktare**

De sex växelriktarna är kopplade till en Fronius-logger som läser av produktionen var femtonde minut och sänder data vidare till en dator som driftspersonalen har tillgång till.

**Tabell 4: Sammanställning av data för Stadsteatern solelanläggning**

Driftstart	23:e augusti 2007
Installerad toppeffekt	32,2 kW <sub>t</sub>
Area	286 m <sup>2</sup>
Förväntad årsproduktion	27,6 MWh
Systemkostnad / kW <sub>t</sub>	69 kSEK
Systemkostnad, totalt	2,2 MSEK
Systemleverantör	Switchpower
Position	N59°20' E18°04'
Modullutning	45°
Anläggningsägare	Fastighetskontoret i Stockholm

#### **5.4.2 Datainsamling**

Mätvärden från växelriktarna samlas var femtonde minut och lagras i en dator som har kopplats till loggern. Mätvärdena är tillgängliga för driftspersonalen via en speciallösning där man kopplar upp sig mot datorn som tar emot mätvärdena. Denna dator ska även förse en skärm i entrén med mätvärden för publik återkoppling av produktionen.

### 5.4.3 Intern utvärdering av drift

På Stadsteatern har avläsningar av den konventionella elmätaren endast gjorts i samband med att årsproduktionen skulle rapporteras in till länsstyrelsen.

### 5.4.4 Informationsspridning

På Stadsteatern har man haft minst 10 stycken studiebesök, både utifrån och internt. Det är även meningen att den display som sitter i entrén ska visa upp momentan och ackumulerad produktion och på så sätt väcka intresse, men displayen har inte fungerat som avsett.

## 5.5 Hovet

### 5.5.1 Presentation



**Figur 21: Tunnfilmssolceller utrullade på Hovets tak**

Anläggningen på Hovets tak skiljer sig från de andra anläggningarna genom att den består av tunnfilmssolceller av amorft kisel. Solcellerna är integrerade i ett takmembran av PVC och EVA. I och med att amorft kisel har använts som har en lägre verkningsgrad än kristallint kisel har ytan ökat till 1080 m<sup>2</sup> för 51 kW<sub>t</sub>. Lutning på taket är 10 grader med en rakt sydlig orientering.

Växelriktaren är en Fronius av master/slave-typ som består av 15 mindre växelriktare.

**Tabell 5: Sammanställning av data för Hovets soleanläggning**

Driftstart	20:e juni 2007
Installerad topp effekt	51,4 kW <sub>t</sub>
Area	1080 m <sup>2</sup>
Förväntad årsproduktion	47,6 MWh
Systemkostnad / kW <sub>t</sub>	63 kSEK
Systemkostnad, totalt	3,4 MSEK
Systemleverantör	Söderbergs Yttertak / Alwitra
Position	N59°18' E18°05'
Modullutning	10°
Anläggningsägare	Globe Arenas

### 5.5.2 Datainsamling

Hovet har en konventionell elmätare som manuellt avläses av driftpersonal varje månad. Anläggningen saknar solinstrålningsmätare och logger till växelriktaren.

### ***5.5.3 Intern utvärdering av drift***

Hovet har sedan produktionsstart kontinuerligt läst av sin elmätare månadsvis. Produktionen visar att anläggningen är i drift. Om det skulle bli några störningar upptäcks inte dessa förrän vid månadsskiftena. Driftmässigt är man väldigt positiv.

### ***5.5.4 Informationsspridning***

Hovet har haft cirka 15 stycken studiebesök till exempel nyligen från personer som ska börja arbeta med installation av tunnfilmssolceller.

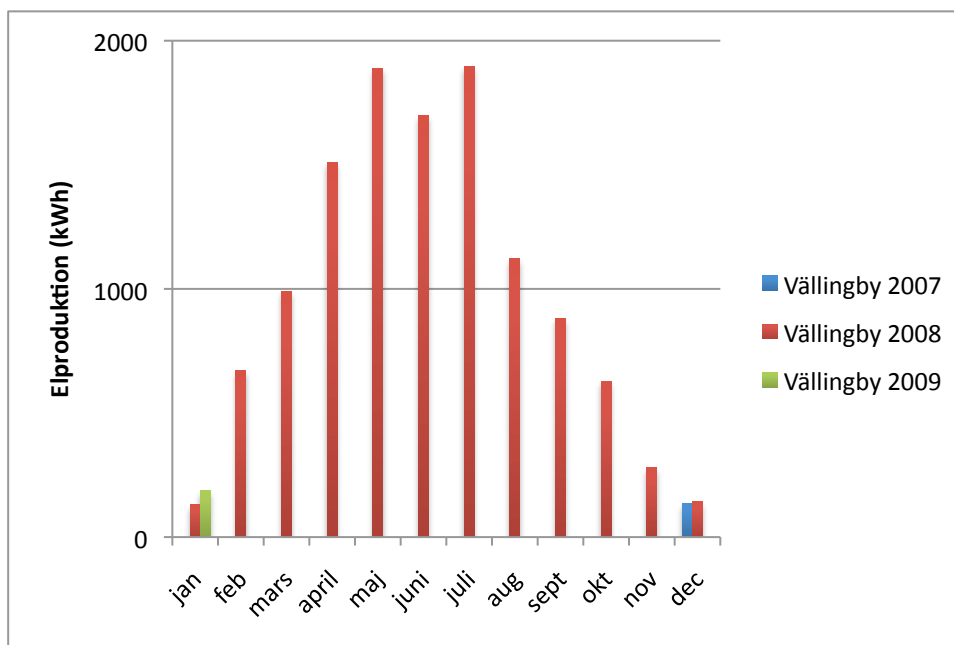
## 6 Resultat och analys

### 6.1 Elproduktion

Totalt har anläggningarna producerat 227 000 kWh från installation fram till månadsskiftet februari-mars 2009. Anläggningarna har en sammanlagd produktionstakt på cirka 150 000 kWh per år vilket är något över den samlade förväntade produktionen per år som var projekterad till 148 000 kWh.

#### 6.1.1 Vällingby brandstation

Vällingby brandstation hade mellan den 19 december 2007 och 25 januari 2009 producerat 12 150 kWh. Produktionen uppdelad per månad visas i Figur 22.



**Figur 22: Månadsvis produktion från Vällingby brandstation.**

Vällingby har ingen elmätare att normera den elproduktion som visas från växelriktare och logger, varför uppgifterna är något osäkra.

Den förväntade produktionen på 11 700 kWh per år är baserad på att 15 kW<sub>t</sub> skulle installeras. I detta fall installerades 14 kW<sub>t</sub> varför den förväntade produktionen kan skalas ned till 10 900 kWh per år. Under 12-månadersperioden februari-08 till januari-09 producerade anläggningen 11 900 kWh, vilket är 9 procent över det förväntade värdet.

Den årliga avkastningen,  $Y_f$  (defineras under punkt 2.1.2), under samma period var 847 kWh/kW<sub>t</sub>.

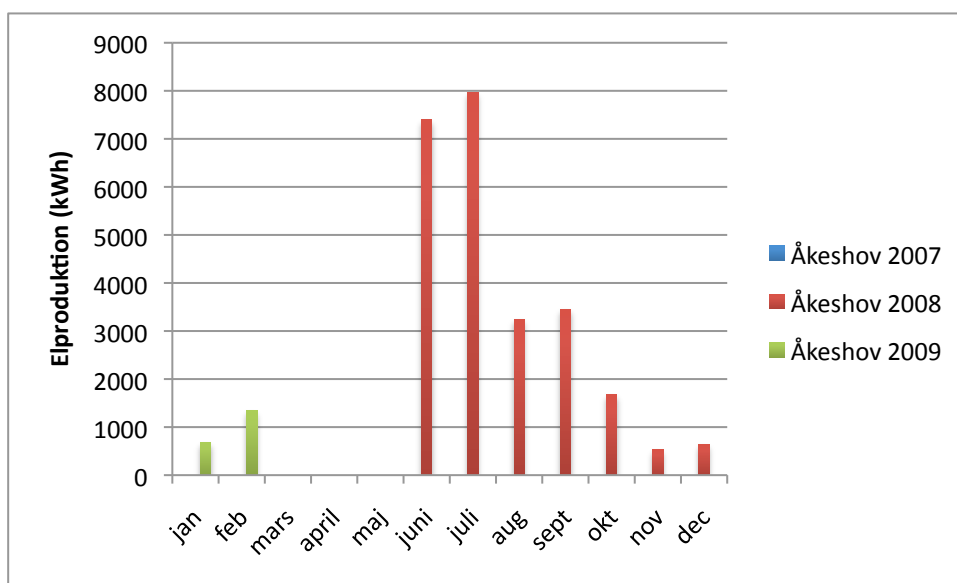
Vid utvärdering av data från växelriktarna upptäcktes ett fel med anläggningen. Det var en av strängarna som inte producerade någon el alls. Anläggningen har därför ett bortfall av produktion på cirka 1 900 kWh från den 11 mars 2008 till årets slut. Vid full produktion hade

den årliga avkastningen varit hela 979 kWh/kW<sub>t</sub> vilket är exceptionellt högt. Detta föranleder misstankar om att växelriktarna visar väl höga produktionsvärden.

Anläggningen visar även en sänka i produktionen i juni som är svår att förklara då resterande anläggningar i rapporten visar på värden för juni som ligger mellan maj och juli.

### 6.1.2 Åkeshovshallen

Åkeshovshallen producerade 71 600 kWh mellan den 28 juni 2007 och 31 januari 2009. Produktionsdata från och med juni-08 är uppdelad per månad och visas i Figur 23. Månadsdata är något varierande i kvalitet beroende på att de inte har lästs av vid samma datum varje månad. Från och med mars 2009 avläses produktionsdata i början på månaden.



Figur 23: Månadsvärden från Åkeshovshallen.

En uppskattad produktion på 48 350 kWh under det första året ger en  $Y_f$  på 920 kWh/kW<sub>t</sub>. Detta är för båda anläggningarna sammanlagt ett högt värde då den mindre anläggningen på simhallen är placerad i en sämre vinkel och riktad mot ostsydost. Det är troligt att växelriktarna visar för höga värden.

Den förväntade produktionen var 37 000 kWh per år, vilket med stor sannolikhet har överskridits under anläggningens första år.

### 6.1.3 Skolor i Älvsjö

I de tio förskolorna och skolorna i Älvsjö har fram till februari 2009 totalt 50 050 kWh producerats sedan starten i mars 2007. Nio stycken av anläggningarna har en  $Y_f$  på 714-784 kWh/kW<sub>t</sub> vilket visas i Tabell 6. Förskolan Äppelängen har enligt uppgift från driftspersonalen haft problem men de har åtgärdats.

Anläggningarna driftsattes under våren 2007 och driftsättningsdatum är i vissa fall antecknade i drift- och installationspärmerna vid respektive anläggning.

Förväntad produktion var 25 000 kWh per år och anläggningarna har trots att det andra året inte är fullgjort redan producerat två förväntade årsproduktioner.

**Tabell 6: Produktionsdata för skolor i Ävlsjö.**

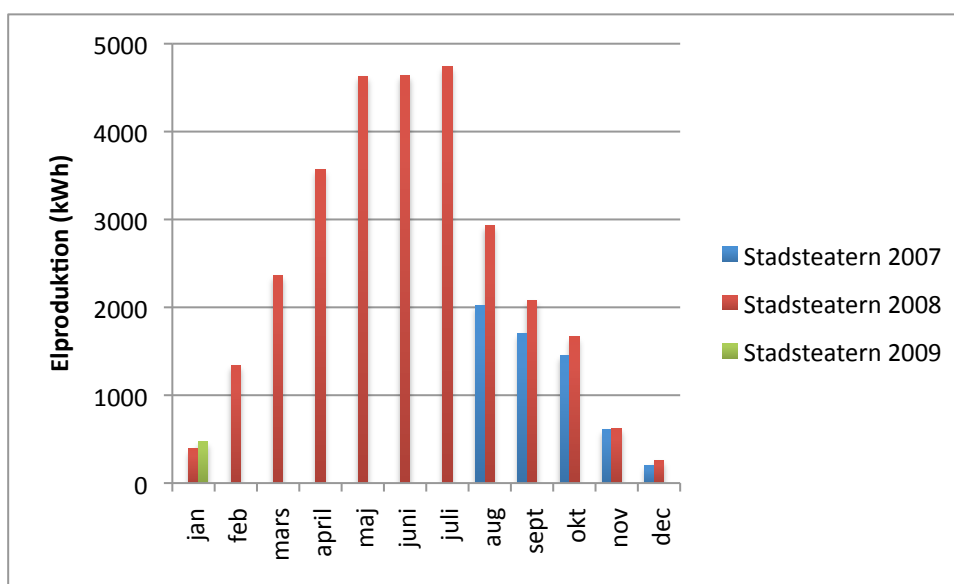
Skola	kWh/kW <sub>t</sub> per år	Producerade kWh, totalt
Vindleken	784	3841
Trollsländan	776	3800
Ekängskolan	768	3765
Sylvester	763	3737
Herrängen	745	10948
Muminstugan	740	3626
Emilia	721	3532
Citrusgården	715	3505
Al-Huda	714	10500
Äppelängen	534	2617

Skolorna Al-Huda och Herrängen har tre gånger större installerad effekt jämfört med de övriga vilket förklarar de högre produktionsvärdena. På Herrängen har en modul blivit krossad när någon vandal troligtvis gått eller hoppat på anläggningen.

Alla skolor är utrustade med både konventionell elmätare och en Fronius-logger. Vid en jämförelse mellan verkliga produktionsdata och loggerns värde visade loggern kontinuerligt 8-11 procent för mycket. Loggerns utdata går att justera med hjälp av Fronius-mjukvara så att värdena stämmer bättre överens med den konventionella elmätarens.

#### 6.1.4 Stadsteatern

Anläggningen har sedan start producerat 36 700 kWh, månadsdata redovisas i Figur 24. Under år 2008 visar verifierade data på en årlig avkastning på 908 kWh/kW<sub>t</sub>, vilket är högt men rimligt för Mälarenregionen (se figur 10).



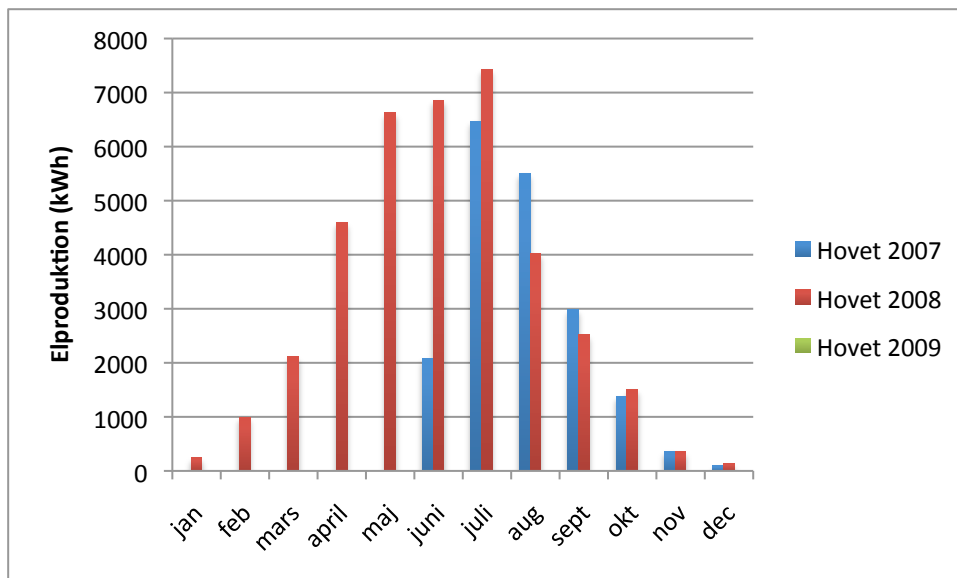
**Figur 24: Månadsvärden från Stadsteatern.**

Den förväntade produktionen från anläggningen är 27 600 kWh per år. Under 2008 producerade den 29 200 kWh, vilket är cirka 6 procent över riktvärdet. Produktionsvärdena är verifierade och ett skäl till att den producerade energin överstiger den förväntade kan vara att modulerna levererar högre  $W_t$  än vad de är normerade till.

Genom att använda sig av STRÅNG för ett värde på solinstrålning för Stadsteaterns tak samt PVSYST för att korrigera för modulernas lutning kan man kalkylera PR för 2008 till 73 procent. Då ingen hänsyn till skuggor från närliggande byggnader har tagits ligger värdet inom felmarginalen för normala värden på PR, 75-85 procent, vilket visar att anläggningen fungerar som den är tänkt att göra.

### 6.1.5 Hovet

Den takintegrerade solcellsanläggningen av amorftkisel på Hovet har hittills producerat 57 100 kWh. Månadsvärdena är redovisade i figuren nedan. Under 2008 var den sammanlagda produktionen 37 400 kWh vilket var 10 200 kWh mindre än den förväntade produktionen.



**Figur 25: Månadsvärden från Hovet.**

Genom att kombinera STRÅNG och PVSYST på samma sätt som för Stadsteatern i föregående avsnitt fås PR till 64 procent. Här har inte heller någon hänsyn till skuggorna tagits vilket visas i Figur 26 där anläggningen skuggas av närliggande byggnader och master för telekommunikation.



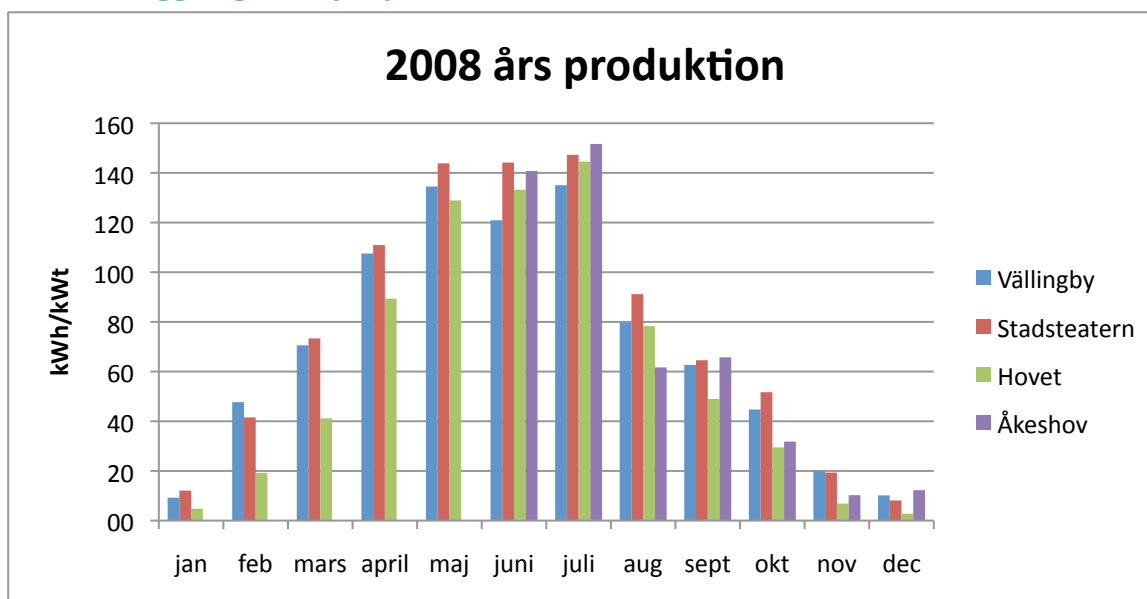


**Figur 26: Skugga över Hovet. De rödfärgade ovalerna visar solcellsanläggningens ungefärliga utbredning. Källa: Eniro**

En annan förklaring till den mycket lägre produktionen kan vara att den förväntade produktionen var för högt räknad. Den förväntade årliga produktionen,  $Y_f$  för Hovet är 926 kWh/kW<sub>t</sub> vilket är högre än för Stadsteatern som har en fördelaktigare lutning, är mindre störd av omliggande skuggor och använder sig av beprövade monokristallina moduler.

Under 2008 uppnår Hovet en  $Y_f$  på 728 kWh/kW<sub>t</sub>.

### 6.1.6 Anläggningarna i jämförelse



**Figur 27: Produktionsdata för Vällingby, Stadsteatern, Hovet och Åkeshov normerat med den installerade effekten för varje anläggning.**

I Figur 27 visas de fem anläggningars  $Y_f$  per månad. Vällingbys, Stadsteaterns och Åkeshovs system är uppbyggda på liknande sätt och kan därför jämföras rakt av. Hovets anläggning som endast har en vinkel på 10 grader förlorar i produktion jämfört med de andra anläggningarna under de månader som solen står lågt men bör ligga över genomsnittet under sommarmånaderna.

Vällingby visar upp ett oförklarligt tapp i juni och även något lägre siffror jämfört med Stadsteatern efter den 11 mars då en sträng faller bort.

Åkeshov har en periodtid som är förskjuten med cirka en halvmånad framåt i tiden och den manuella avläsningen gör att mätvärdena till synes inte är riktigt korrekta för augusti och september.

## 6.2 Motiv för uppförandet av anläggningarna

Rickard Skoog vid Brandförsvaret anger att de aldrig skulle ha kommit på idén med solceller utan att bli föreslagna i utredningen som nämns i stycket ovan. Brandförsvaret arbetar löpande med interna energifrågor och ställde gärna upp som pilotanläggning. Löftet att de skulle få 100 procents teckning för kostnaderna bidrog till intresset. Anläggningen är sedd som en testanläggning för staden med en tydlig exponering mot Bergslagsvägen.

Birgitta Andersson vid Idrottsförvaltningen pekar på att Åkeshovs anläggning var ett resultat av samarbetet mellan Ingrid Nerman och Elvy Löfenberg. Det som legat i grunden är en nyfikenhet på hur solceller fungerar ur ett förvaltarperspektiv. Man ville ha erfarenhet från underhåll och drift och det var aldrig en ekonomisk fråga.

Thomas Bäcklin vid Skolfastigheter i Stockholm (SISAB) uppger att det fanns ett intresse att pressa ner energianvändningen för offentliga lokaler i Älvsjö. Genom Stockholms stads satsning Miljömiljarden fick man möjlighet att investera i solceller. Målet var att utvärdera systemaspekterna av solcellsanläggningar och om de fungerade ihop med de byggnader och den verksamhet som drevs i skolorna.

Gunnel Bodin vid Fastighetskontoret förklarar att idén till solcellsanläggningen väcktes av konsultfirman Thorsten Palmqvist. Genom att ta med driftpersonal på en studieresa till Berlin visade man dem hur lättskött, renligt och snyggt det var med solceller. Därefter stötte man inte på något motstånd internt. En av idéerna var att göra produktionsresultaten publika genom en display i entrén till Kulturhuset. Det fanns även specifika mål i producerade kWh.

Mats Grönlund vid Stockholm Globe Arena Fastigheter (SGA Fastigheter) säger att det var mycket tack vare Mats Andersson på Energibanken som anläggningen blev av. På köpet fick man även ett tätare tak.

## 6.3 Fortsatt satsning

Alla anläggningsägare är positiva till framtida solcellsinstallationer, men ser hinder i de stora kostnader som en installation utgör. Samtliga anläggningsägare uppger att de gärna ser installation av så stora anläggningar som möjligt för att få ned engångskostnaderna vid installation och maximera elproduktionen.

För SISAB är ägandefrågan ett problem. I och med att anläggningen sitter fast på taken på skolorna är det enligt jordabalken SISAB som äger anläggningarna medan den producerade energin tillfaller verksamheten/skolorna. Det finns även frågetecken angående om hur och vem som ska stå för underhåll och service eftersom solcellerna fungerar inte som andra installationer där det finns inarbetade rutiner och avtal. Dessa problem bör enkelt kunna undanröjas via mätning av elproduktionen och ett avtal mellan parterna.

När solceller är konkurrenskraftiga på egna meriter ser Mats Grönlund vid SGA Fastigheter inte några begränsningar av hur stora takanläggningar man kan installera och tycker att man borde

passa på att installera integrerade solceller när man lägger takduk på exempelvis lagerbyggnader.

Idrottsförvaltningen tittar för tillfället närmare på solvärme för att värma sina simbassänger.



## 7 Diskussion

### 7.1 Ekonomi

En fullt fungerande och optimalt placerad anläggning i Stockholmsområdet producerar 27 000 kWh per installerad kW<sub>t</sub> under 30 års tid. Investeringskostnaden för anläggningar större än 10 kW<sub>t</sub> ligger på cirka 45 kSEK per kW<sub>t</sub> vilket med 60 procent statligt stöd ger en kostnad på 18 kSEK per kW<sub>t</sub>. Livslängden för solcellerna beräknas till minst 30 år och växelriktarna till cirka 15 år. Kalkylen måste då innehålla ett växelriktarbyte efter 15 år. Kostnaderna för drift och underhåll är väldigt låga i de fall där övervakningssystem med automatiska larm har installerats.

Då systemen har så pass lång livslängd har räntan en stor inverkan på när investeringen kan räknas hem. För att åskådliggöra den långa livslängden så kan man göra liknelsen att fastighetsägaren köper el till en fast kostnad för de närmaste 30 åren. Om det gick att binda sitt elpris hos sin elleverantör under en så lång tid, vad skulle det kosta? Med priserna ovan, inklusive stöd, en ränta på 4 procent och ett växelriktarbyte efter halva tiden så blir kostnaden per kWh 1,3 SEK i fast kostnad de närmaste 30 åren.

### 7.2 Subventioner

Under årets första månader så har det inte funnits något stöd för solceller i Sverige och därför har marknaden helt stannat av. Utan en fortsättning på stödet för investeringskostnaden så skulle den svenska marknaden återgå till att endast förse fristående applikationer med solceller. Men det föreslagna systemet premierar inte att man dimensionerar system så att de producerar så mycket energi som möjligt per investerad krona som feed-in-tariff systemet gör. I feed-in-tariff systemet så dimensioneras systemet inte efter största möjliga yta som går att installera utan istället efter den kombination av växelriktare som är mest optimal för de premisser som råder och därefter räknas antalet moduler fram. Det ligger även i systemägarens högsta intresse att systemet är fullt funktionellt för att inte gå miste om några kWh.

### 7.3 Dimensionering och produktionsöverskott

Nätansluta system balanseras, som namnet skvallrar om, mot nätet. Det är då viktigt att informera sin nätägare att det har installerats en produktionskälla som har möjlighet att mata ut el i nätet. Men hur bör ett system dimensioneras? Det är så klart en ekonomisk fråga då en större anläggning i regel blir billigare per kW<sub>t</sub>. Som övre tak ses effektbehovet, också här som en ekonomisk fråga då en köpt kWh är cirka dubbelt så dyr som en producerad kWh som säljs tillbaka till nätägaren. Denna fråga adresserades i nätutredningen som gav som förslag att småskalig produktion av förnyelsebar el ska få kvitta sin produktion mot sin månadsvisakonsumtion. På det sättet blir sommarmånadernas konsumtion dimensionerande för solcellsanläggningen.

Då nätet och solcellssystemet är fullt integrerade i varandra kan man inte säga att den producerade elen används för några specifika ändamål. Men det går att jämföra den producerade mängden med specifik konsumtion inom fastigheten för att tydliggöra solcellernas

koppling till fastigheten. Det är lämpligt ur marknadsföringssynpunkt som till exempel har tagits till vara på av Hovet som kommunicerar ut att deras solcellsanläggning under ett år producerar lika stor mängd el som går åt för fasadbelysningen till Globen.

## 7.4 Mätavgifter och produktionsöverskott

Nätutredning kritiserade även dagens system med höga mätkostnader för småskaliga elproducenter. För solcellsanläggningar i Sverige så har det inte lönat sig att mäta det eventuella överskott som man matar ut på nätet i de fall när produktionen överstiger konsumtionen. Anläggningarna har efter överenskommelse med nätägaren matat ut el på nätet och endast i få fall har elmätaren "gått baklänges". På Energitinget 2009 uppdagades det genom Elisabeth Kjellsons undersökning från Lunds Tekniska Högskola att merparten av de moderna elmätare som installerats under de senaste åren räknade upp konsumtionen när solcellsystemen matade ut el på nätet [*sic!*].

## 7.5 Specifika problem och lösningar

### 7.5.1 Förenklad mätdatainsamling för befintliga anläggningar

I dagsläget är det inte någon av anläggningarna som automatiskt levererar mätdata. För Åkeshov är tjänsten beställd och förberedd men ännu inte implementerad. Genom att ställa krav på systemleverantören bör detta snabbt kunna åtgärdas.

För att enkelt komma till rätta med datainsamling för de stora anläggningarna som återstår föreslås att Vällingby, Statsteatern och Hovet förses med elmätare med GPRS-modem för direkt kommunikation med en central databas. Kostnaden blir cirka 4000 kronor, plus 1000 kronor i abonnemang per år. Denna kostnad är per anläggning och prisuppgiften kommer från Rejlers Energitjänster AB.

I och med den rangordning av stora och små system lämnas Älvsjöanläggningarna till lärare och skolbarn att i samband med utbildningen följa upp produktionen.

### 7.5.2 Avsaknaden av systembeskrivning

Det fel som hittades på Vällingby Brandstation hade varit väldigt svårt att upptäcka utan information om hur systemet är uppbyggt. I det utrymme där växelriktare är placerade kan det vara bra att placera en pärm med information om vilka delar som ingår i systemet, kopplingscheman för elektroniken och så vidare.

### 7.5.3 Produktionsbortfall

När ansvaret delas mellan hyresgäst och fastighetsägare kan man hamna i situationer som inte har en enkel lösning om man inte har ett avtal mellan parterna.

Den trasiga modulen på Herrängenskolan påverkar den sträng av moduler som den ingår i och sänker utbytet av energiproduktionen för en tredjedel av anläggningen. Detta påverkar hyresgästen menligt men inte fastighetsägaren SISAB. Vem ska då betala för den krossade modulen och den arbetskostnad det innebär att byta ut den?

#### **7.5.4 Beställarrollen**

Det är svårt att vara beställare av ny teknik. Genom den erfarenhet Stockholms stad har skaffat sig via dessa fem anläggningar kan man centralt hjälpa till vid upphandling av nya solcellsanläggningar.

#### **7.6 Långsiktigt tänkande**

Som stor beställare har man även ett stort ansvar att stödja en utveckling i Sverige för ny miljövänlig energiteknik, till exempel solceller. Efter ett långvarigt stödsystem som utvecklade den inhemska marknaden, som i sin tur utvecklade den inhemska industrin, är Tyskland idag världsledande inom solcellsindustrin. Sverige har fortfarande chansen med mycket forskning att bli världsledande, men detta kräver bland annat beställare som vill och vågar gå före genom att testa tekniken i större skala. För att få ner den specifika kostnaden krävs såväl ytterligare teknisk utveckling och mer rationella tillverkningsmetoder av själva solcellerna som lägre bygg- och installationskostnader. Detta förutsätter i sin tur att fabrikanter och entreprenörer får medel för sådan utveckling, främst i form av en ökad efterfrågan. Vi måste hjälpa till i början för att få marknadsmekanismerna att fungera och då bör de stora beställarna gå före.

Vi måste gå mot miljömässigt hållbara lösningar och vad är då mer hållbart än att tillämpa solel. Av dessa orsaker ligger också den internationella marknaden öppen för svenska solelkomponenter och -system. Det finns såväl unika kunskaper som bra produkter i Sverige.





## 8 Rekommendationer och slutsatser

### 8.1 Rekommendationer för framtida projekt

#### 8.1.1 Upphandling

Det finns idag en begränsad skara konsulter och systeminstallatörer som alla har gott renommé som gärna hjälper till med förstudier och projektering av anläggningar. Som beställare blir projekten oftast mer lyckat ju mer kunskap man själv besitter. SolEI-programmet har ett överskådligt projekteringsverktyg på sin hemsida (Projekteringsverktyg 2009) som en beställare kan och bör utnyttja vid planer på upphandling av solcellssystem.

För anläggningar större än 10 kW<sub>t</sub> bör alltid en referenscell installeras samt ett övervakningssystem som ger möjlighet till driftuppföljning via internet. Detta ger även möjlighet till att nå en större publik via länkar från Stockholms stads hemsida. För allmänheten blir det då mycket enkelt att följa produktionen. Vidare bör alltid en konventionell elmätare installeras för att kontrollera att växelriktarna visar korrekt produktion.

#### 8.1.2 Drift

Det är viktigt att de personer som är ansvariga för driften förstår de grundläggande faktorer som inverkar på energiproduktionen (se kapitel **Error! Reference source not found.**). Detta för att åtgärda uppväxande träd som skuggar anläggningar eller förhindra olyckliga placeringar av nya teleantennar eller liknande.

Växelriktaren bör kontrolleras regelbundet och driftpersonalen bör ha kunskap om olika felmeddelanden. Många växelriktarsystem är inte designade för de perioder för gryning och skymning vi har i Sverige och kan därför ge felmeddelanden med hänvisning till att det tar för lång tid för systemet att fasa in och ut på nätet.

#### 8.1.3 Uppföljning

Anläggningarna bör besiktigas enligt punkt 2.6 Mätning efter driftsättning för kontroll av att hela systemet är driftsatt och fungerar optimalt.

Data från anläggningen bör analyseras under vinter/vår innan produktionssäsongen tar vid för att upptäcka eventuella fallerade länkar.

## 8.2 Slutsatser

Stockholm stads solcellsanläggningar har producerat enligt den förväntade produktionen.

Solcellsanläggningar kräver väldigt lite underhåll. Därför bör anläggningarna utrustas så att man får ett larm vid bristfällig funktion. Det är viktigt att varje år kontrollera att anläggningen är i full drift innan produktionssäsongen träder i kraft.

Anläggningsägarna är positivt inställda till sina anläggningar.

Anläggningarna uppfattas som dyra och med lång återbetalningstid.

Stockholms stad bör centralt hjälpa till kunskapsmässigt vid upphandling av system för att på ett enklare sätt än idag få en publik återkoppling. Genom att skapa en mer direkt återkoppling av elproduktionen visar man på att miljövänlig energiteknik fungerar idag och tydliggör sin roll som en föregångare i samhället.

## 9 Referenser

Andersson, Birgitta. "Idrottsförvaltningen, Stockholms stad." *Intervju*. (den 16 februari 2009).

Andersson, Mats, och Jonas Hedström. *Solceller på offentliga lokaler i Stockholms stad*. Energibanken i Jättendal AB, 2006.

Bäcklin, Thomas. "SISAB, Stockholms stad." *Intervju*. (den 16 februari 2009).

Bodin, Gunnel. "Fastighetskontoret, Stockholms stad." *Intervju*. (den 17 februari 2009).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)*.  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verguetungssaetze\\_nach\\_eeg.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verguetungssaetze_nach_eeg.pdf).

Energitinget. *Energitinget - session 7*. 2009.  
<http://www.webbtinget.se/index.php?page=session&year=2009&session=7>.

ESMD - Technology Outline. [http://re.emsd.gov.hk/english/solar/solar\\_ph/solar\\_ph\\_to.html](http://re.emsd.gov.hk/english/solar/solar_ph/solar_ph_to.html).

First, Solar. <http://investor.firstsolar.com/phoenix.zhtml?c=201491&p=irol-newsArticle&ID=1259614&highlight> .

Grönlund, Mats. "SGA fastigheter." *Intervju*. (den 17 februari 2009).

Green, Martin. *Från Solljus till elektricitet*. 2002.

Håkansson, Håkan, Bengt Hellström, och Björn Karlsson. *Mätning och simulering av temperaturens inverkan på prestandan hos byggnadsintegrerade solceller*. Elforsk, 2008.

Hedström, Jonas, och Linus Palmblad. "Performance of old PV modules - Measurement of 25 years old crystalline silicone modules." 2006.

Hedström, Sjöström et al. "Switchpower." *Intervjuad*. (den 11 februari 2009).

Holmkvist, Johan, och Staffan Bengtsson. "Energimagasinet - Svensk solenergi, en planta på tillväxt." <http://www.energimagasinet.com/>. 01 2009.

Juslin, Bo. "ÅF." *Intervju*. (den 10 december 2008).

Kjellsson, Elisabeth. "Lunds Tekniska Högskola." *Intervju*. (den 4 mars 2009).

Löfgren, Lars. "Rejlers Energitjänster AB." *Intervju*. (den 19 mars 2009).

Lenardic, Denis. *Large-Scale Photovoltaic Power Plant*. pvresources.com, 2008.

Lindén, Assar, intervjuad av Intervju. *Boverket* (den 16 mars 2009).

Martinsson, Carina, och Anders Lindén. "Byggnadsintegrerade solceller på två JM-fastigheter i Sickla Udde." 2005.

Nilsson, Christer. "Fastighetsskötare, Stadsteatern." *Intervju*. (den 25 11 2008).

Palmberger, Brigitta, och Maria Hall. *Solceller - Teknik, marknad och svensk forskning 2000-2005*. Statens energimyndighet, 2007.

Palmblad, Linus. "Energimyndigheten." *Intervju*. (den 23 mars 2009).

Projekteringsverktyg, SolEI-programmet. "Byggnadsintegrerade solceller - från idé till drift." 2009. <http://solelprogrammet.se/Projekteringsverktyg/> (använd den 31 mars 2009).

PVPS. *Compared assessment of selected enviromental indicators of PV electricity in OECD cities*. PVPS Task10, 2006.

Ridell, Bengt. "Grontmij." *Intervju*. (den 4 mars 2009).

Selhagen, Leif. "Naps systems." *Intervju*. (den 20 november 2008).

Skötsel, solelprogrammet.se-. <http://www.solelprogrammet.se/Projekteringsverktyg/Skotsel/>.

Skoog, Rickard. "Brandförsvaret." *Intervju*. (den 25 februari 2009).

SMHI, STRÅNG. *STRÅNG- a mesoscale model for solar radiation*. <http://produkter.smhi.se/strang/> (använd den 31 mars 2009).

*Solar Generation V*. EPIA, 2008.

Solarbuzz. 2009. <http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2009-intro.htm>.

SolEI, Driftuppföljningsdatabasen. *Driftuppföljningsdatabasen*. 2009. <http://www.elforsk.se/solenergi/Default.aspx>.

Temperaturberoende, Solelprogrammet.se. <http://www.solelprogrammet.se/Projekteringsverktyg/Moduler/#Temperaturberoendet>.

Westerberg, Lars. "Fastighetskontoret, Stockholm." *Intervju*. (den 13 03 2009).

## Bilaga

För läsare av den digitala rapporten kan länkarna nedan hänvisa till de enskilda anläggningarna där produktionsdata finns i Driftdatabasen från SolEI-programmet.

Vällingby:

[http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl\\_id=6846](http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl_id=6846)

Åkeshovshallen:

[http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl\\_id=6831](http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl_id=6831)

Exempel för Skolor i Älvsjö, Herrängen:

[http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl\\_id=6875](http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl_id=6875)

Stadsteatern:

[http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl\\_id=6832](http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl_id=6832)

Hovet:

[http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl\\_id=6817](http://www.elforsk.se/solenergi/ViewPlant.aspx?pl_id=6817)

Solinstrålningsdata från STRÅNG - SMHI för Bromma

<http://produkter.smhi.se/strang/extraction/index.php?data=tmsrs&lev=3>

**Parameter:**

**From:**

**To:**

**Latitude:**  **Longitude:**

Bromma	År	kWh/m <sup>2</sup>
	1999	1032,2
	2000	990,0
	2001	973,2
	2002	1086,8
	2003	1017,2
	2004	992,0
	2005	1013,8
	2006	1023,8
	2007	974,0
	2008	1007,3
Medelvärde		1011,0

## Energy

	Produktion, kWh		Total effekt, Stockholm	Årsproduktion	Förväntad produktion
Vällingby	12153		184,50	12636	10,9
Stadsteatern	36697			29240	27,6
Hovet	57135			37398	47,6
Älvsjö	50050			27440	25
Åkeshov	71595			44647	37
	<b>227630</b>			<b>151361</b>	<b>148,1</b>
14,04	<b>Vällingby</b>	Endast loggade värden, elmätare saknas			
	2007	2008	2009		
jan		129,5	186,4		
feb		669,4			
mars		990,7			
april		1509,7			
maj		1888,6			
juni		1697,7			
juli		1895,9			
aug		1120,6			
sept		880,2			
okt		627,9			
nov		279,8		Totalt	
dec	134	142,6		<b>12153</b>	
<b>Final Yield</b>		<b>843</b>		11889,5	Under ett år
				847	
32,2	<b>Stadsteatern</b>				
	2007	2008	2009		
jan		<b>389,0</b>	<b>472,0</b>		
feb		<b>1338,0</b>	1006,0		
mars		<b>2362,0</b>			
april		<b>3572,0</b>			
maj		<b>4632,0</b>			
juni		<b>4642,0</b>			
juli		<b>4742,0</b>			
aug	<b>2020,0</b>	<b>2936,0</b>			
sept	<b>1702,0</b>	<b>2079,0</b>			
okt	<b>1451,0</b>	<b>1665,0</b>			
nov	<b>606,0</b>	<b>622,0</b>		Totalt	
dec	<b>200,0</b>	<b>261,0</b>		<b>36697</b>	instrålning
<b>Final Yield</b>		<b>908,1</b>		29240,0	lutande plan PR
					1241 0,7317281
51,4	<b>Hovet</b>				
	2007	2008	2009		
jan		244	155		
feb		987	704		
mars		2 116			
april		4 594		instrålning	
maj		6 627		lutande plan PR	
juni	2 077	6 847		1131,5	0,643029208
juli	6 472	7 429			
aug	5 505	4 025			
sept	2 982	2 519			

## Energy

okt	1 384	1 515				
nov	362	352			Totalt	
dec	96	143			57135	
<b>Final Yield</b>		<b>727,6</b>			37398	
kWtopp <b>Endast loggade värden, elmätare felprogrammerad</b>						
	52,56	<b>Åkeshov</b>			Anläggningen togs i drift 28 juni 2007	
	2007	2008	2009			
jan				687		
feb				1340		
mars						
april						
maj					44647	
juni		7 400				
juli		7 971				
aug		3 242				
sept		3 455				
okt		1 671				
nov		538				
dec		644			71595	
<b>Final Yield</b>		<b>474,1</b>				
		<b>snarare</b>				
		<b>849,4</b>				
kWtopp						
	34,3	<b>Älvsjö</b>				
	2007	2008	2009		KWh	
jan				Sylvester	3737	
feb				Äppelängen	2617	
mars				Citrusgården	3505	
april				Al-Huda	10500	
maj				Trollsländan	3800	
juni				Emilia	3532	
juli				Muminstuga	3626	
aug				Ekängskolan	3765	
sept				Herrängen	11127	
okt				Vindleken	3841	
nov				<b>Summa</b>	<b>50050</b>	
dec						756,9387755
Final Yield					729,5918367	
	Vällingby	Stadsteatern	Hovet	Åkeshov		
jan	9,2	12,1	4,7			
feb	47,7	41,6	19,2			
mars	70,6	73,4	41,2			
april	107,5	110,9	89,4			
maj	134,5	143,9	128,9			
juni	120,9	144,2	133,2	140,8		
juli	135,0	147,3	144,5	151,7		
aug	79,8	91,2	78,3	61,7		
sept	62,7	64,6	49,0	65,7		
okt	44,7	51,7	29,5	31,8		
nov	19,9	19,3	6,8	10,2		
dec	10,2	8,1	2,8	12,3		
<b>Final Yield</b>	<b>842,8</b>	<b>908,1</b>	<b>727,6</b>	<b>474,1</b>		